**Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique**
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Badji Mokhtar Annaba University**
**Université Badji Mokhtar – Annaba**
**Faculté des Sciences de la Terre**

**Département Aménagement**

**جامعة باجي مختار – عنابـــة**

**كـليـة علوم الأرض**

Choisissez un élément. **قســـم**

# Thèse

Présentée pour obtenir le diplôme de

## Doctorat En-Sciences

**Spécialité : Urbanisme**

Par
**Noui Nassira**

Thème

# La structure verte dans la ville : Une contribution au développement durable via son rôle dans la performance environnementale. cas de la future métropole Annaba

Thèse soutenue le ….. date de soutenance ……. devant le jury composé de :

| N° | Nom et prénom | Grade | Etablissement | Qualité |
|---|---|---|---|---|
| 01 | **BRAHMIA Khaled** | **Prof** | **Université Badji Mokhtar- Annaba** | Président |
| 02 | **BENZERARA Amine** | **MCA** | **Université Badji Mokhtar- Annaba** | Rapporteur |
| 03 | **CHABOU Meriem** | **Prof** | **École polytechnique EPAU** | Examinatrice |
| 04 | **KEBIR Bahia** | **MCA** | **Université Badji Mokhtar- Annaba** | Examinateur |
| 05 | **AZZOUZI Amar** | **MCA** | **Université Hassiba Ben Bouali Chlef** | Examinateur |
| 06 | **DJAKJAK Abderraziq** | **MCA** | **Universite Larbi Ben Mhidi Oum Bouaghi** | Examinateur |

# Remerciements

À travers ces lignes, je tiens à exprimer ma profonde gratitude pour le soutien moral qui m'a été apporté tout au long de mon parcours doctoral, notamment dans les moments de doute et de relâchement. L'humanisme, la patience et l'encadrement dont j'ai bénéficié ont été essentiels dans l'évolution de ma réflexion et la maturation de cette recherche. La réalisation de cette thèse n'aurait pas été possible sans une guidance éclairée, des conseils avisés et une écoute attentive. Je tiens à adresser mes sincères remerciements à Madame **Professeur SAFFIDINE ROUAG Djamila** dont l'accompagnement a été déterminant dans la construction et l'aboutissement de ce travail.

Je souhaite également exprimer ma reconnaissance aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer cette thèse. Leur expertise et leur regard critique apporteront, sans nul doute, une contribution précieuse à la finalisation de ce travail. Leurs observations et analyses approfondies seront une source précieuse d'enrichissement scientifique et méthodologique.

Ma gratitude s'étend également à Monsieur Dr **HARIZI Khaled**, mon professeur de SIG, dont l'expertise et les recommandations méthodologiques m'ont permis d'affiner mes analyses géospatiales et d'explorer pleinement les potentialités offertes par la numérisation des données. Grâce à son accompagnement, j'ai pu développer une approche rigoureuse et adaptée à mon sujet de recherche.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble des professeurs, chercheurs et acteurs académiques qui ont contribué, de près ou de loin, à mon cheminement. Leurs enseignements, leurs échanges scientifiques et leur soutien logistique ont joué un rôle clé dans mon évolution en tant que chercheure.

Enfin, je souhaite exprimer une reconnaissance particulière à ma famille pour leur soutien permanent. Leur patience, leur compréhension et leurs encouragements constants ont été une source inestimable de motivation tout au long de ce parcours exigeant. Leur confiance en mes capacités et leur présence bienveillante m'ont donné la force nécessaire pour persévérer. À eux, j'adresse toute ma gratitude et mon affection.

## الملخص

تستكشف هذه الأطروحة دمج الهيكل الأخضر الحضري كآلية أساسية في الانتقال نحو التنمية المستدامة، مع التركيز على دوره في الأداء البيئي ورفاه السكان .وباعتماد عنابة، كمدينة مستقبلية في الجزائر، كحالة دراسية، يهدف هذا العمل إلى إظهار كيفية مساهمة الهيكل الأخضر في مواجهة التحديات البيئية والاجتماعية في المدن التي تشهد توسعاً سريعاً.

يعتمد التحليل على مراجعة شاملة للأدبيات المتعلقة بتأثيرات الهياكل الخضراء على النظام البيئي الحضري، خاصة في مجالات تنظيم المناخ، والحفاظ على التنوع البيولوجي، وإدارة المياه، وتحسين جودة حياة المواطنين .باستخدام منهجيات تقييم الخدمات البيئية ومؤشرات الرفاه تطبق هذه الدراسة تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتحليل وتحديد التوزيع المكاني للمساحات الخضراء في عنابة.

تظهر النتائج وجود ارتباط هام بين تواجد المساحات الخضراء وتقليل تأثير الجزر الحرارية، وكذلك تحسين رفاه وسعادة السكان، مما يبرز أهمية السياسات الحضرية المستدامة .تدعم هذه الدراسة الدمج الاستراتيجي للهياكل الخضراء في سياسات التخطيط الحضري لتحويل عنابة إلى نموذج للمدن المستدامة، القادرة على مواجهة التحديات البيئية وتلبية احتياجات السكان .وتختتم بتوصيات لتعزيز التخطيط الحضري الشامل الذي يعظم الفوائد البيئية والاجتماعية للهيكل الأخضر.



**الكلمات المفتاحية :البنية الخضراء والتنمية المستدامة، والأداء البيئي والرفاهية، نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، محرك جوجل، عنابة، التوسع العمراني**

## Résumé

Cette thèse explore l'intégration de la structure verte urbaine comme levier essentiel dans la transition vers un développement durable, en se concentrant sur son rôle dans la performance environnementale et le bien-être des habitants. En prenant Annaba, future métropole algérienne, comme étude de cas, ce travail vise à démontrer comment la structure verte contribue à répondre aux enjeux environnementaux et sociaux des villes en expansion rapide.

L'analyse se base sur une revue exhaustive de la littérature concernant les impacts des structures vertes sur l'écosystème urbain, notamment dans la régulation climatique, la préservation de la biodiversité, la gestion de l'eau et l'amélioration de la qualité de vie des citoyens. Utilisant des méthodologies d'évaluation des services écosystémiques et des indicateurs de bien-être, la recherche applique des techniques de télédétection et de cartographie SIG pour identifier et analyser la distribution spatiale des structures vertes à Annaba.

Les résultats montrent une corrélation significative entre la présence d'espaces verts et la réduction des îlots de chaleur, ainsi que le bien-être et la satisfaction des habitants, soulignant l'importance de politiques de planification urbaine orientées vers la durabilité. Cette étude soutient ainsi l'intégration stratégique des structures vertes dans les politiques de développement urbain, pour faire d'Annaba un modèle de métropole durable, apte à répondre aux enjeux écologiques et aux attentes de la population. Elle conclut par des recommandations pour une planification urbaine inclusive, visant à maximiser les bénéfices environnementaux et sociétaux des structures vertes.

**Mots clés** : Structure verte et Développement durable , Performance environnementale et Bien-être, SIG et télédétection, Google Engine , Annaba ,avancée de l'urbanisation .

## Abstract

This thesis explores the integration of urban green structures as a pivotal mechanism in advancing sustainable development, focusing on its role in enhancing environmental performance and resident well-being. Using Annaba, a prospective Algerian metropolis, as a case study, this work aims to demonstrate how green infrastructure contributes to addressing the environmental and social challenges faced by rapidly expanding cities. The analysis is grounded in an extensive literature review on the impacts of green structures on urban ecosystems, particularly in climate regulation, biodiversity conservation, water management, and the enhancement of citizens' quality of life. Employing ecosystem service evaluation methodologies and well-being indicators, the research applies remote sensing and GIS mapping techniques to identify and analyze the spatial distribution of green spaces in Annaba.
The findings reveal a significant correlation between the presence of green spaces and the reduction of urban heat islands, as well as improvements in resident satisfaction and well-being, underscoring the importance of sustainability-centered urban planning policies. This study thus advocates for the strategic integration of green structures into urban development policies to position Annaba as a model of a sustainable metropolis, capable of addressing ecological challenges and meeting community needs. It concludes with recommendations for inclusive urban planning aimed at maximizing the environmental and societal benefits of green infrastructure.

**Key words:** Green structure and sustainable development , Environmental performance and well-being , GIS and remote sensing , Google Engine , Annaba , advanced urbanisation

# TABLE DES MATIERES

**Remerciements** ..... I

**الملخص** ..... II

**RESUME** ..... III

**ABSTRACT** ..... IV

**TABLE DES MATIERES** ..... ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

**TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX** ..... IX

**LISTE DES ABREVIATIONS ET GLOSSAIRE** ..... XVI

**INTRODUCTION GENERALE**

**Introduction générale** ..... 2
**Contexte des travaux** ..... 3
**2. Etat de l'art** ..... 9
**3.Problématique & hypothèses** ..... 17
**4.Approche méthodologique** ..... 23
**5.Plan de la thèse** ..... 28

**PREMIERE PARTIE : DE LA TRAME VERTE A LA STRUCTURE VERTE : VERS LA RECHERCHE DE LA PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE DES VILLES**

**Introduction de la première partie** ..... 32

**CHAPITRE 1 : LA TRAME VERTE UN ESSAI DE COMPREHENSION**

**Introduction** ..... 34
**1.1.Le concept de trame verte : une mise au point sur les rapports nature - ville** ..... 35
**1.2.Approche du concept de trame verte** ..... 36
1.2.1.La trame verte une notion héritée du paysagisme ..... 43
1.2.2.La trame verte un réseau écologique ..... 44
1.2.3.La trame verte dans le gradient d'urbanisation ..... 45
1.2.4.La trame verte un effet grenelle ..... 49
**1.3. Les fonctions et les bienfaits d'une trame verte** ..... 51
1.3.1. La TVB : Valorisation Paysagère, Esthétique Urbaine et Identité Locale ..... 52
1.3.2. TVB pour la promotion du Bien-être et de la Santé ..... 54
**1.4.Un outil pour une performance environnementale et pour un DUD** ..... 56
1.4.1. Atténuation du Changement Climatique, Régulation Thermique et Résilience Urbaine ..... 56
1.4.2. Gestion Durable des Eaux et Prévention des Risques d'Inondation ..... 57
1.4.3. Qualité de l'Air, Santé Publique et Bien-être en Milieu Urbain ..... 57
1.4.4. La Trame Verte : Un Levier pour la Santé Mentale, Physique et Sociale ..... 58
1.4.5.La trame verte, un outil de valorisation économique et d'attractivité ..... 59
**1.5. La Trame Verte : Cadre Législatif et Instruments de Planification** ..... 62
1.5.1. Cadres Juridiques et Politiques Publiques ..... 62

1.5.2. Instruments de Planification et de Gestion ..... 62
1.5.3 Implications Internationales et Comparaisons ..... 63
1.5.4 Défis et Perspectives ..... 63
**1.6. Trame Verte et Aménagement : Enjeux, Acteurs et Leviers de Mise en Œuvre ..... 64**
1.6.1.Gouvernance et Acteurs ..... 64
1.6.2.Leviers de Mise en Œuvre ..... 65
1.6.3. Contraintes et Défis ..... 65
1.6.4.Enjeux et perspectives ..... 65
**Conclusion ..... 66**

**CHAPITRE 2 : REGARDS CROISES SUR QUELQUES EXPERINECES DE TRAMES VERTES EN MEDITERANEE**
**Introduction ..... 69**
**2.1.La Trame Verte et Bleue à Paris : Vers une Métropole Résiliente ..... 70**
2.1.1.Contexte Démographique et Urbanisation ..... 70
2.1.2. La Trame Verte et Bleue à Paris : Stratégie et Potentiel de DD ..... 72
2.1.3.Défis de l'Urbanisation et de la Fragmentation Écologique ..... 86
**2.2.Intégration des trames vertes dans la Planification Urbaine de Marseille: Vers une Ville Durable ..... 89**
2.2.1. Présentation du contexte Marseillais ..... 90
2.2.2.Enjeux Écologiques de l'Urbanisation Fragmentée ..... 97
2.2.3. Stratégies et Initiatives pour la TVB et le Développement Durable ..... 101
2.2.4. Cadre Législatif et Impact sur le Renforcement des TVB à Marseille ..... 104
2.2.5. Évaluation des Initiatives pour les TVB à Marseille : Succès, Défis et Perspectives ..... 106
2.2.6.Synthèse des Initiatives de Trames Vertes à Paris et Marseille ..... 109
**2.3. La Trame Verte en Méditerranée : l'Expérience Tunisienne ..... 110**
2.3.1. Trame Verte et Résilience Urbaine en Tunisie : Stratégies et Impacts ..... 111
2.3.2. Urbanisation et Enjeux : Le Rôle Stratégique de la Trame Verte en Tunisie ..... 115
2.3.3.Politiques et Stratégies de Développement de la Trame Verte en Tunisie ..... 122
2.3.4. Synthèse de l'expérience Tunisienne de TV ..... 124
**Conclusion ..... 125**

**Chapitre 3 : La structure verte comme approche et philosophie : un essai d'analyse et de compréhension**
**Introduction ..... 128**
**3.1. Le Concept Structure: Un Usage Pluridisciplinaire ..... 129**
3.1.1. Le Concept de Structure en Philosophie : Approche Structuraliste ..... 129
3.1.2. Le Concept de Structure en Linguistique : Définitions et Perspectives ..... 130
3.1.3. Le Concept de Structure à Travers les Disciplines : Trame, Système et Réseau ..... 131
3.1.4. L'Usage du Concept de Structure dans les Études et Théories Urbaines ..... 143
**3.2. La structure verte : comme approche un essai de compréhension ..... 151**
3.2.1. Identification et compréhension du concept ..... 151
3.2.2.Les indicateurs d'une structure verte ..... 154
3.2.3.Les exigences d'une structure verte ..... 155
**3.3.La structure verte :Une stratégie pour une ville résiliente et durable ..... 157**
3.3.1.La structure verte pour une résilience des territoires ..... 157
3.3.2.La structure verte pour la durabilité des territoires ..... 158
**Conclusion ..... 159**

**Chapitre 4 : Villes et performance environnementale : entre souci ancien et DUD, quelle importance pour la structure verte ?**
**Introduction ..... 162**
**4.1. Performance et concepts connexes ..... 162**
4.1.1. De la quête du confort à l'efficacité ..... 163
4.1.2. De l'efficacité à la performance environnementale ..... 163
4.1.3.La performance environnementale et le DUD ..... 164
4.1.4. De la Quête du Confort à l'Exigence de Performance Environnementale et de Durabilité : Un Souci Ancien dans l'Évolution du Développement Urbain ..... 165
**4.2.Les formes urbaines et l'avènement de la révolution industrielle : quelle performance ? ..... 166**

**4.3. Les villes « idéales » et la question de l'hygiène au XIXème siècle ..... 169**
**4.4. Les nouvelles formes de l'urbanisme moderne ..... 172**
**4.5. Les Formes Urbaines Contemporaines ..... 173**
**4.5.1.La Forme Traversante ou « L'Îlot Ouvert » ..... 174**
4.5.2.Les villes à l'ère du DUD : entre changements climatiques et crise environnementale ..... 175
**4.6. L'Îlot de Chaleur Urbain face à la Croissance Urbaine Démesurée et l'Étalement ..... 177**
4.6.1.Expansion de l'Artificialisation et Intensification des Îlots de Chaleur Urbains ..... 178
4.6.2.Îlots de Chaleur Urbains : Effet d'un Déséquilibre et d'un Environnement Pollué ..... 179
4.6.3. Les mesures d'atténuation des ICU et d'adaptation au changement climatique. ..... 182
4.6.4. La relation entre forme urbaine et microclimat ..... 183
**4.7. La structure verte : élément important pour la performance environnementale et thermique ..... 184**
4.7.1. Structures Vertes : Vecteurs Essentiels de Durabilité Urbaine et de performance ..... 184
4.7.2. Les Stratégies d'intégration Efficace :Quels enjeux pour les SV ?..... 185
4.7.3. Les mesures et indicateurs pour une performance environnementale et thermique des villes ..... 187
4.7.4.La structure verte pour une performance environnementale et thermique : revue sommaire de quelques cas. ..... 189
**Conclusion ..... 196**
**Conclusion de la 1ere partie ..... 197**

## DEUXIEME PARTIE : CADRE METHODOLOGIQUE POUR L'ANALYSE, L'EVALUATION DE L'INTEGRATION DES STRUCTURES VERTES DANS LA PLANIFICATION URBAINE D'ANNABA

**Introduction de la 2eme partie ..... 194**

### Chapitre 1: L'apport des SIG et de la télédétection dans l'analyse des structures vertes : outils d'aide à la décision

**Introduction ..... 196**
**1.1.Le système d'information Géographique ( SIG) ..... 202**
1.1.1. Les Principes du SIG ..... 202
1.1.2.Modes de Représentation de l'Information dans un SIG ..... 203
1.1.3. Les Bases de Données pour un SIG ..... 205
1.1.4. Le SIG par quels Logiciels ? ..... 205
1.1.5.Les domaines d'application des SIG ..... 207
**1.2.La télédétection ..... 208**
**1.3.La Plateforme Google Earth Engine GEE ..... 215**
1.3.1.Interface Google Earth Engine ..... 215
1.3.2.Points forts et limite de l'usage de Google Engine ..... 216
1.3.3. Aperçue sur les algorithmes utilisé pour le traitement des image Satellitaire dans GEE ..... 217
**1.4. Algorithmes de Traitement des Images ..... 221**
1.4.1.NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ..... 221
1.4.2. MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) ..... 222
1.4.3.Autres Algorithmes et Méthodes ..... 223
**1.5.Utilisation de GEE pour la détection des changements pour les Facteur (LULC, NDVI et LST) ..... 223**
1.5.1. Principe de la Détection des Changements ..... 223
1.5.2. Exemples de Cas d'Utilisation de la Détection des Changements ..... 226
1.5.3. Limites de la Détection des Changements ..... 227
**1.6. LULC ( Land Use and Land Cover) ..... 227**
**1.7. L'indice de végétation NDVI ..... 230**
1.7.1.Méthodologie de calcul du NDVI dans Google Earth Engine (GEE) ..... 230
1.7.2.Sources des images satellitaires pour le calcul du NDVI ..... 231
1.7.3.Importance du NDVI dans les différents domaines ..... 231
**1.8.Calcul de la température de surface LST ..... 233**
1.8.1.Méthodologie de calcul du LST dans Google Earth Engine (GEE) ..... 233
1.8.2.Sources des images satellitaires pour le calcul du LST ..... 234
1.8.3.Importance du LST dans les différents domaines ..... 234
**Conclusion ..... 236**

**Chapitre 2 : Indicateurs d'Évaluation du Bien-être et de la Santé via les Structures Vertes : Cadre Méthodologique**

**Introduction ..... 239**
**2.1. Cadre Conceptuel et Hypothèses ..... 240**
2.1.1. Réflexion sur le Bien-être et la santé ..... 240
2.1.2.Les différents aspects et types du bien-être global ..... 240
2.1.3.Les liens entre santé et bien-être ..... 242
**2.2.Approches et mesure du bien être ..... 242**
2.2.1.Approches du Bien-être ..... 242
2.2.2.Mesures du Bien-être ..... 243
**2.3 . La structure verte une composante de l'environnement: son importance pour le bien être ..... 245**
2.3.1. la structure verte pour le bien-être et la sante :Cadre théorique ..... 246
2.3.2Evaluation du bien-être et santé :Par la définition de dimensions et d'indicateurs ..... 249
**2.4.Les Indices du Bien-Être pourquoi ? ..... 259**
2.4.1. Les Indices du Bien-Être : la Construction du Tableau de Bord pour une Évaluation Globale des Structures Vertes ..... 259
2.4.2. Enquête Sociologique : Contribution à l'Évaluation via la Grille d'Indicateurs ..... 266
2.4.3.L'entretien avec les acteurs : une méthode essentielle pour l'étude des structures vertes ..... 268
**Conclusion ..... 271**

**CHAPITRE 3 : CONTEXTE D'ÉTUDE : PRÉSENTATION ET IDENTIFICATION DE LA STRUCTURE VERTE D'ANNABA**

**Introduction ..... 274**
**3.Présentation du contexte d'étude :rôle et intérêt ..... 274**
**3.1.Cadre physique ..... 275**
**3.2. Cadre morphologique ..... 278**
**3.3. Contexte Climatique ..... 287**
**3.4. Contexte Démographique ..... 290**
**3.5. Contexte Historique et Évolution de la Ville ..... 293**
**3.6. Analyse Globale de la structure verte ..... 295**
3.6.1. Analyse de l'Occupation des Sols et Évolution des Espaces Verts ..... 296
3.6.2. Typologie des Espaces Verts et Usage des Sols ..... 298
3.6.3. Réservoirs et Corridors Écologiques : Analyse Contextuelle et Pertinence ..... 301
3.6.4. Fragmentation des Espaces Verts et Problématiques d'Urbanisation de la future métropole ..... 307
3.6.5. Cartographie de la Structure Verte d'Annaba via SIG (QGIS) ..... 308
3.6.6. Identification du Périmètre pour l'Évaluation des Changements et des Ruptures dans la SV ..... 316
3.6.7. Les Échantillons pour l'Évaluation thermique de la SV ..... 321
**3.7.Défis et Opportunités de la Structure Verte à Annaba ..... 327**
**Conclusion ..... 328**
**Conclusion de la Deuxième Partie ..... 329**

## PARTIE 03 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

**I. Résultats et discussions ..... 333**
**II. Les principaux résultats ..... 333**
II.1 . La Structure Verte comme Fondement de la Résilience Urbaine et de la Durabilité Écologique ..... 333
II.2. L'Identification et Cartographie de la structure verte :Défis et opportunités pour le développement .. 335
II.3. L'Analyse Diachronique de la Couverture Terrestre (1984-2021) ..... 339
II.4. Changement de la couverture terrestre de 1984 à 2021 ..... 358
II.5. L'évaluation de la performance environnementale Via le LST et Le NDVI ..... 363
II.6. Les structures vertes et leur impact sur le bien-être et la sante ..... 372
II.7. Perceptions et Rôle de la Structure Verte dans les Projets d'Urbanisme et d'Aménagement ..... 378

## CONCLUSION GENERALE

**Conclusion ..... 402**
**Perspectives et Recommandations ..... 403**

**BIBLIOGRAPHIE** ..... **408**

**Annexes** ..... **430**
**Annexe A** ..... **431**
**Annexe B : structures urbaine de modèles de villes** ..... **434**
**Annexe C** ..... **442**
**Cartes Annaba :Altimétrie et géologie** ..... **442**
**Annexe D** ..... **444**
**Lois et Réglementations sur les Espaces Verts en Algérie** ..... **444**
**Annexe E** ..... **446**
**Annexe F** ..... **452**
**Questionnaire de l'Enquête Sociologique(Usagers )** ..... **452**

# Table des figures et tableaux

## Liste des figures


| | |
|---|---|
| Figure 1: Processus méthodologique. | 28 |
| Figure 2 :les étapes de la recherche. | 30 |
| Figure 3 :La trame verte et bleu. | 37 |
| Figure 4:Les corridors écologiques | 37 |
| Figure 5 : Les sous-trames constitutives de la TVB | 38 |
| Figure 6 :Chronologie de la Stratégie de l'UE en faveur de la biodiversité à l'horizon 2030 | 41 |
| Figure 7 : Gradient d'urbanisation : centre, périphérie et périurbain | 44 |
| Figure 8 : Répartition des espaces boisés(en noir) selon le gradient urbain. | 45 |
| Figure 9 : Exemple de trame verte et bleue | 46 |
| Figure 10 :Conceptions de bâtiments urbains intégrant des solutions biophiliques | 47 |
| Figure 11: Modèle d'architecture biophilique | 47 |
| Figure 12 Schéma des avantages d'une trame verte et bleue | 50 |

| | |
|---|---|
| Figure 13 L'aménagement paysager d'un espace vert | 51 |
| Figure 14 Embellissement d'un espace vert | 51 |
| Figure 15:La trame verte pour l'embellissement des paysages urbains. | 52 |
| Figure 16: Corridors Écologiques et Connectivité . | 54 |
| Figure 17: Valeur immobilière pour la proximité d'espaces verts. | 59 |
| Figure 18 : La Trame Verte et Bleue à Paris | 68 |
| Figure 19 : Densité de population dans la Métropole du Grand Paris | 69 |
| Figure 20: Fréquence de survenue d'une vague de chaleur un jour donné à Paris | 72 |
| Figure 21: Distribution des espaces verts et îlots de chaleur à Paris | 73 |
| Figure 22 :Impact de la végétalisation sur les températures urbaines | 74 |
| Figure 23 :Les Stratégies d'adaptation climatique à Paris : Rôle des espaces verts | 78 |
| Figure 24 :La répartition des habitats liés à la TVB à Paris | 79 |
| Figure 25 :Les corridors écologiques de la ville de Paris | 80 |
| Figure 26 : Le projet de renaturation de la Bièvre | 83 |
| Figure 27. L'armature végétale de Paris | 85 |
| Figure 28.Plan de situation de Marseille | 89 |
| Figure.29.Le Mucem, patrimoine culturel | 89 |
| Figure 30.Vue sur Marseille ,la doyenne des villes françaises. | 90 |
| Figure.31.La croissance démographique 2013-2018 | 91 |
| Figure 32 :Rapport Densité du bâti et espaces verts vert. | 94 |
| Figure 33: Centre urbain dense | 95 |
| Figure 34: importance de la tache urbaine Marseillaise. | 96 |
| Figure 35:Le projet de voie verte Mirail-Garonne | 98 |
| Figure 36 :Les Étapes Clés de l'Engagement de Marseille vers la Neutralité Carbone d'Ici 2030. | 101 |
| Figure 37:Schéma des contraintes et conditions de réussite des initiatives de TVB | 107 |
| Figure 38 :Situation de la Tunisie | 110 |
| Figure 39 :Découpage du territoire de l'agglomération | 110 |
| Figure 40:Taux d'urbanisation en Tunisie de 2008 à 2022. | 112 |
| Figure 41: Vue panoramique sur la densification urbaine de Tunis | 112 |
| Figure 42.Forêt urbaine d'El Agba | 115 |
| Figure 43 :Le parc Belvédère | 116 |
| Figure 44 : Structure de l'ADN : trame biologique et système organisé. | 130 |
| Figure 45 :Structures moléculaires et effets des modifications sur le système | 131 |

| | |
|---|---|
| Figure 46 :Enzymes et structures moléculaires au service de la santé | 132 |
| Figure 47 : Nuage de mots des significations du concept de structure en biologie et en sciences médicales | 132 |
| Figure 48 :Structure en trame d'un tissu | 133 |
| Figure 49 : Nuage de mots sur la signification de la structure en textile | 134 |
| Figure 50.Plan de la trame structurelle | 134 |
| Figure 51.Structure tridimensionnelle d'un édifice | 134 |
| Figure 52: Structure d'une ville (Rome Antique). | 136 |
| Figure 53: Représentation en nuage des notions de structure en architecture, urbanisme et ingénierie | 138 |
| Figure 54 : Le rôle central de la structure dans l'architecture, l'ingénierie et l'urbanisme | 138 |
| Figure 55 :Plan directeur selon Eberstadt, Möhring et Petersen | 144 |
| Figure 56 :Plan de reconstruction de Chicago par Hilberseimer | 145 |
| Figure 57 :Proposition d'aménagement de Schöfl | 146 |
| Figure 58 :Organisation structurelle des villes durables | 147 |
| Figure 59 : Évolution du paysage urbain de Paris | 167 |
| Figure 60 :Vue du Familistère projeté. | 168 |
| Figure 61 :Plan d'un Phalanstère ou Palais habité | 168 |
| Figure 62.La cite radieuse avec son environnement verdoyant. | 170 |
| Figure 63. plan de la ville radieuse | 170 |
| Figure 64 : L'îlot ouvert : un modèle de performance écologique et urbaine | 172 |
| Figure 65 :Îlot ouvert sur l'Île de Nantes : la vision de Christian de Portzamparc | 172 |
| Figure.66 :Impact de l'occupation du sol sur les températures estivales. | 175 |
| Figure 67 :Visualisation du profil thermique de l'îlot de chaleur urbain | 178 |
| Figure 68 : Répartition des albédos en milieu urbain et influence des surfaces sur l'absorption thermique. | 180 |
| Figure 69 : Corrélation entre la proportion d'espaces verts et le pourcentage de personnes en bonne santé | 183 |
| Figure 70 :Impact des alignements d'arbres sur la dynamique de l'air et la dispersion des polluants en milieu urbain | 183 |
| Figure 71 : Effet Modérateur des Parcs Urbains sur la Température en Ville | 184 |
| Figure 72 :Comparaison de la Rétention des Eaux de Ruissellement entre un Toit Vert et un Toit Référent à Ottawa (2002) | 187 |
| Figure 73 :Mur Végétal : Une Solution Architecturale Verte à l'Université | 188 |
| Figure 74 :Via Verde à Mexico : Des Piliers Autoroutiers Transformés en Jardins Verticaux | 189 |
| Figure 75 :Les Rues Vertes de Portland : Aménagement Urbain Durable (Oregon)/USA . | 190 |

| | |
|---|---|
| Figure 76 : Seoullo 7017 : La Nouvelle Promenade Plantée de Séoul, Un Modèle de Renaturation Urbaine | 193 |
| Figure 77 : Un Canal en Béton Avant son Projet de Renaturation | 194 |
| Figure 78 :Parc Bishan-Ang Mo Kio | 194 |
| Figure 79 :Impact des Précipitations sur les Niveaux d'Eau dans les Canaux | 194 |
| Figure 81 :Figure 82. Impact des Solutions Naturelles sur les Niveaux d'Eau des Canaux | 195 |
| Figure 82 :Façades végétalisées de l'hôtel Oasia : pour la réduction de l'îlot de chaleur urbain. | 195 |
| Figure 84 :Représentation des Entités Géographiques en SIG à l'aide de Données Vectorielles | 204 |
| Figure 85 :Exemple d'une Table Attributaire Associée à une Carte Géologique en SIG | 204 |
| Figure 86 : Comparaison entre le Satellite SPOT et l'Œil Humain : Capteurs et Acquisition de l'Information | 208 |
| Figure 87 : Principe de la télédétection spatiale | 209 |
| Figure 88 :Divers types des images satellitaires | 210 |
| Figure 89 :Types des données utilisées dans la télédétection | 212 |
| Figure 90. :Interface de la plateforme Google Earth Engine (GEE) | 215 |
| Figure. 91 :Évolution annuelle du nombre de publications scientifiques utilisant GEE | 216 |
| Figure 92 :Calcul du LULC en GEE | 228 |
| Figure 93 :NDVI dans les surface Agricole | 231 |
| Figure 94 :Exemple de calcul de la température de surface du LST | 234 |
| Figure 95 :Les liens entre santé et bien-être | 240 |
| Figure 96 :L'approche du bien être par les capacités | 241 |
| Figure 97 : La mesure du bien être territorial. | 243 |
| Figure 98 :Dimensions et objectifs. Conception auteure 2023 | 248 |
| Figure 99 :la grille d'indicateurs : bases ,intérêts , et valeur ajoutée | 251 |
| Figure 100 : Le processus méthodologique : Du concept aux indices. | 253 |
| Figure 101 :Situation du site d'étude et de la future métropole Annaba | 274 |
| Figure 102 :Le découpage administratif de la Wilaya d'Annaba | 276 |
| Figure 103 :La topographie de la Wilaya d'Annaba | 278 |
| Figure 104 :Le relief de la Wilaya d'Annaba | 280 |
| Figure 105: Profil topographique de la wilaya de Annaba. | 280 |
| Figure 106 : L'altimétrie de la Wilaya d'Annaba | 281 |
| Figure 107:Réseau hydrographique , Annaba. | 284 |
| Figure 108 :Diagramme bioclimatique, Annaba, Source : PATW, Annaba | 286 |
| Figure 109 : Variation moyenne de la température, Annaba (Période : 1984 - 2021) | 287 |
| Figure 110 :Average rainfall variation over Annaba (Period : 1984 - 2021) | 288 |

| | |
|---|---|
| Figure 111 :Graphique de la population de la zone urbaine d'Annaba. | 289 |
| Figure 112 :Densité de population par commune | 291 |
| Figure 113 : Distribution spatiale et couverture verte selon occupation des sols | 296 |
| Figure 114 **:**Espaces verts urbains partie centre d'Annaba | 297 |
| Figure 115 :Partie maritime et terrestre du parc Edough . | 298 |
| Figure 116 :Espaces verts naturels du parc Edough. | 298 |
| Figure 117 :Espaces verts de loisirs du Parc Edough. | 299 |
| Figure 118 :Les réservoirs de biodiversité | 300 |
| Figure 119 :Réservoirs de Biodiversité par échelle | 301 |
| Figure 120 :Les corridors écologiques | 302 |
| Figure 121 :Les milieux Agricoles | 303 |
| Figure 122 :Les milieux aquatiques | 304 |
| Figure 123 : Les milieux forestiers non humides ouverts | 304 |
| Figure 124 :Identification et cartographie des espaces verts à Annaba via l'imagerie satellitaire | 307 |
| Figure 125 :Répartition des Routes et des Bâtiments à Annaba | 308 |
| Figure 126 :Image Haute Résolution pour la classification et l'Extraction des espaces Verts | 309 |
| Figure 127 :Suppression manuelle des zones d'ombre | 310 |
| Figure 128 :Traitement coloré des images satellitaires | 311 |
| Figure 129 :La classification et l'extraction des espaces verts comme une couche Shapefile | 312 |
| Figure 130 :Le résultat de classification :place du vert dans l'occupation | 313 |
| Figure 131. Visualisation de la structure verte identifiée à Annaba | 314 |
| Figure 132.Périmètre pour l'Évaluation des Changements et Ruptures dans la SV | 316 |
| Figure 133. Organigramme de la méthode suivie dans le traitement des données. | 219 |
| Figure 134.Échantillons sélectionnés | 320 |
| Figure 135.Echantillons pour l'évaluation de la performance environnementale via la SV | 322 |
| Figure 136 :Organigramme de la méthode suivie dans le traitement des données | 324 |
| Figure 137 : Classification de l'occupation du sol du périmètre d'étude entre 1984-2021 | 340 |
| Figure 138 : Évolution de la superficie des classes d'utilisation des sols aux différentes périodes : 1984-2004, 2004-2021 et 1984-2021. | 344 |
| Figure 139 : Classification de l'utilisation des sols dans la zone d'étude et interprétation quantifiée des modifications : (1a) 1984, (2b) 2004 | 346 |
| Figure 140 :Perte et gain de terres entre 1984 et 2021 des différentes catégories | 351 |
| Figure 141 :L'évolution de l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) sur la période 2004-2021 . | 354 |
| Figure 142 :Températures de surface pour 1984 et 2021 (avril) | 363 |

| | |
|---|---|
| Figure 144 : Échantillon Medina -Ville coloniale | 365 |
| Figure 145 :Échantillon au niveau de ville renouvelée | 367 |
| Figure. 146.Echantillon Ville post-coloniale | 369 |
| Figure 147 :Vue générale de l'urbanisation de la partie plaine ouest | 370 |
| Figure 148 : Echantillon ZHUN El Bouni | 371 |
| Figure 149 : Visualisation des valeurs des indices de bien-être et de santé via les structures vertes | 373 |
| Figure 150 :Comparaison des indices de satisfaction des résidents en fonction de la qualité perçue des espaces verts | 374 |
| Figure 151 :Fréquence d'utilisation des espaces verts en fonction de la sécurité perçue | 375 |
| Figure 152 :Impact de la biodiversité sur Qualité de l'air | 376 |
| Figure 153 :Impact économique des espaces verts sur la valeur foncière et l'attractivité | 377 |
| Figure 154 : Perceptions et évaluation du concept de structure verte | 379 |
| Figure 155 :Niveau d'Intérêt pour Approfondir la Compréhension du Concept de Structure Verte | 380 |
| Figure 156 : Préférences pour l'approfondissement du concept de structure verte | 381 |
| Figure 157 : Contraintes de l'approche et de l'intégration de la structure verte | 381 |
| Figure 158 :Classement des Avantages des trames vertes par ordre d'importance | 383 |
| Figure 159 :Capacité des Acteurs Urbains à Introduire les SV en Amont des Projets. | 384 |
| Figure 160 :Modalités d'intégration des structures vertes | 385 |
| Figure 161 : Contraintes relatives à l'intégration de la SV | 386 |
| Figure 162 :Modalités de mise en œuvre des SV | 387 |
| Figure 163 :Obstacles à la Prise en Compte des Structures Vertes | 388 |
| Figure 164 : Évaluation des opérations liées à l'intégration des SV | 389 |
| Figure 165 : Solutions suggérées pour le maintien de la SV | 390 |
| Figure 166 : Enjeux de mise en œuvre des toits verts | 390 |
| Figure 167 :Pertinence pour l'introduction de toits verts | 391 |
| Figure 168 :Intérêt des spécialités pour la mise en œuvre de toit verts | 391 |
| Figure 169 : Rôle des formations universitaires dans le développement des compétences spécialisées | 392 |
| Figure 170 :Intérêt pour les toits verts | 393 |
| Figure 171 : Répartition des opinions /l'intérêt de la technique de toit végétalisé | 394 |
| Figure 172 : Évaluation des raisons d'intérêt pour la végétalisation des toits | 395 |
| Figure 173 :Perception de l'intégration des toits verts dans les instruments réglementaires | 396 |
| Figure 174 :Priorités identifiées pour l'intégration des toits verts en milieu urbain | 396 |
| Figure 175 :Degré d'implication des acteurs dans la mise en places des mesures | 397 |

| | |
|---|---|
| Figure 176 :Importance de la concertation | 397 |
| Figure 177 :Orientations pour renforcement de la concertation | 398 |
| Figure 178 :Évaluation des actions concrètes pour améliorer la concertation | 398 |
| Figure 179 :Les actions concrètes pour améliorer la concertation | 399 |
| Figure 180 : le plan de Cerdà : une ville ouverte, égalitaire et verte | |
| Figure 181 :Carte de la ville de Brasilia, capitale du Brésil. | |
| Figure 182 :Une Vue de Brasilia | |
| Figure 183 :Le système de transport de Curitiba | |
| Figure 184.Vues sur le réseau de bus | |
| Figure. 185 :Curitiba l'une des 10 meilleures villes leaders en matière de biodiversité | |
| Figure 186 :Curitiba, élue ville la plus verte du Brésil. | |
| Figure 187 :La nature prend place en ville | |
| Figure 188.Une aire de jeux sur-mesure en hommage aux monuments historiques de la ville (Danemark). | |


## Liste des tableaux


| | |
|---|---|
| Tableau 1: Comparaison des niveaux de contamination microbienne à Paris | 71 |
| Tableau 2 : Tableau .2.Les impacts des jardins de pluie | 190 |
| Tableau 3 : Tableau 3.Domaines d'application des SIG | 207 |
| Tableau 4 : Outils utilisés dans la télédétection | 213 |
| Tableau 5 : Tableau 5 :Domaine d'usage de l'INDVI | 230 |
| Tableau 6 :Types de Bien être | 239 |
| Tableau 7 : Dimensions et Indicateurs Statistiques pour l'Évaluation du bien être | 255 |
| Tableau 8 : Critères Synthétiques et Indices Spécifiques pour l'Évaluation | 261 |
| Tableau 9 : Découpage administratif | 275 |
| Tableau 10 : Caractéristiques Du Périmètre D'étude | 317 |
| Tableau 11 :Critères de sélection des échantillons | 321 |
| Tableau 12 :Sources de données de l'étude | 323 |
| Tableau 13: Plage de pixels de classification NDVI | 324 |
| Tableau 14 : Évaluation de la précision des cartes classées pour les années 1984, 2004 et 2021 | 328 |
| Tableau 15 :Résumé des classes d'occupation du sol et des modifications pour la zone d'étude | 342 |

# Liste des Abréviations  et glossaire

## Abréviations

ADEME : Agence de la transition écologique (anciennement Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie).

AFH : Agence Foncière d'Habitation

AIMF : Association Internationale des Maires Francophones

ALUR : Accès au Logement et à un Urbanisme Rénové

ANT : Attention Network Test

ART : Attention Restoration Theory (Théorie de la restauration attention)

CBD : La Convention sur la Diversité Biologique

CATU : Code de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme

CCNUCC : Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

COP : Conférence des Parties

COST : Coopération européenne en science et technologie

CRDA : Commissariat régional au développement agricole de Tunis

CVC : Contrat Ville Climat

CVC : Système de chauffage, ventilation et climatisation

DD : Développement Durable

DUD : Développement Urbain Durable

GEE : Google Earth Engine

GES : Gaz à Effet de Serre

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Intergovernmental Panel on Climate Change)

GPS : Global Positioning System (Système de Positionnement Global)

LST : Land Surface Temperature (Température de Surface du Sol)

LULC : Land Use and Land Cover (Utilisation et Couverture des Sols)

MNDWI : Modified Normalized Difference Water Index (Indice de Différence Normalisé de l'Eau Modifié)

ML : Machine Learning (Apprentissage Automatique)

MODIS : Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index (Indice de Végétation par Différence Normalisée)

NBS : Nature-Based Solutions (solutions fondées sur la nature)

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques.

ODD : Objectifs de Développement Durable

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONG : Organisation Non Gouvernementale

OTEDD : Observatoire Tunisien de l'Environnement et du Développement Durable

PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur

PLU : Plan Local d'Urbanisme

PPP : Partenariats Public-Privé

QGIS : Quantum Geographic Information System (Système d'Information Géographique Quantique)

RF : Random Forest (Forêt Aléatoire)

RS : Remote Sensing (Télédétection)

SCoT : Schéma de Cohérence Territoriale

SIG : Système d'Information Géographique

SNCF : Société Nationale des Chemins de fer Français

SND : Stratégie Nationale de Développement Durable

SRCE : Schéma Régional de Cohérence Écologique

SRU : Solidarité et Renouvellement Urbains

SUDS : Les Systèmes de Drainage Urbain Durable

SVB : Structure Verte et Bleue

SVM : Support Vector Machine (Machine à Vecteurs de Support)

TCC : Total Canopy Cover (Couverture Totale du Canopée)

TDAH : Trouble du Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité

TEEB : The Economics of Ecosystems and Biodiversity

TVB : Trames Verte et Bleue

UHI : Urban Heat Island (Îlot de Chaleur Urbain)

UE : Union Européenne

UNFCCC : United Nations Framework Convention on Climate Change, en français Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques)

## Glossaire

- **Contrat Ville Climat (CVC)** : Dispositif contractuel entre les collectivités locales et l'État visant à intégrer des actions climatiques dans les politiques d'urbanisme et d'aménagement, en favorisant la transition écologique et la résilience urbaine.

•**CCNUCC (UNFCCC :** United Nations Framework Convention on Climate Change) : Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, adoptée en 1992 lors du

- **Dasein** : Issu de la philosophie de Martin Heidegger, le concept de Dasein désigne l'être-là, mettant en avant l'ancrage de l'humain dans son environnement et sa relation existentielle avec l'espace. En architecture et urbanisme, il interroge la perception, l'habitation et le sens donné aux lieux.
- **Enercoop** : Coopérative française d'électricité 100 % renouvelable, engagée dans la transition énergétique en proposant une fourniture d'électricité issue de sources renouvelables (éolien, solaire, hydraulique et biomasse).
- **GEE (Google Earth Engine)** : Plateforme cloud de traitement et d'analyse des données satellitaires et géospatiales à grande échelle.
- **Lisière** : Zone de transition entre deux milieux naturels distincts, notamment entre une forêt et une zone ouverte (prairie, champ, milieu urbain). Elle joue un rôle écologique essentiel en favorisant la biodiversité et en servant de corridor écologique.
- **LST (Land Surface Temperature)** : Température de Surface Terrestre – Mesure obtenue par imagerie satellitaire, utilisée pour l'analyse des îlots de chaleur urbains et l'étude des interactions entre l'urbanisation et le climat.
- **MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)** : Capteur embarqué sur les satellites Terra et Aqua de la NASA, fournissant des données quotidiennes sur l'atmosphère, la surface terrestre et les océans.
- **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)** : Indice spectral utilisé en télédétection pour évaluer la densité et la santé de la végétation.

•**OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Économiques) :** Organisation internationale qui promeut les politiques visant à améliorer le bien-être économique et social des populations à travers le monde.

- **ONG (Organisation Non Gouvernementale)** : Structure indépendante des gouvernements, œuvrant dans divers domaines tels que l'humanitaire, l'environnement, les droits de l'homme et le développement durable.

- **PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur)** : Région administrative du sud-est de la France, connue pour sa diversité écologique et ses initiatives en faveur du développement durable.
- **Pocket Parks (Parcs de poche)** : Petits espaces verts aménagés en milieu urbain dense, contribuant à l'amélioration de la qualité de vie et à la réduction des îlots de chaleur.
- **Projet COST C11** : Initiative européenne visant à promouvoir une approche intégrée du développement urbain durable.
- **QGIS (Quantum Geographic Information System)** : Logiciel libre et open-source de Système d'Information Géographique (SIG) permettant la visualisation, l'analyse et la gestion des données géospatiales.
- **Random Forest** : Algorithme d'apprentissage automatique supervisé basé sur un ensemble d'arbres de décision, utilisé pour la classification et la régression des données, notamment en analyse géospatiale.
- Séquence **Éviter-Réduire-Compenser (ERC)** : Principe fondamental en matière de gestion environnementale et d'aménagement du territoire visant à limiter l'impact des projets sur la biodiversité.
- **Sun Systems** : Entreprise spécialisée dans les solutions solaires photovoltaïques et thermiques, proposant des équipements pour la production d'énergie renouvelable.
- **TDAH (Trouble du Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité)** : Trouble neurodéveloppemental caractérisé par des difficultés d'attention, une impulsivité excessive et, dans certains cas, une hyperactivité.
- **Toiture hydroactive** : Système de toiture végétalisée innovant intégrant un dispositif de rétention et de gestion intelligente de l'eau de pluie, contribuant à la réduction des îlots de chaleur urbains.

# Introduction générale

# Introduction générale

L'urbanisation rapide et souvent incontrôlée, combinée à l'étalement urbain, entraîne une dégradation significative des écosystèmes naturels ainsi qu'une fragmentation des trames vertes et bleues. Ces éléments sont pourtant essentiels au maintien de la biodiversité et à la régulation des services écosystémiques. La future métropole d'Annaba, quatrième ville d'Algérie, n'échappe pas à ces dynamiques globales. Bien qu'elle soit reconnue comme une métropole émergente dans les plans nationaux de développement, Annaba souffre d'un développement anarchique marqué par une consommation excessive des espaces verts et agricoles ainsi que par une absence de planification durable (Noui et al., 2023).

L'expansion urbaine à Annaba a conduit à une transformation importante de l'occupation des sols, favorisant les trames grises au détriment des trames vertes. Ce processus n'a pas seulement réduit la couverture végétale, il a également engendré des problèmes environnementaux majeurs tels que l'accentuation des îlots de chaleur urbains, l'augmentation de la pollution atmosphérique et l'émergence de nouveaux enjeux de santé publique. La relation complexe entre la ville et son territoire est devenue difficile à gérer en raison de la fragmentation chaotique du tissu urbain et de la pression démographique croissante.

Selon les projections des Nations Unies, environ 54,5 % de la population mondiale réside actuellement en milieu urbain, un chiffre qui devrait atteindre 66 % d'ici 2050 (Nations Unies, 2014 ; MacLachlan et al., 2017). Cette urbanisation rapide entraîne de nombreuses conséquences socio-économiques et environnementales, notamment une pression accrue sur les infrastructures et les services urbains, une dégradation écologique accélérée et l'aggravation de l'effet d'îlot de chaleur urbain (Fashae et al., 2020). Ces transformations, exacerbées par l'intensification des activités humaines et la surpopulation, ont un impact significatif sur les écosystèmes et l'environnement.

La notion d'espace vert englobe divers types de végétation urbaine, incluant les jardins familiaux, les espaces naturels aménagés, les forêts-promenades et les jardins botaniques (Merlin et Choay, 2005). Aujourd'hui, le concept de "structure verte" est employé pour désigner l'ensemble des formes de végétation présentes dans et autour des espaces urbains. Il englobe les coupures vertes, les ceintures vertes, ainsi que les parcs urbains (Kerbouc'h, 1998). Ces structures intègrent non seulement les espaces verts urbains, mais aussi les espaces agricoles, agroforestiers et naturels, jouant un rôle fondamental dans la durabilité environnementale et le bien-être des populations (Banzo, 2007 ; COST 11, 2020).

Les villes algériennes sont particulièrement soumises à la pression urbaine, ce qui a conduit à une réduction progressive des espaces verts, aggravée par des événements politiques et économiques majeurs tels que le second choc pétrolier de 1979 et la décennie noire des années 1990 (Mehdi, 2005 ; Mehdi Lotfi, 2010). La disparition de ces espaces a des répercussions directes sur la biodiversité et la santé des écosystèmes, tout en intensifiant la pollution et en diminuant la capacité des villes à réguler naturellement la température et la qualité de l'air (Gherraz et al., 2020).

Les structures vertes urbaines jouent un rôle essentiel dans l'atténuation des effets du changement climatique et l'amélioration de la qualité de vie en milieu urbain. Ces infrastructures végétalisées contribuent à la réduction des îlots de chaleur, à l'amélioration de la qualité de l'air et à la gestion efficace des eaux pluviales. Elles favorisent également la biodiversité et offrent des espaces récréatifs aux citadins, renforçant ainsi le bien-être général. Par exemple, l'extension des forêts urbaines et l'utilisation de matériaux réfléchissants pourraient atténuer de 2 à 3 °C la température nocturne en région parisienne (Cerema ,2018 ;

UN-Habitat,2011).En intégrant des éléments naturels dans le tissu urbain, elles permettent de renforcer la résilience des villes et de créer des environnements plus agréables à vivre. Les bénéfices des espaces verts vont bien au-delà de la simple valeur esthétique : ils participent à la régulation thermique, à la réduction de la pollution atmosphérique, à la préservation de la biodiversité et au bien-être physique et mental des habitants (Bell et al., 2008 ; Bowler et al., 2010).

L'adoption du concept de structure verte ne se limite pas à une méthode de planification urbaine ; elle représente une véritable approche stratégique visant à renforcer la résilience des villes tout en favorisant un développement durable. Cette approche repose sur l'intégration harmonieuse des espaces naturels — parcs, jardins, corridors écologiques, zones humides — etc. Au sein du tissu urbain. Elle promeut une nouvelle vision de l'aménagement des villes, dans laquelle l'équilibre entre l'homme et la nature devient une priorité. D'un point de vue stratégique, la structure verte constitue un levier essentiel pour atténuer les impacts négatifs de l'urbanisation, notamment en favorisant la régulation naturelle des températures, la gestion durable des eaux pluviales et l'amélioration de la qualité de l'air. Elle contribue également à la préservation de la biodiversité tout en offrant des espaces de loisirs et de détente indispensables au bien-être des populations. Enfin, en renforçant la résilience des villes face aux défis climatiques et environnementaux, cette approche soutient la transition vers des modèles de développement plus durables, capables de répondre aux besoins des générations présentes sans compromettre ceux des générations futures. Adopter la structure verte, c'est aussi intégrer une vision à long terme qui place l'environnement au cœur des politiques urbaines et du développement territorial.

## Contexte des travaux

## Intérêt de la recherche

Aujourd'hui avec la crise climatique, les territoires deviennent de plus en plus vulnérables. Malgré les efforts déployés pour réduire les impacts nocifs de la consommation accrue des ressources, le recours aux énergies fossiles, le mode de fabrique des villes et bien d'autres facteurs qui nuisent aux bien-être et la sante, la performance environnementale et en particulier la durabilité des villes et territoires, que ce soit pour les pays développés ou en développement.

Aujourd'hui, 55 % de la population mondiale vit dans des zones urbaines, une proportion qui devrait atteindre 68 % d'ici 2050. Cette urbanisation rapide, combinée à la croissance démographique mondiale, pourrait ajouter 2,5 milliards de personnes supplémentaires aux zones urbaines d'ici 2050, avec près de 90 % de cette augmentation concentrée en Asie et en Afrique. Cette tendance marque une accélération notable depuis l'ère industrielle : en 1900, seulement 15 % de la population mondiale vivait en milieu urbain, un chiffre passé à 30 % en 1950, à 55 % en 2015, et qui devrait atteindre 68 % en 2050(Nations Unies, 2019). Parallèlement, le nombre de mégapoles — des villes de plus de 10 millions d'habitants — est en forte augmentation. En 2018, on comptait 33 mégapoles dans le monde, un nombre qui devrait atteindre 43 d'ici 2030(Nations Unies, 2020). Certains pays devraient connaître des taux d'urbanisation compris entre 70 % et 90 %, voire plus de 90 % pour certains d'entre eux. Cette urbanisation massive conduit à une artificialisation accrue des sols et à leur dégradation, avec des taux significatifs de sols moyennement à très dégradés (Pierzynski, & Brajendra , (2017).

Les structures vertes face à des besoins d'urbaniser reculent et sont souvent fragmentées, ce qui rends les territoires moins résilients. En somme, face à ce constat déplorable, cette recherche peut avoir un impact significatif sur plusieurs niveaux , contribuant ainsi à l'avancement de la connaissance et surtout à l'amélioration de la société et son cadre de vie

ainsi qu'à prendre des décisions quant aux modes aberrants de fabrique des villes notamment la négligence de la place des structures vertes dans ce processus , surtout que celles -ci ont des capacités avérée et prouvée de rendre les villes plus attractives et rentables . Selon le baromètre des territoires 2019 réalisé par Ipsos, celles qui disposent d'un cadre verdoyant sont aujourd'hui plus attractives que les autres. On peut ainsi discerner l'intérêt de cette recherche sous plusieurs angle scientifique, sociale économique et institutionnel comme suit :

**Intérêt scientifique**

Dans le cadre de cette recherche doctorale, nous nous penchons sur l'étude approfondie d'Annaba, une des principales villes algériennes en voie de transformation en métropole d'ici 2030 selon le Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT,2030). Cette étude se place à l'intersection de l'urbanisme, de la géographie et des technologies numériques, notamment les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et la télédétection, pour explorer le rôle central des structures vertes (SV) dans la performance environnementale urbaine, en s'appuyant sur le cas de la future métropole d'Annaba. En pleine expansion, cette ville est confrontée à des défis majeurs liés à l'urbanisation rapide, à la dégradation des espaces verts et à l'amplification des effets climatiques, notamment les îlots de chaleur urbains et la fragmentation écologique. Ces phénomènes compromettent la régulation thermique naturelle, la qualité de l'air et le bien-être des habitants, nécessitant une approche intégrée pour repenser la place des SV dans la planification urbaine.

L'intérêt scientifique de cette thèse réside dans la nécessité de répondre efficacement aux problématiques environnementales actuelles, en enrichissant le corpus scientifique de nouvelles données et perspectives via l'analyse approfondie des SV comme levier de performance environnementale, en évaluant leur capacité à atténuer les effets climatiques négatifs, à améliorer la régulation thermique et à renforcer la résilience urbaine. Grâce à l'utilisation avancée des SIG via des logiciels comme QGIS et des techniques de télédétection, cette recherche ambitionne de cartographier précisément les transformations du territoire et de comprendre les dynamiques d'urbanisation, leurs impacts sur les structures vertes et la manière dont elles influencent la vulnérabilité et la résilience des villes face aux changements globaux.

En adoptant une approche méthodologique intégrant des indices biophysiques (NDVI, LST) et une analyse multi-scalaire de l'évolution des SV, cette recherche permet d'établir un lien scientifique fort entre la planification, l'aménagement des espaces verts et la performance environnementale de la ville. Ces analyses serviront de base pour questionner et proposer des stratégies d'intégration du développement durable dans les politiques d'aménagement local, en vue de préserver les fonctions écologiques et sociales des structures vertes. Cette démarche méthodologique, qui combine analyses spatiales et évaluations environnementales, aspire à fournir un modèle réplicable pour l'étude d'autres territoires confrontés à des enjeux similaires. Elle représente ainsi une contribution significative à la recherche en urbanisme et en planification territoriale, offrant de nouvelles pistes pour la conception de villes durables, résilientes et adaptées aux défis futurs.

**Intérêt social et institutionnel**

Dans une perspective d'urbanisme, de systèmes d'information géographique (SIG) et de télédétection appliquée aux infrastructures écologiques, l'engagement envers une urbanisation durable se présente comme un impératif. La géographie, en sa qualité de science interdisciplinaire axée sur l'interaction humaine avec l'environnement, est primordiale dans l'élaboration de stratégies visant à intégrer efficacement les structures vertes dans le tissu urbain.

Cette recherche en se concentrant sur l'identification et l'analyse des facteurs qui menacent l'intégrité des structure vertes, aspire à élaborer des modèles de développement qui valorisent et préservent ces espaces vitaux. Par l'application de technologies avancées telles que les SIG et la télédétection, nous sommes en mesure de fournir des données précises et actualisées, essentielles pour la planification et la gestion urbaine durable. L'intérêt social et institutionnel de la recherche sur les structures vertes et leur rôle dans la performance environnementale est considérablement amplifié par l'intégration des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de la télédétection.

Sur le plan social, ces technologies permettent une analyse approfondie des structures vertes à différentes échelles, offrant ainsi une compréhension plus fine de leur distribution et de leur impact sur la qualité de vie des habitants. Les résultats de ces analyses contribuent à la conception mieux adaptée aux besoins des communautés locales, favorisant ainsi une appropriation plus forte de ces lieux par la population. De plus, la visualisation cartographique des données issues de la télédétection peut sensibiliser les collectivités à l'importance des structures vertes en mettant en lumière leur contribution à la santé, au bien-être et à la convivialité urbaine. Ces espaces ne sont pas seulement des lieux de loisirs ; ils jouent un rôle déterminant dans la promotion de la santé mentale et physique des citoyens, en offrant des zones de respiration dans des environnements souvent saturés de pollution. Ils sont également nécessaires pour la conservation de la biodiversité, sensibilisant ainsi les communautés à l'importance de la nature en ville et à la nécessité de sa préservation et sa prise en charge indispensable.

Au niveau institutionnel, l'intégration des SIG et de la télédétection offre des outils puissants pour la planification et la gestion urbaine. Les cartes et les modèles générés par ces technologies permettent aux décideurs politiques et aux urbanistes de prendre des décisions éclairées pour promouvoir la création et la préservation de précieux poumons verts au sein des villes. Ils facilitent également le suivi des changements dans le paysage urbain ou suburbain au fil du temps, permettant ainsi une gestion dynamique des ressources vertes et une adaptation aux pressions environnementales et sociales. Cette approche permet d'identifier les emplacements stratégiques pour le développement de nouveaux espaces verts, la restauration de certains, la prise en charge d'autres (tel que les friches,) et une couture par rapport à ceux fragmentés. Ce qui permet une distribution équitable et un impact maximal sur l'environnement et les habitants. De surcroît, orienter vers les études des pratiques de gestion des espaces verts, ceci aide à établir des lignes directrices pour leur entretien durable, garantissant ainsi leur contribution continue au bien-être urbain.

La recherche sur les structures vertes enrichie par les avancées en SIG et télédétection et leur expertise est fondamentale pour orienter les villes vers un avenir durable. On se retrouve mieux équipés pour promouvoir des politiques urbaines qui favorisent la santé, le bien-être et la durabilité environnementale et améliorent également la résilience des villes face aux défis climatiques et sociaux à venir. Cette approche intégrée contribue à renforcer les liens entre la société et son environnement, en favorisant une cohabitation harmonieuse entre l'homme et la nature au sein des villes, en offrant un cadre de vie de qualité supérieure pour tous, aujourd'hui et demain.

## L'intérêt économique de la recherche

L'analyse économique des structures vertes dans les environnements urbains et suburbains est essentielle pour évaluer leur impact sur la performance environnementale et leur valeur économique intrinsèque. Cette recherche met en lumière la dualité de l'impact des structures vertes, soulignant non seulement leur rôle décisif dans l'amélioration de l'environnement urbain, mais aussi leur contribution significative à l'économie locale et globale par :

**-L'amélioration de la performance environnementale :** Les structures vertes constituent un élément clé dans l'amélioration de la qualité environnementale des villes. Leur capacité à filtrer les polluants atmosphériques et aquatiques, à réduire les températures par l'effet d'îlot de chaleur urbain, et à soutenir la biodiversité se traduit par des avantages économiques mesurables. Ces bénéfices se manifestent à travers la diminution des dépenses de santé publique dues à la pollution et les économies réalisées en matière d'adaptation aux changements climatiques.

**-La valorisation économique des services écosystémiques :** L'évaluation monétaire des services rendus par les structures vertes permet de quantifier leur valeur. Par exemple, la séquestration du dioxyde de carbone par les espaces verts peut être monétisée en tant que coût évité comparé à d'autres stratégies de réduction des émissions. De même, la valeur récréative et de bien-être mental associée aux espaces verts peut être estimée par la disposition à payer des individus pour accéder à ces services.

**-L'investissement dans les structures vertes :** Les investissements dans ces SV s'avèrent économiquement viables sur le long terme. Bien que leur aménagement et maintenance initiaux requièrent des dépenses considérables, les retombées positives à long terme en termes de services écosystémiques, d'attractivité touristique, et d'accroissement de la valeur immobilière compensent largement ces coûts initiaux.

Cette recherche met en exergue l'importance de comprendre et de quantifier les avantages environnementaux et économiques des structures vertes. Elle fournit des données essentielles pour orienter les décisions d'investissement et les politiques d'urbanisme vers un développement durable, assurant ainsi une gestion optimisée des ressources naturelles en milieu urbain. L'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de la télédétection enrichit significativement l'intérêt économique de cette recherche. Ces technologies offrent une analyse fine et détaillée des structures vertes, permettant une compréhension approfondie de leur contribution à l'économie locale. Les SIG facilitent la cartographie des structures vertes et l'évaluation de leur impact sur la valeur immobilière, tandis que la télédétection aide à suivre l'évolution de ces espaces, fournissant des données vitales pour analyser les tendances économiques liées au tourisme écologique et aux activités commerciales. Par ailleurs, l'intégration des SIG et de la télédétection stimule l'innovation économique, en générant de nouveaux marchés et opportunités d'affaires pour les entreprises spécialisées dans l'aménagement et la gestion des espaces verts urbains. Cette approche favorise le développement économique durable des villes, offrant une base solide pour une économie locale dynamique et résiliente, tout en promouvant la durabilité environnementale et sociale.

**L'importance de la recherche au sein du laboratoire**

Dans le cadre de cette thèse de doctorat, l'étude des structures vertes représente une facette importante de l'engagement scientifique de notre laboratoire, qui se spécialise dans l'intersection de l'environnement urbain, l'architecture et l'efficacité énergétique. Cette recherche s'inscrit dans une démarche résolument interdisciplinaire, embrassant les sciences environnementales, l'écologie, l'urbanisme, ainsi que les disciplines sociales et économiques. Elle se positionne au cœur de notre mission scientifique, visant à apporter des réponses concrètes aux défis posés par le changement climatique et à contribuer activement à la transition écologique vers des sociétés plus durables.

L'étude vise à analyser les transformations des structures vertes sous l'effet de l'urbanisation et à évaluer leur contribution à la régulation environnementale, notamment en matière de gestion du microclimat urbain et de réduction des îlots de chaleur. L'intégration des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de la télédétection permet une cartographie précise des dynamiques urbaines et des impacts environnementaux, offrant ainsi des outils d'aide à la décision adaptés aux enjeux contemporains.

Au-delà de son apport scientifique, cette recherche contribue à l'élaboration de stratégies d'aménagement urbain durable, en éclairant les politiques publiques sur le rôle des structures vertes dans la résilience des villes. L'objectif est de promouvoir une planification intégrée, où les espaces végétalisés ne sont plus perçus comme de simples aménagements paysagers, mais comme des composantes essentielles du tissu urbain, influençant le bien-être des populations et l'équilibre écologique des territoires.

En parallèle, l'appartenance à l'équipe "Dynamiques Urbaines" d'un second laboratoire dédié à l'architecture et l'urbanisme apporte une dimension complémentaire à cette étude. Cette affiliation permet d'enrichir l'analyse en examinant les interactions entre évolution des structures vertes, croissance urbaine et adaptation aux défis environnementaux. L'approche développée s'intéresse aux mécanismes de fragmentation et de reconfiguration des espaces végétalisés, en lien avec les mutations socio-spatiales des villes. En renforçant la compréhension des liens entre urbanisation et structures vertes, cette recherche s'inscrit dans une démarche appliquée, visant à accompagner la transition vers des villes plus durables et résilientes, tout en intégrant les impératifs de performance environnementale et d'adaptation aux changements climatiques.

**Enjeux et objectifs visés par la présente recherche**

L'étude des structures vertes et leur contribution à la performance environnementale s'inscrit dans une réflexion globale sur le développement durable et la résilience des villes. Elle vise à démontrer le rôle stratégique des structures vertes dans la gestion des impacts environnementaux, notamment à travers l'analyse des changements d'occupation et de l'utilisation des sols, des îlots de chaleur et des trames écologiques.

L'un des enjeux fondamentaux est l'évaluation de l'efficacité des structures vertes en tant qu'outil d'atténuation des effets de l'urbanisation sur le climat local et la qualité de vie. Grâce à une approche combinant Systèmes d'Information Géographique (SIG), télédétection et cartographie thermique, cette recherche permet de quantifier et spatialiser les transformations des espaces végétalisés et de mieux comprendre leur influence sur la régulation thermique urbaine et la conservation de la biodiversité.

Sur le plan environnemental, l'étude met en lumière les défis liés à la fragmentation des corridors écologiques, qui compromettent la connectivité des espaces verts et la résilience des écosystèmes urbains. Elle souligne l'importance d'une planification intégrée des trames vertes, permettant de réduire les effets des îlots de chaleur, d'améliorer la perméabilité des sols et de favoriser la régulation des flux hydriques en milieu urbain.

D'un point de vue socio-économique, cette recherche s'intéresse également aux inégalités d'accès aux structures vertes et à leur impact sur le bien-être des habitants. L'identification des zones sous-dotées en espaces végétalisés permet d'orienter les stratégies d'aménagement vers une répartition plus équitable des infrastructures vertes, contribuant ainsi à une ville plus inclusive et plus résiliente. Sur le plan institutionnel, cette étude ambitionne de fournir des outils d'aide à la décision pour les acteurs de l'aménagement du territoire, en proposant des indicateurs opérationnels et des modèles prédictifs pour optimiser la gestion des espaces verts. Elle s'inscrit ainsi dans une démarche de renforcement des politiques publiques en matière de planification écologique et d'adaptation aux changements climatiques.

- **Les contraintes rencontrées lors de cette recherche**

La réalisation de cette recherche a été jalonnée de plusieurs contraintes qui ont nécessité des ajustements constants et une capacité d'adaptation tout au long du parcours. L'un des premiers défis a été de trouver un équilibre entre mes intérêts scientifiques et les exigences académiques et institutionnelles. Il m'a fallu affiner progressivement mon approche pour répondre aux standards de la recherche universitaire tout en conservant la pertinence et l'originalité de mon sujet.

L'acquisition de nouvelles compétences a également représenté un défi de taille. Travailler sur les structures vertes en mobilisant les SIG et la télédétection a exigé un apprentissage approfondi de ces outils et une maîtrise progressive de leur application aux problématiques urbaines et environnementales. Bien que passionnante, cette montée en compétences a demandé un investissement en temps et en effort considérable.

L'accès aux données a constitué une autre contrainte majeure. Trouver des informations géospatiales précises et actualisées s'est révélé complexe, notamment en raison du manque de bases de données ouvertes ou de leur qualité parfois inégale. Il a fallu redoubler d'efforts pour collecter, vérifier et traiter ces données afin d'assurer la fiabilité des analyses.

La gestion du temps a été un autre enjeu important. Entre les exigences de la thèse, les activités académiques annexes et les imprévus inhérents à toute recherche, il a souvent été difficile de maintenir un rythme de travail constant et d'optimiser chaque étape du projet. Structurer et délimiter un cadre d'étude clair a été essentiel pour éviter de s'éparpiller face à la richesse des problématiques liées aux structures vertes.

Les contraintes financières ont également joué un rôle non négligeable. Certaines technologies et logiciels avancés nécessitant des investissements conséquents, il a fallu privilégier des solutions open source, comme QGIS, afin de concilier efficacité et accessibilité. Cette contrainte a finalement été une opportunité d'explorer des alternatives performantes et d'adopter une approche plus pragmatique.

Enfin, mobiliser les acteurs locaux et institutionnels autour des enjeux de la recherche n'a pas été simple. Sensibiliser les parties prenantes à l'importance des structures vertes et les intégrer dans une réflexion sur l'urbanisme durable s'est avéré être un processus long et parfois complexe, en raison du manque de dispositifs concrets favorisant une collaboration effective. Malgré ces difficultés, ces défis ont constitué une véritable opportunité de progression et d'apprentissage. Ils ont renforcé la rigueur méthodologique, la capacité d'adaptation et l'esprit critique nécessaires à la conduite d'une recherche scientifique solide et appliquée.

## 2. Etat de l'art

L'évolution rapide des villes et des territoires sous l'influence de la mondialisation, de la croissance démographique et de l'urbanisation intensive appelle à une réflexion approfondie sur les moyens de concevoir des environnements urbains résilients et durables. Parmi les réponses émergentes à ces enjeux complexes, les concepts de "trame verte", de "structure verte" et d'"infrastructure verte" occupent une place centrale dans les stratégies contemporaines d'aménagement urbain durable. Ces notions visent non seulement à favoriser l'intégration de la nature dans les espaces urbains, mais aussi à atténuer les effets néfastes de l'urbanisation, tels que les îlots de chaleur, la perte de biodiversité et la dégradation des écosystèmes naturels.

L'état de l'art présenté dans cette section se veut une synthèse des connaissances existantes dans le domaine des structures vertes urbaines et de leurs performances. Il explore les différentes approches mises en œuvre pour évaluer l'efficacité de ces dispositifs, tant sur le plan environnemental que sur le plan thermique et social. Cet examen critique permettra de mettre en lumière les avancées scientifiques les plus récentes, tout en identifiant les limites et les défis que pose la mise en œuvre de telles infrastructures dans des contextes urbains diversifiés.

Dans un premier temps, nous nous intéresserons aux concepts fondamentaux de la trame verte, en déclinant ses différents concepts connexes telles que l'infrastructure verte, l'armature verte et la structure verte. Ces éléments constituent le cadre d'une planification urbaine respectueuse des dynamiques écologiques et paysagères. Ensuite, nous analyserons les critères d'efficacité et de performance de ces dispositifs, en particulier leur impact sur l'environnement, leur contribution à l'amélioration du microclimat urbain et leur rôle dans la réduction des effets négatifs liés à l'urbanisation. Enfin, cette revue de la littérature examinera les liens entre la trame verte et les principes du développement urbain durable, en s'appuyant sur les travaux les plus pertinents pour dégager des pistes d'amélioration et des recommandations pour une gestion intégrée et durable des structures vertes.

Ainsi, cette section vise à dresser un panorama complet des recherches actuelles sur la Structure verte et ses diverses applications, tout en offrant une réflexion critique sur leur efficacité et leur intégration dans les politiques de développement urbain. En conclusion, une synthèse des éléments clés dégagés par cette revue permettra d'identifier les leviers potentiels à activer pour renforcer la résilience des territoires face aux défis environnementaux actuels et futurs.

**Structure, trame, performance et développement durable : un état de l'art**

La planification urbaine et territoriale contemporaine fait face à des défis majeurs, notamment en matière de durabilité, de résilience et d'amélioration de la qualité de vie des populations. Dans ce cadre, l'intégration des concepts de structure, de trame, de performance et de développement durable (DD) est capitale pour orienter les politiques et les pratiques en urbanisme et en aménagement du territoire.

La structure urbaine et la trame verte se révèlent être des cadres conceptuels fondamentaux pour l'intégration de la nature au sein des environnements urbains et ruraux. Ces approches visent à établir des réseaux écologiques interconnectés, promouvant la biodiversité, la connectivité écologique et la résilience des écosystèmes, éléments décisifs pour atténuer les pressions engendrées par l'urbanisation croissante (Arrif, Blanc, et al.2011). La trame verte, en particulier, joue un rôle déterminant en conciliant le développement urbain avec la préservation des écosystèmes, tout en garantissant la continuité écologique indispensable au maintien de la biodiversité. Elle permet de relier les espaces naturels entre eux, facilitant ainsi les déplacements des espèces et le maintien des processus écologiques essentiels (Chaurand,2017).

L'intégration de la trame verte dans les politiques d'aménagement urbain nécessite une planification stratégique et l'utilisation d'outils tels que les Systèmes d'Information Géographique (SIG). Ces outils permettent d'évaluer la connectivité écologique et d'optimiser la répartition des espaces verts pour une efficacité maximale. En somme, la mise en œuvre de la trame verte constitue une réponse stratégique aux défis posés par l'urbanisation, en promouvant une cohabitation harmonieuse entre le développement humain et la préservation des écosystèmes naturels. Elle offre une opportunité de repenser l'aménagement du territoire en intégrant pleinement les enjeux écologiques et en favorisant une urbanisation durable (AUA/T,2019). En parallèle, La performance urbaine est devenue un concept central dans l'étude et la gestion des environnements urbains contemporains. Elle se concentre sur l'optimisation des systèmes urbains pour atteindre une efficacité maximale, englobant plusieurs dimensions clés.

L'efficacité énergétique constitue un pilier fondamental de cette performance. Elle vise à réduire la consommation d'énergie des infrastructures urbaines, notamment par la conception de bâtiments à haute performance énergétique et l'adoption de systèmes de transport collectif efficients. Des études ont démontré que la densité et la forme urbaine influencent significativement cette efficacité, suggérant que des morphologies urbaines compactes peuvent favoriser des économies d'énergie substantielles (Arantes, & al., 2016). La gestion durable des ressources naturelles est également importante. Elle implique une utilisation rationnelle de l'eau, une gestion efficace des déchets et la préservation des espaces verts. Ces pratiques contribuent à maintenir l'équilibre écologique urbain et à assurer la résilience des villes face aux défis environnementaux.

La qualité de l'air et de l'eau est un indicateur essentiel de la santé publique en milieu urbain. Des politiques visant à réduire les émissions polluantes, notamment par la promotion de modes de transport durables, sont indispensables pour améliorer ces paramètres et, par conséquent, la qualité de vie des citadins (Bulteau, 2009). Enfin, la résilience aux catastrophes naturelles et au changement climatique est devenue une priorité. Les villes doivent développer des infrastructures capables de résister aux aléas climatiques, tout en mettant en place des plans d'urgence efficaces. Cette résilience est essentielle pour protéger les populations et les économies urbaines des impacts croissants liés aux changements environnementaux.

La structure verte et la trame verte sont devenues des cadres conceptuels essentiels pour intégrer la nature au sein des environnements urbains et ruraux. Ces approches visent à créer des réseaux écologiques interconnectés, favorisant la biodiversité, la connectivité écologique et la résilience des écosystèmes. Ces éléments jouent un rôle décisif pour contrer les pressions liées à l'urbanisation croissante, tout en contribuant à l'amélioration de la qualité de vie et à la durabilité des territoires (Mehdi & Di Pietro, 2010).

La mise en œuvre de trames vertes urbaines permet de développer des continuités naturelles au sein d'espaces urbains, qu'ils soient denses ou faiblement urbanisés. Cette démarche implique une évaluation pluridisciplinaire mobilisant les approches géographiques, sociales et écologiques. Ces trames favorisent une gestion intégrée des écosystèmes urbains en lien avec les dynamiques territoriales (Arrif, Blanc, et al.2011). En France par exemple, la politique de la Trame verte et bleue (TVB) vise à préserver et restaurer un réseau de continuités écologiques. Ce réseau est conçu pour permettre aux espèces animales et végétales de circuler, s'alimenter, se reproduire et se reposer, assurant ainsi leur cycle de vie tout en renforçant la résilience écologique des territoires (Ministère de la Transition Écologique, n.d.).

Ces initiatives contribuent également à la performance environnementale des territoires, en améliorant la qualité de l'air, en régulant les températures urbaines et en offrant des espaces récréatifs essentiels pour le bien-être des populations. Elles constituent une réponse pragmatique et stratégique aux enjeux du changement climatique et aux défis posés par l'urbanisation galopante (Bertrand & Simonet, 2012). Ainsi, l'intégration de structures vertes dans les politiques d'aménagement représente une stratégie clé pour créer des villes plus durables, résilientes et agréables à vivre, tout en répondant aux exigences contemporaines en matière de développement territorial. En parallèle, La performance urbaine est devenue un concept clé, mettant l'accent sur l'amélioration de l'efficacité des systèmes urbains. Cela inclut des stratégies visant à optimiser l'efficacité énergétique, gérer durablement les ressources naturelles, améliorer la qualité de l'air et de l'eau, et réduire les risques associés aux catastrophes naturelles et au changement climatique. Cette approche intégrée vise à créer des villes durables et résilientes tout en améliorant la qualité de vie des citoyens.

Des recherches récentes soulignent l'importance des infrastructures vertes dans l'atténuation des îlots de chaleur urbains et la gestion des ressources hydriques. Par exemple, l'intégration de toitures végétalisées, de forêts urbaines et de zones humides artificielles peut réduire les températures urbaines et améliorer la gestion des eaux pluviales (Herath & Bai, 2024). De plus, l'adoption de solutions basées sur la nature dans la planification urbaine permet de renforcer la résilience des villes face aux effets du changement climatique. Ces solutions incluent la création de corridors écologiques, la restauration de zones humides et l'augmentation de la couverture végétale urbaine, contribuant ainsi à la réduction des risques environnementaux (Wang et al., 2024).

Quant au développement durable (DD), il est la pierre angulaire de la planification urbaine contemporaine, intégrant les dimensions économiques, sociales et environnementales pour assurer une viabilité à long terme et une équité intergénérationnelle. Ce concept a été popularisé par le rapport Brundtland, (1987), qui définit le DD comme un développement répondant aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs. L'intégration du DD dans les processus décisionnels et les politiques d'aménagement du territoire est capitale pour garantir un développement équilibré des zones urbaines et rurales. Camagni et Capello (2009) introduisent la notion de capital territorial, soulignant que la compétitivité régionale dépend de la combinaison de ressources matérielles et immatérielles spécifiques à chaque territoire. Par ailleurs, une approche systémique est nécessaire, incorporant les préoccupations écologiques dans les décisions économiques et sociales. Folke et al. (2010) proposent le concept de résilience, qui met l'accent sur la capacité des systèmes socio-écologiques à absorber les perturbations tout en maintenant leurs fonctions essentielles. Aujourd'hui une planification urbaine qui intègre le développement durable, le capital territorial et la résilience permet de créer des environnements urbains inclusifs, adaptatifs et pérennes, capables de faire face aux défis contemporains tels que le changement climatique, l'urbanisation rapide et les inégalités sociales.

Dans cette revue de l'état de l'art, les concepts de structure, trame, performance et développement durable seront explorés en profondeur. Nous analyserons leurs implications pour la planification territoriale, en mettant en avant les avancées théoriques et pratiques récentes, les exemples concrets de mise en œuvre, ainsi que les défis auxquels ces approches font face pour promouvoir des environnements urbains durables et résilients.

**Structure verte, trame verte et concepts connexes**

- **Armature verte :** L'armature verte est une approche de planification qui transcende la simple juxtaposition d'espaces verts fragmentés et isolés. Elle vise à organiser et hiérarchiser ces espaces en fonction de leur valeur écologique, sociale et esthétique, afin de constituer un réseau cohérent et fonctionnel. Contrairement à une gestion spatiale fragmentée, où les espaces verts sont considérés de manière indépendante, l'armature verte cherche à intégrer ces éléments dans un système interconnecté. Ce réseau soutient la biodiversité, améliore la connectivité écologique et répond aux besoins récréatifs, esthétiques et psychologiques des populations urbaines (Nassauer, & Opdam , 2008). Cette stratégie s'appuie sur des principes issus du design paysager et de l'aménagement du territoire pour optimiser la fonctionnalité des espaces verts. Des techniques telles que la création de corridors écologiques ou l'établissement de zones tampons autour des habitats naturels sont essentielles pour renforcer la résilience écologique des milieux urbains et ruraux (Wu, 2013). Ces aménagements jouent un rôle central dans la préservation des services écosystémiques, tout en améliorant la qualité de vie des résidents.

- **Trame verte :** La trame verte est un concept essentiel dans l'urbanisme écologique, représentant un réseau écologique planifié, qui relie des espaces verts, des corridors écologiques et des zones naturelles au sein d'un territoire donné. Contrairement à l'approche traditionnelle fragmentée des espaces verts, la trame verte vise à maintenir et à promouvoir la connectivité écologique, facilitant la mobilité des espèces et le maintien des flux écosystémiques indispensables à la résilience environnementale (Ahern, 2007). L'élaboration d'une trame verte repose sur des bases écologiques rigoureuses et des processus de planification participative qui prennent en compte les besoins des communautés locales ainsi que les objectifs de conservation de la biodiversité. Elle favorise ainsi une gestion territoriale qui promeut à la fois la santé écologique et la résilience des paysages urbains et ruraux. Les

recherches montrent que cette approche améliore également la résilience des villes face aux pressions environnementales et aux risques naturels.

- **Infrastructure verte :** Le concept d'infrastructure verte est plus vaste et englobe des aménagements qui exploitent des éléments naturels ou semi-naturels pour fournir des services écosystémiques essentiels au sein des environnements urbains. Les parcs, les jardins pluviaux, les toits verts, les corridors verts et les zones humides restaurées constituent quelques exemples d'infrastructures vertes qui apportent des avantages tant écologiques qu'économiques (Alphandéry & Fortier, 2012). Ces infrastructures sont reconnues pour leur capacité à offrir des services écosystémiques tels que la régulation climatique, la filtration des eaux, la protection contre les inondations, ou encore l'amélioration de la santé publique. En valorisant ces services, les villes peuvent non seulement améliorer leur résilience face aux changements climatiques mais aussi réduire les coûts liés aux infrastructures grises.

- **Structure verte :** La structure verte représente une approche intégrée de la planification territoriale, visant à concilier développement urbain et préservation environnementale en structurant l'espace urbain autour d'éléments végétalisés interconnectés. Elle repose sur la mise en réseau des espaces naturels et anthropisés, favorisant ainsi la connectivité écologique et la résilience des territoires (Berardi, U. (2016).Cette stratégie englobe la création, la préservation et la gestion des espaces verts sous diverses formes (parcs urbains, forêts périurbaines, corridors écologiques, trames agricoles), répondant ainsi à des enjeux majeurs liés à la biodiversité, à la régulation du climat urbain et à l'amélioration de la qualité de vie (Colding et al., 2006). Dans cette optique, l'Action COST 11 (2020) met en avant l'importance d'une planification systémique des structures vertes en tant que composantes stratégiques du développement durable. Cette perspective rejoint les analyses qui soulignent le rôle clé des trames vertes et bleues dans la gestion durable des ressources naturelles et la lutte contre les effets du changement climatique et la structuration des dynamiques urbaines. Ces infrastructures naturelles, lorsqu'elles sont intégrées dans une vision cohérente d'aménagement, contribuent à une meilleure résilience des villes face aux pressions environnementales et aux transformations socio-économiques. Au-delà des bénéfices environnementaux, la structure verte joue un rôle essentiel dans la cohésion sociale et le bien-être des populations. En intégrant ces espaces dans la planification urbaine, les villes renforcent leur attractivité tout en garantissant un accès équitable aux aménités naturelles. L'implication des acteurs locaux et des citoyens dans la conception et la gestion de ces espaces constitue un levier de gouvernance participative, permettant d'assurer une meilleure appropriation et une gestion plus durable des infrastructures vertes.

**Synthèse des rapports :** Les concepts d'armature verte, de trame verte, d'infrastructure verte et de structure verte partagent un objectif commun : intégrer les espaces verts et les éléments naturels dans les environnements des villes afin de promouvoir la durabilité et la résilience écologique. Ces différents concepts reconnaissent l'importance de la connectivité écologique, en insistant sur la nécessité de créer des réseaux d'espaces verts cohérents et fonctionnels. De plus, ils mettent en avant l'importance des approches participatives et de la prise en compte des besoins des communautés locales dans la planification et la mise en œuvre de ces initiatives. La trame verte met un accent particulier sur la connectivité écologique et la mobilité des espèces, en cherchant à maintenir des corridors écologiques et à favoriser le flux des écosystèmes entre différents habitats naturels. Ce modèle a pour but de préserver la continuité écologique afin de garantir la résilience environnementale des territoires. D'un autre côté, l'armature verte se concentre sur la structuration et la hiérarchisation des espaces verts en

fonction de leur valeur écologique, sociale et esthétique, dans le but de créer un réseau solide et fonctionnel. Ce réseau soutient la biodiversité tout en répondant aux besoins récréatifs et esthétiques des habitants (Nassauer & Opdam, 2008 ; Ahern, 2013).

L'infrastructure verte se distingue en raison de son approche orientée vers les services écosystémiques qu'apportent les éléments naturels dans les environnements urbains. Elle englobe un ensemble d'aménagements et de pratiques qui exploitent les éléments naturels ou semi-naturels pour fournir des services essentiels tels que la régulation du climat, la filtration de l'eau, la protection contre les inondations, ainsi que la promotion de la santé humaine. Parmi ces aménagements figurent les parcs urbains, les jardins pluviaux, les toits verts et les zones humides restaurées. Les travaux Dueymes, A. (2022). Démontrent les avantages économiques et environnementaux de l'infrastructure verte pour les communautés urbaines, en soulignant son rôle essentiel dans la promotion de la durabilité urbaine.

Enfin, la structure verte est une approche stratégique de la planification territoriale, qui vise à intégrer la nature dans le tissu urbain de manière globale afin d'améliorer la résilience des villes et la qualité de vie des habitants. Cette approche repose sur la création, la préservation et la gestion d'espaces verts, naturels ou agricoles, ainsi que sur la mise en place de corridors écologiques pour favoriser la connectivité entre ces espaces et soutenir la biodiversité. Elle permet de créer des environnements urbains capables de répondre aux défis écologiques, tout en renforçant la gestion des risques naturels, le développement économique durable et la participation citoyenne. Ainsi, ces quatre concepts convergent vers une vision commune de la durabilité des environnements urbains semi urbains et même ruraux. Bien qu'ils se distinguent par leurs approches spécifiques, ils partagent tous l'objectif d'intégrer de manière stratégique et efficace les espaces verts et les éléments naturels dans les environnements bâtis. En mettant en avant des principes communs, tels que l'importance de la connectivité écologique et la participation communautaire, ces concepts contribuent à la création de réseaux d'espaces verts fonctionnels, résilients et bénéfiques pour la qualité de vie et la durabilité à long terme des territoires.

**Efficacité et performance**

Dans le domaine de l'aménagement urbain et territorial, les notions d'efficacité et de performance sont primordiales pour assurer la durabilité et la résilience des villes et des territoires. Deux aspects essentiels de la performance sont la performance environnementale et dans ce contexte de recherche la performance du point de vue thermique.

- **Performance environnementale : La** performance environnementale des villes et des territoires se réfère à leur capacité à réduire leur empreinte écologique tout en favorisant la santé des écosystèmes et en améliorant la qualité de vie des habitants. Cette performance englobe la capacité d'un système urbain à minimiser son impact environnemental tout en maximisant les bénéfices écologiques, tels que la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la gestion durable des ressources naturelles, la conservation de la biodiversité et la réduction de la pollution (Moussaoui,et al. 2023). Les infrastructures vertes jouent un rôle central dans l'amélioration de la performance environnementale en fournissant des services écosystémiques tels que la purification de l'air et de l'eau, la régulation climatique et la promotion de la biodiversité (Tzoulas et al., 2007). Les études de Newman et Kenworthy (1999) ont montré l'importance de l'urbanisme durable, de la planification des transports et de la conception urbaine intelligente pour réduire l'empreinte écologique des zones urbaines. D'ailleurs, on souligne que la gestion intégrée des ressources et une gouvernance environnementale forte sont essentielles pour

atteindre les objectifs de durabilité. Ces principes sont souvent explorés à travers l'urbanisme, l'énergie, le climat et l'engagement citoyen pour des communautés plus résilientes. (Roseland, 2012).

- **Performance thermique :** La performance thermique des bâtiments et des quartiers urbains est essentielle pour garantir des environnements intérieurs confortables tout en minimisant la consommation énergétique. À l'échelle des bâtiments, cela implique l'usage de matériaux et de technologies à haute efficacité énergétique, comme les isolants performants, les fenêtres à double vitrage, et les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC) avancés. Des stratégies passives, telles que l'orientation des bâtiments, l'usage de brise-soleil et la ventilation naturelle, contribuent également à améliorer la performance thermique. À l'échelle urbaine, la performance thermique repose sur une planification urbaine intelligente. Celle-ci favorise la création de microclimats favorables et l'intégration d'infrastructures vertes, telles que les parcs urbains et les toits végétalisés, qui aident à réguler les températures. Des stratégies comme l'implantation stratégique des bâtiments en fonction de leur exposition au soleil, la création de corridors de ventilation pour faciliter la circulation de l'air frais et l'utilisation de matériaux réfléchissants pour les surfaces urbaines contribuent à améliorer la performance thermique à l'échelle des quartiers. Les recherches de Fanger (1970) ont montré l'importance de l'isolation, de la ventilation naturelle et de la gestion intelligente de l'énergie pour réduire la consommation énergétique et améliorer le confort thermique. Ces études mettent en lumière que des mesures efficaces tant au niveau du bâtiment qu'à l'échelle urbaine sont indispensables pour créer des environnements durables et résilients face aux défis climatiques actuels et futurs.

- **Développement urbain durable : Le** concept de développement urbain durable s'efforce de répondre aux besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs (Brundtland, 1987). Il repose sur trois piliers fondamentaux : l'économie, l'environnement et le social. Le développement durable intègre les performances environnementales et thermiques dans les stratégies de développement urbain pour atteindre des objectifs de durabilité. Les pratiques de construction durable et l'intégration des infrastructures vertes réduisent l'empreinte carbone des villes tout en améliorant la qualité de vie et en favorisant l'équité sociale (Roseland, 2012). Ces pratiques incluent la réduction de la consommation énergétique des bâtiments, la promotion des transports durables et l'adoption d'une urbanisation compacte et respectueuse de l'environnement. La participation communautaire et la prise en compte des besoins locaux sont également nécessaires pour créer des environnements résilients et adaptables aux défis climatiques et économiques actuels et futurs (World Health Organization., 2021). Le développement urbain durable repose sur plusieurs principes, dont la promotion de modes de vie respectueux de l'environnement, le renforcement de la cohésion sociale par la création de communautés inclusives, et la gestion optimale des ressources naturelles et énergétiques (SUISSE, C. F.,2014). Ces principes visent à garantir que le développement urbain puisse répondre aux besoins actuels tout en préservant les ressources pour les générations futures.

Des travaux mettent en lumière les défis et opportunités associés au développement urbain durable. Parmi les défis majeurs, on trouve la gestion de la croissance urbaine, la réduction des inégalités sociales et la lutte contre le changement climatique. La participation citoyenne, une gouvernance ouverte et responsable, ainsi que l'adoption d'une approche intégrée dans la planification urbaine sont essentielles pour atteindre les objectifs de durabilité (Fall,2024). Ces études montrent également qu'il est nécessaire de repenser les modèles de développement urbain existants pour les rendre plus résilients, équitables et prospères. Le

développement urbain durable est un concept multidimensionnel et complexe qui nécessite une approche intégrant des dimensions économiques, sociales et environnementales. Les recherches dans ce domaine soulignent l'importance de stratégies innovantes, d'une gouvernance participative et d'une planification urbaine centrée sur la durabilité pour répondre efficacement aux défis des zones urbaines.

En intégrant les concepts de performance environnementale et thermique, ainsi que les pratiques participatives et infrastructures vertes, les villes peuvent devenir plus résilientes, durables et capables de relever les défis climatiques et sociaux du futur.

**Synthèse des rapports**

La performance environnementale, la performance thermique et le développement urbain durable sont des éléments clés de la planification urbaine moderne. Leur compréhension approfondie et leur intégration dans les politiques et pratiques d'aménagement sont essentielles pour la création d'environnements urbains durables. Ces concepts sont profondément interconnectés. Par exemple, l'amélioration de la performance thermique contribue directement à la performance environnementale en réduisant la consommation énergétique des bâtiments et les émissions de gaz à effet de serre. L'intégration d'infrastructures vertes, comme les parcs urbains ou les toits végétalisés, permet à la fois de réguler les températures locales et d'améliorer la qualité de l'air, deux aspects clés de la performance environnementale. Ainsi, la trame verte et les autres infrastructures écologiques fournissent une base solide pour réorienter l'aménagement des territoires vers des modèles plus durables. Les infrastructures vertes à leur tour jouent un rôle essentiel dans cette dynamique, en offrant des zones de refroidissement naturelles qui améliorent la performance thermique des espaces urbains, tout en contribuant à la régulation climatique globale. Elles participent aussi à la performance environnementale en soutenant la biodiversité, en filtrant les polluants atmosphériques, et en réduisant l'empreinte carbone des villes. En ce sens, la performance environnementale devient un pilier fondamental du développement durable, garantissant que les impacts écologiques sont minimisés et que les ressources naturelles sont gérées de manière responsable.

Cette synthèse souligne l'importance d'une approche intégrée, combinant à la fois les préoccupations écologiques et sociales, face à une prise de conscience croissante de l'interdépendance entre la santé écologique, le bien-être humain et la viabilité économique. Cette perspective appelle à des approches innovantes, qui respectent les principes de durabilité tout en répondant aux besoins spécifiques des communautés urbaines et rurales.

La planification et la gestion des territoires, guidées par ces principes, visent à créer des environnements résilients, sains, et épanouissants pour toutes les formes de vie. L'intégration harmonieuse de la performance environnementale, de la performance thermique et des principes de développement durable est décisive pour la création de villes résilientes, efficaces et vivables. Ces concepts apportent chacun une perspective unique et complémentaire, permettant de relever les défis urbains contemporains de manière intégrée et durable.

# 3.Problématique & hypothèses

**Constats issus de l'état de l'art**

L'examen de l'état de l'art met en lumière des dynamismes conceptuels et pratiques essentiels pour aborder les défis contemporains de l'urbanisation durable. Ces dynamiques reposent sur une intégration stratégique et systématique de la nature dans le tissu urbain afin de répondre aux enjeux de durabilité, de résilience climatique et d'amélioration de la qualité de vie. Les travaux de Benedict et McMahon (2012) ont introduit le concept fondamental d'infrastructures vertes, démontrant leur capacité à constituer un réseau écologique multifonctionnel capable de connecter les espaces naturels, urbains et ruraux. Ces infrastructures ne sont pas de simples éléments décoratifs, mais des outils d'ingénierie écologique qui assurent la fonctionnalité des écosystèmes urbains. Durand, & Keucheyan, (2024) confirment l'idée selon laquelle la planification écologique doit transcender les approches fragmentées pour établir des réseaux interconnectés favorisant la mobilité des espèces, la régénération des habitats et la résilience des villes face aux pressions anthropiques et climatiques.

Les infrastructures vertes, incluant les parcs urbains, les trames vertes et bleues et les corridors écologiques, jouent un rôle structurant dans la création de villes plus vivables et plus résilientes. Elles permettent d'assurer une continuité écologique indispensable à la préservation de la biodiversité tout en fournissant des services écosystémiques essentiels. Ces services incluent la régulation thermique par la réduction des îlots de chaleur urbains, la purification de l'air et de l'eau, ainsi que la gestion durable des eaux pluviales (Kabisch et al., 2017). Selon Hadji et Petrişor (2022), l'intégration des infrastructures vertes contribue également à renforcer la capacité des villes à faire face aux catastrophes naturelles, tout en créant un cadre de vie de qualité et plus sain. Ces constats soulignent que la simple création d'espaces verts ponctuels ne suffit pas ; une planification stratégique, cohérente à l'échelle urbaine, est impérative pour maximiser leur efficacité et leur impact.

Parallèlement, la performance environnementale et thermique des espaces bâtis représente un enjeu majeur pour réduire l'empreinte écologique des villes et assurer leur résilience face au changement climatique. La consommation énergétique liée aux bâtiments, en particulier dans les environnements urbains denses, doit être minimisée grâce à des stratégies de conception bioclimatique et l'utilisation de technologies innovantes. Les toits végétalisés et les murs végétalisés constituent des solutions efficaces pour réguler les températures urbaines, réduire les effets des îlots de chaleur, et améliorer la performance thermique des bâtiments (Santamouris,2014). Leur contribution à la création de microclimats urbains favorables a été démontrée, notamment dans les zones fortement urbanisées où les températures sont exacerbées. Les recherches de Akbari et al. (2001) démontrent que l'augmentation de la température urbaine accroît la consommation énergétique estivale, tandis que des mesures telles que l'utilisation de toitures réfléchissantes peuvent atténuer cet effet et améliorer le confort thermique des habitants.

En matière de gouvernance urbaine, l'implication active des citoyens dans les processus de planification est un levier clé pour garantir que les projets répondent aux besoins locaux tout en favorisant l'appropriation sociale des solutions proposées. Arnstein (1969), à travers son échelle de la participation citoyenne, a mis en évidence l'importance d'inclure les résidents dans les décisions planificatrices, soulignant que la participation active conduit à des projets mieux

adaptés et plus acceptés. Des études récentes ont démontré que la gouvernance collaborative, en réunissant citoyens, experts et décideurs, favorise le développement de solutions adaptées aux contextes locaux, capables de répondre aux défis socio-économiques et environnementaux actuels. Les expériences des Pays-Bas en matière de gestion intégrée des paysages illustrent une transition réussie d'un modèle hiérarchique vers des modes de gouvernance innovants, organisés autour de réseaux d'acteurs qui orientent la planification à l'échelle régionale. (IDDRI,2023.)

Par ailleurs, des recherches indiquent que l'intégration d'espaces verts dans les quartiers défavorisés peut améliorer l'environnement immédiat, renforcer la cohésion sociale et contribuer à la réduction des inégalités spatiales. Une étude menée à Lyon montre que la végétalisation urbaine participative peut reproduire des inégalités socio-spatiales, soulignant l'importance de considérer les spécificités locales dans de tels projets (Deschamps, 2020). De plus, des travaux récents indiquent que la cohésion sociale peut participer à relever de grands défis de santé et encourager des changements comportementaux dans des groupes de population vulnérables. (BENMECHICHE et al.2022). Ainsi, La combinaison de la gouvernance collaborative et de l'aménagement d'espaces verts dans les zones urbaines défavorisées est une approche prometteuse pour promouvoir le développement durable et la justice sociale. Cependant, sa mise en œuvre efficace nécessite une collaboration interdisciplinaire.

Urbanistes, architectes, ingénieurs, écologistes et sociologues doivent conjuguer leurs compétences pour élaborer des solutions intégrées équilibrant impératifs écologiques, économiques et sociaux. Cette synergie est essentielle pour créer des environnements urbains résilients et inclusifs. Cependant, Anguelovski et al. (2018) alertent sur le fait que, sans politiques d'inclusion sociale robustes, ces initiatives peuvent engendrer des dynamiques d'exclusion, de polarisation et de ségrégation.

En l'absence de régulation adéquate, les projets d'amélioration urbaine peuvent involontairement engendrer des phénomènes de gentrification, où les populations les plus vulnérables sont progressivement exclues des bénéfices de la transformation urbaine. Il est donc primordial que les projets de verdissement urbain intègrent dès leur conception des mesures visant à prévenir la gentrification et à garantir que les avantages générés profitent équitablement à tous les résidents, en particulier aux communautés les plus vulnérables. Cela peut inclure des politiques de logement abordable, des programmes de participation communautaire et des mécanismes de protection contre la spéculation immobilière.

Les constats issus de l'état de l'art révèlent un consensus croissant sur la nécessité d'adopter une approche intégrée, systémique et participative pour relever les défis complexes du développement urbain durable. L'intégration des infrastructures vertes, l'amélioration de la performance thermique des espaces bâtis et la mise en place d'une gouvernance inclusive constituent les piliers fondamentaux d'une transformation urbaine réussie. Une vision globale, couplée à des innovations technologiques et à une participation citoyenne active, est indispensable pour garantir des territoires résilients, inclusifs et durables. Ce paradigme repose sur une action collective coordonnée et un engagement à long terme en faveur de la durabilité environnementale, de l'équité sociale et de la viabilité économique, éléments incontournables pour répondre aux défis du XXIe siècle.

Toutefois, malgré ces avancées conceptuelles et méthodologiques, de nombreuses villes, en particulier dans les contextes en développement, peinent à intégrer efficacement ces principes dans leur planification urbaine. C'est notamment le cas d'Annaba, où la pression démographique et industrielle compromet l'adoption d'une stratégie cohérente en matière d'infrastructures vertes.

## Formulation de la problématique

Face à une urbanisation galopante et à une pression croissante sur les ressources naturelles, Annaba, asphyxiée par les émanations industrielles et confrontée à une croissance démographique lourde, peine à intégrer efficacement les structures vertes dans sa planification urbaine. Cette carence se traduit par une dégradation progressive du cadre de vie, aggravée par une densification non maîtrisée et une augmentation préoccupante des niveaux de pollution. Ces observations sont corroborées par plusieurs études écologiques menées sur la ville (Noui, 2009).

L'environnement urbain, marqué par une minéralisation excessive, contribue à l'aggravation de divers problèmes de santé publique. La réduction significative des espaces verts et l'expansion des surfaces imperméables génèrent des impacts négatifs sur la qualité de vie des citadins. Cette transformation urbaine accentue le stress psychologique, favorise le développement de maladies respiratoires en raison de la pollution atmosphérique accrue et engendre des traumatismes liés à un environnement dépourvu de confort, d'esthétique et de connexion avec la nature. Ces constats soulignent l'urgence d'une refonte de la planification urbaine, intégrant des approches durables visant à atténuer les effets néfastes de la minéralisation.

La croissance urbaine incontrôlée d'Annaba a profondément altéré son paysage, entraînant une consommation excessive des espaces verts et agricoles, autrefois essentiels à l'équilibre écologique et à la qualité de vie des habitants. Cette expansion non planifiée a favorisé l'imperméabilisation du sol aux dépens des zones végétalisées, perturbant les écosystèmes locaux et menaçant la biodiversité. En parallèle, l'absence de politiques d'aménagement intégré a amplifié ces déséquilibres, exacerbant les pressions sur les ressources naturelles (Zennir, 2019 ; Noui et al., 2023).

Les conséquences de cette dynamique sont particulièrement visibles à travers l'augmentation de la vulnérabilité de la ville aux aléas climatiques, tels que les inondations et les sécheresses. La formation d'îlots de chaleur urbains, caractérisés par une élévation significative des températures locales, constitue un autre effet délétère de cette urbanisation anarchique. De nombreuses études ont mis en évidence une corrélation inverse entre la densité de la végétation et la température de surface, soulignant ainsi l'impact négatif de la réduction des espaces verts sur le microclimat urbain (Fashae et al., 2020). Ces transformations accentuent les inégalités sociales et les difficultés quotidiennes des populations les plus vulnérables, rendant la résilience urbaine un enjeu fondamental.

En outre, l'urbanisation rapide d'Annaba a profondément modifié sa structure verte, pourtant essentielle pour atténuer les effets du changement climatique. La disparition progressive de ces espaces, au profit d'une urbanisation et d'une agriculture intensives, illustre les failles des stratégies d'aménagement actuelles. Cette situation compromet également les perspectives de développement durable à long terme, à une époque où les défis climatiques exigent une gestion écologique anticipative et rigoureuse. Dès lors, la nécessité de repenser les politiques d'aménagement urbain et de renforcer les cadres de planification stratégique apparaît comme une priorité absolue.

L'adoption d'une gestion intégrée et durable, appuyée par des outils innovants tels que les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et la télédétection, constitue une réponse pertinente à ces défis. Ces technologies, utilisées dans de nombreuses recherches, offrent des capacités avancées pour cartographier les transformations territoriales et anticiper les impacts climatiques. Des plateformes telles que Google Earth Engine, associées à des algorithmes avancés comme les forêts aléatoires, se sont révélées efficaces pour analyser l'évolution des structures vertes et proposer des scénarios de développement équilibré (Lin et al., 2020 ; Zurqani et al., 2018 ; Liu et al., 2020 ; Pérez Catillacs et al., 2023). Par ailleurs, la mise en place de politiques intégrant la préservation et la restauration des réseaux écologiques, notamment à travers les ceintures vertes urbaines et les parcs périurbains, joue un rôle clé dans le renforcement de la résilience urbaine face aux défis climatiques et sociaux (Gherraz et al., 2020). Une planification dynamique, associée à des politiques d'aménagement adaptées, apparaît ainsi comme un levier stratégique pour concilier croissance urbaine et durabilité écologique tout en répondant aux besoins croissants des populations.

Dans ce contexte, la problématique centrale de cette recherche est d'évaluer dans quelle mesure l'intégration stratégique des structures vertes dans les politiques de planification et d'aménagement urbain peut améliorer les performances thermiques, environnementales et sociales de la ville d'Annaba, tout en répondant aux défis posés par l'urbanisation rapide. Plus précisément, cette recherche vise à répondre aux questions suivantes :

**1.Comment les structures vertes peuvent-elles être utilisées comme une stratégie efficace pour améliorer la performance environnementale et thermique dans le contexte de l'urbanisation rapide et des changements climatiques ?**

**2. Comment évaluer le recul ou la rupture des trames vertes et bleues par rapport à l'avancée de l'urbanisation à Annaba ?**

**3. De quelle manière la structure verte peut-elle contribuer à l'amélioration du confort thermique, notamment en atténuant les îlots de chaleur urbains ?**

**4. Dans quelle mesure la structure verte peut-elle contribuer à atténuer les problèmes de santé et de bien-être dans le contexte urbain d'Annaba, particulièrement face aux défis posés par le changement climatique ?**

Ces questions revêtent une importance capitale dans le contexte des défis contemporains liés au changement climatique. En effet, les villes doivent non seulement réduire leur empreinte écologique, mais également améliorer la qualité de vie de leurs habitants à travers des stratégies d'adaptation et d'atténuation efficaces. En tant qu'élément structurant du paysage urbain et périurbain, la structure verte constitue un levier essentiel pour atteindre ces objectifs.

Cette problématique est d'autant plus prégnante que les projections des Nations Unies indiquent que la croissance urbaine future se concentrera principalement dans les pays en développement, générant des impacts sociaux, politiques, économiques et environnementaux majeurs. La région méditerranéenne, à laquelle appartient Annaba, est identifiée comme un ***"hot spot"*** du changement climatique, avec des prévisions alarmantes concernant l'augmentation des températures moyennes et la fréquence accrue des événements météorologiques extrêmes. Ces changements auront des répercussions significatives sur les ressources en eau, les écosystèmes et l'agriculture, accentuant ainsi la vulnérabilité des territoires urbains face aux risques climatiques (IPCC, 2014).

Dans ce contexte, l'importance des structures vertes ne peut être sous-estimée, tant pour leur rôle dans la gestion durable des ressources naturelles que pour leur contribution à l'atténuation des impacts environnementaux négatifs. En particulier, les trames vertes et bleues jouent un rôle déterminant dans la préservation des continuités écologiques, facilitant la mobilité des espèces et le maintien des services écosystémiques. Une intégration stratégique de ces infrastructures dans la planification urbaine permettrait à Annaba d'améliorer significativement sa résilience climatique, tout en favorisant un développement plus inclusif et équitable, bénéfique pour la santé et le bien-être des habitants (Bowler et al., 2010).

L'évolution rapide du paysage urbain nécessite par ailleurs l'adoption de technologies modernes permettant d'observer et d'analyser ces transformations avec précision. Les systèmes d'information géographique (SIG) et la télédétection offrent des outils puissants pour surveiller et gérer les dynamiques des trames vertes et l'occupation des sols (Mering, 2008 ; Diédhiou et al., 2020). Ces technologies permettent une évaluation fine et continue des mutations urbaines, apportant ainsi des données essentielles pour orienter la planification urbaine vers un développement plus durable et adapté aux enjeux climatiques.

## Hypothèses de la recherche

Pour répondre à la problématique posée, plusieurs hypothèses sont formulées, articulant l'impact des structures vertes sur la régulation thermique, le bien-être des habitants, et la prise de décision en matière de planification et l'aménagement durable.

**Hypothèse principale :** La discontinuité des structures vertes, induite par une urbanisation rapide et un étalement non maîtrisé, compromet significativement la performance environnementale, l'équilibre thermique ainsi que le bien-être et la santé des populations urbaines. Cette fragmentation écologique réduit la capacité des écosystèmes urbains à réguler le climat local, à atténuer les effets des îlots de chaleur et à préserver la biodiversité, aggravant ainsi les vulnérabilités socio-environnementales de la ville. Dès lors, seule une intégration stratégique et cohérente des trames vertes dans la planification urbaine permettrait de rétablir une continuité écologique fonctionnelle, garantissant une meilleure régulation climatique, une amélioration de la qualité de vie et une résilience accrue face aux impacts du changement climatique. Cette hypothèse souligne que l'absence d'une telle approche entraîne une dégradation progressive du cadre de vie urbain et une exposition accrue aux risques environnementaux, compromettant ainsi les ambitions d'une performance environnementale et un développement urbain durable et inclusif.

**Sous-hypothèse 1 : Le SIG Via QGIS comme outil d'aide à la décision**

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG), notamment **QGIS et Google Earth Engine**, jouent un rôle fondamental dans l'analyse et la planification urbaine durable. En fournissant des outils avancés pour évaluer l'impact de l'urbanisation sur les structures vertes, ces technologies permettent une analyse spatio-temporelle fine, facilitant l'identification et la quantification des transformations de l'usage des sols et de leurs implications écologiques. L'utilisation des SIG repose sur une approche diachronique, fondée sur l'analyse multi-temporelle d'images satellitaires, qui permet de croiser des indicateurs environnementaux clés tels que l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) et la température de surface terrestre (LST). Cette corrélation met en évidence les effets des transformations urbaines sur les

performances écologiques des trames vertes, tout en permettant un suivi précis de leur évolution dans le temps.

Grâce à la cartographie de ces dynamiques, il devient possible d'identifier les zones critiques, c'est-à-dire les secteurs urbains les plus impactés par la régression des espaces verts et les phénomènes d'îlots de chaleur urbains. Ces données, à la fois détaillées et quantitativement robustes, constituent une base essentielle pour guider les décideurs et urbanistes dans l'élaboration de stratégies d'aménagement adaptées. En s'appuyant sur ces analyses, il devient envisageable de formuler des politiques plus efficaces visant à préserver, restaurer et renforcer les structures vertes, en réponse aux défis posés par l'urbanisation rapide. Par conséquent, **cette hypothèse postule que les SIG, en combinant analyses spatio-temporelles et indicateurs environnementaux, constituent un outil d'aide à la décision incontournable** pour améliorer les performances écologiques et thermiques de la ville d'Annaba.

**Sous hypothèse 2 : Contribution des structures vertes à la régulation thermique via le mapping thermique**

Les structures vertes, en tant qu'éléments fondamentaux du paysage urbain, jouent un rôle essentiel dans la régulation thermique des environnements urbains et suburbains. Elles permettent d'atténuer les effets des îlots de chaleur urbains grâce à des processus naturels tels que l'évapotranspiration et l'ombrage, réduisant ainsi les températures de surface dans les zones végétalisées. À l'inverse, les secteurs densément urbanisés, où les surfaces imperméables prédominent, connaissent des températures plus élevées, exacerbant le stress thermique en milieu urbain. Dans un contexte méditerranéen comme Annaba, ces phénomènes sont particulièrement marqués, rendant l'étude des dynamiques thermiques et de leur relation avec les infrastructures vertes essentielle à la compréhension des enjeux climatiques locaux. Afin de quantifier ces effets, le mapping thermique constitue une approche clé. En mobilisant des données satellitaires et des mesures in situ, il permet d'analyser avec précision les variations spatiales des températures de surface et d'identifier les îlots de chaleur urbains. L'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de la télédétection permet d'exploiter des indicateurs environnementaux tels que la température de surface terrestre (LST) et l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) pour établir des corrélations entre la couverture végétale et la distribution thermique. L'analyse multi-temporelle de ces indicateurs permet de suivre l'évolution des températures urbaines en fonction des transformations de la structure verte, offrant ainsi une meilleure compréhension des processus à l'œuvre.

Cette hypothèse postule que le mapping thermique, couplé aux SIG via QGIS et à la télédétection, constitue un outil essentiel pour démontrer empiriquement l'impact des structures vertes sur la régulation thermique urbaine. En fournissant une analyse spatialisée et quantifiable des variations thermiques, il permet d'évaluer l'efficacité des structures vertes en milieu urbain et de mieux appréhender leur rôle dans l'atténuation des effets climatiques locaux. Cette approche contribue ainsi à une meilleure compréhension des interactions entre urbanisation, structures vertes et dynamiques thermiques, renforçant l'apport scientifique des études sur la résilience urbaine face au changement climatique.

**Sous hypothèse 3 :** Les structures vertes constituent un élément central de la qualité de vie en milieu urbain, influençant à la fois la santé physique et mentale des résidents, la cohésion sociale et l'usage des infrastructures publiques. Leur accessibilité, leur aménagement et leur répartition spatiale au sein du tissu urbain conditionnent leur fréquentation et leur efficacité en tant que leviers d'amélioration du bien-être des citadins. Dans ce cadre, cette recherche postule que la qualité des structures vertes urbaines joue un rôle déterminant dans la santé des habitants, la dynamique sociale et la réduction des inégalités territoriales en matière d'accès aux services environnementaux et récréatifs. Ainsi, une planification urbaine intégrant de manière équitable et cohérente ces infrastructures apparaît comme un enjeu majeur pour garantir un développement urbain durable et inclusif.

## 4.Approche méthodologique

Cette section méthodologique détaille les démarches scientifiques entreprises pour analyser et évaluer l'intégration de la structure verte dans la planification urbaine durable de la future métropole d'Annaba. Elle vise à établir un cadre rigoureux permettant de démontrer comment la structure verte contribue à la performance environnementale et au bien-être des habitants, en s'appuyant sur des méthodes quantitatives et qualitatives conformes aux normes de la recherche scientifique. La méthodologie s'ancre dans un cadre théorique multidisciplinaire, mobilisant les concepts de développement durable, de structure verte, de performance environnementale et de bien-être. Une revue exhaustive de la littérature a été effectuée pour établir les fondements théoriques et identifier les indicateurs pertinents à évaluer. Ce cadre conceptuel sert de base pour l'élaboration des hypothèses de recherche et le choix des méthodes d'analyse.

### ➢ Techniques de Télédétection et Systèmes d'Information Géographique (SIG)

Les techniques de télédétection et d'analyse géospatiale via les Systèmes d'Information Géographique (SIG) ont été sélectionnées pour leur capacité à fournir une vue d'ensemble dynamique des structures vertes dans la ville d'Annaba. Ces méthodes permettent non seulement de cartographier la répartition spatiale des espaces verts, mais également d'en étudier l'évolution dans le temps. Le choix de Google Earth Engine (GEE) pour la manipulation des données spatiales s'appuie sur sa capacité à traiter de grandes quantités de données satellitaires et à appliquer des algorithmes complexes de classification et de calcul d'indices de végétation, tels que le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Cette méthode offre une précision dans la collecte et l'analyse des données, indispensable pour des conclusions basées sur des preuves géospatiales fiables.

- **Analyse des indices LST et INDVI :** L'analyse des indices Land Surface Temperature (LST) et Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) est une méthode essentielle pour évaluer l'impact des surfaces végétalisées sur les conditions microclimatiques urbaines et sur le bien-être des habitants. Dans le contexte de la ville d'Annaba, ces indices permettent de quantifier l'effet des espaces verts sur la régulation thermique et d'évaluer leur capacité à atténuer les îlots de chaleur urbains, souvent générés par l'urbanisation croissante. L'indice LST représente la température de surface, obtenue par télédétection à partir de capteurs thermiques des satellites Landsat ou MODIS. Cet indice est particulièrement utile pour identifier les zones de chaleur et évaluer l'efficacité des structures vertes dans la réduction des températures locales. L'analyse du LST fournit une cartographie de la température qui aide à cibler les zones critiques nécessitant des décisions quant a leur amélioration. Le NDVI, en

revanche, est un indicateur de la santé de la végétation, calculé à partir de la différence entre les bandes du proche infrarouge (NIR) et du rouge (Red). Un NDVI élevé indique une végétation dense et en bonne santé, alors qu'un NDVI faible signale une faible couverture végétale ou une absence de végétation. Dans le cadre de cette étude, le NDVI est utilisé pour évaluer la densité et la distribution spatiale de la SV à Annaba, ainsi que pour corréler ces données avec celles du LST afin de déterminer leur impact sur le climat local. En combinant l'analyse de ces deux indices, il est possible d'établir une relation entre la végétation et la réduction des températures de surface. Cette corrélation permet non seulement de confirmer l'importance des espaces verts dans la régulation climatique urbaine, mais aussi d'élaborer des recommandations pour une planification urbaine plus durable et respectueuse des conditions climatiques locales. Les données obtenues à partir des indices LST et NDVI offrent ainsi un cadre pour une gestion optimale des ressources naturelles et une amélioration significative du bien-être des habitants par le biais de stratégies d'aménagement qui intègrent la nature au sein des espaces urbains.

**Justification des outils**

Dans cette recherche, chaque outil sélectionné répond à un besoin spécifique, en facilitant la collecte, l'analyse et l'interprétation des données spatiales et environnementales. Cette approche méthodologique permet d'évaluer avec précision l'efficacité des espaces verts en milieu urbain et leur contribution à la résilience climatique. L'intégration de la télédétection, des systèmes d'information géographique (SIG), de Google Earth Engine (GEE) et de l'algorithme Random Forest assure une analyse rigoureuse des interactions entre urbanisation, structure verte et climat.

L'imagerie satellitaire et la télédétection constituent la première étape essentielle de cette analyse. En exploitant les données issues des satellites Landsat et MODIS, il est possible d'obtenir une vision spatio-temporelle détaillée du territoire d'Annaba, offrant une base d'étude fiable pour l'évaluation des transformations environnementales. Cette technologie permet notamment d'extraire des indicateurs fondamentaux tels que la température de surface terrestre (LST) et l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI). L'indicateur LST fournit une évaluation précise des îlots de chaleur urbains et de leurs variations saisonnières, tandis que le NDVI permet d'analyser l'évolution de la couverture végétale et d'évaluer son rôle dans la régulation thermique. L'exploitation des images multispectrales garantit ainsi une compréhension approfondie des dynamiques environnementales et facilite l'identification des zones les plus exposées aux effets de la minéralisation urbaine.

L'utilisation de Google Earth Engine (GEE) s'impose comme une solution optimale pour le traitement et l'analyse des données satellitaires à grande échelle. Cette plateforme, grâce à son architecture cloud, permet de manipuler de vastes ensembles de données géospatiales tout en assurant une rapidité et une précision accrues dans le traitement des images. En mobilisant GEE, il devient possible d'extraire automatiquement des indices environnementaux, tels que LST et NDVI, sur plusieurs décennies, offrant ainsi une vision diachronique des dynamiques thermiques et écologiques. Cette capacité d'analyse multi-temporelle permet d'évaluer avec précision l'impact de la transformation des espaces verts sur le climat urbain et de détecter les tendances d'évolution des structures végétales face aux pressions anthropiques.

L'intégration des Systèmes d'Information Géographique (SIG) via QGIS constitue un volet fondamental de cette étude, en apportant une approche cartographique détaillée et une analyse spatiale approfondie. L'exploitation des SIG permet de structurer et de gérer

efficacement des données géolocalisées, facilitant ainsi l'identification des corrélations entre l'évolution des espaces verts et la répartition des îlots de chaleur urbains. La cartographie fine des structures vertes et des zones thermiquement vulnérables permet non seulement d'analyser l'impact de l'urbanisation sur le climat, mais aussi d'appréhender la distribution spatiale des inégalités en matière d'accès aux espaces verts. En intégrant plusieurs niveaux d'analyse, les SIG assurent une visualisation précise des transformations environnementales et permettent une interprétation cohérente des phénomènes climatiques et écologiques urbains.

L'algorithme Random Forest constitue une approche avancée pour la classification des types de couverture du sol et l'identification des structures vertes avec une grande précision. Cet algorithme d'apprentissage automatique, basé sur un ensemble d'arbres de décision, offre une robustesse particulière dans l'analyse des données multi-sources, limitant ainsi les erreurs d'interprétation et le surajustement des modèles. Son application dans cette recherche permet de distinguer les différentes catégories de végétation et de quantifier les transformations de l'occupation du sol au fil du temps. La capacité prédictive de Random Forest est essentielle pour identifier les dynamiques de régression ou d'expansion des espaces verts, contribuant ainsi à une meilleure compréhension des processus d'urbanisation et de leur impact sur le climat urbain.

L'articulation de ces outils garantit une approche méthodologique complète, combinant l'observation satellitaire, le traitement avancé des données géospatiales et l'intelligence artificielle appliquée à l'analyse des dynamiques environnementales. En associant la télédétection, Google Earth Engine, les SIG et l'algorithme Random Forest, cette étude assure une évaluation rigoureuse des interactions entre urbanisation, climat et structures vertes, tout en offrant une capacité d'analyse multi-échelle et temporelle essentielle à la compréhension des phénomènes climatiques urbains. Cette méthodologie permet ainsi d'obtenir des résultats scientifiquement robustes et de mieux appréhender les enjeux liés à la gestion durable des espaces verts en milieu urbain.

**Méthodes Qualitatives : Enquêtes et grille d'indicateurs**

- **Enquêtes et entretiens : Dans** le cadre de l'étude du bien-être et de la satisfaction des habitants, des méthodes qualitatives, principalement sous forme de questionnaires et d'entretiens, ont été intégrées afin de compléter l'analyse géospatiale. Ces approches permettent de capturer les perceptions subjectives des citoyens vis-à-vis des espaces verts urbains, en mettant en évidence leurs attentes et leurs besoins spécifiques. Elles facilitent l'identification des préférences des habitants en matière d'espaces verts, leur fréquence d'utilisation ainsi que les fonctions qu'ils leur attribuent. En parallèle, elles offrent une évaluation de l'impact psychosocial, notamment en examinant leur influence sur le bien-être et la qualité de vie des résidents. Au-delà des indicateurs purement quantifiables, ces enquêtes permettent également de recueillir des données non mesurables géographiquement, telles que le sentiment de sécurité, l'esthétique perçue des espaces verts et leur rôle dans la cohésion sociale. En intégrant ces perceptions aux analyses spatiales, il devient possible d'obtenir une compréhension plus globale des interactions entre aménagements paysagers et qualité de vie en milieu urbain.

L'enquête auprès des acteurs et experts apporte un éclairage complémentaire en intégrant les perspectives des urbanistes, écologistes, décideurs locaux et gestionnaires d'espaces verts. Ces entretiens permettent d'analyser les stratégies de planification d'aménagement et de gestion des structures vertes, d'identifier les contraintes et défis liés à leur mise en place et leur entretien, ainsi que d'évaluer leur intégration dans les politiques urbaines.

L'apport des experts contribue ainsi à mieux comprendre les dynamiques institutionnelles et les enjeux de gouvernance associés aux espaces verts urbains.

• **La grille d'indicateurs :** L'évaluation du bien-être et de la santé en lien avec les structures vertes repose sur une approche méthodologique rigoureuse intégrant des indicateurs scientifiquement validés. Ces indicateurs ont été sélectionnés afin de couvrir plusieurs dimensions essentielles, incluant les aspects spatiaux**, écologiques, psychologiques, sociaux, économiques et esthétiques**. L'analyse écologique prend en compte la biodiversité et la capacité des espaces verts à assurer une régulation climatique efficace. La dimension psychologique et sociale s'intéresse à la satisfaction des habitants et à l'effet des structures vertes sur la cohésion sociale. L'aspect économique est évalué à travers la valeur foncière et l'attractivité urbaine, tandis que l'esthétique des espaces verts est mesurée par la qualité paysagère perçue.

Afin de quantifier ces éléments de manière objective, une **grille d'évaluation multidimensionnelle** a été développée. Cette grille permet d'évaluer l'impact des structures vertes à travers un **système de scores pondérés allant de 1 à 5**, facilitant ainsi une analyse comparative des différentes zones urbaines. Chaque indicateur est pondéré en fonction de son importance relative dans l'évaluation globale, garantissant une approche équilibrée et représentative des réalités du terrain.

L'analyse des données repose sur des **méthodes statistiques** permettant de tester l'hypothèse de recherche. Ces analyses ont permis d'examiner les corrélations entre les différents indices et d'identifier les relations significatives entre la **présence des structures vertes, le bien-être des habitants et la performance environnementale**. L'intégration de ces différentes dimensions dans un cadre analytique structuré assure une évaluation complète et rigoureuse du rôle des structures vertes dans la durabilité et la qualité de vie.

**Collecte et Traitement des Données**

La collecte des données repose sur une approche intégrée combinant données géospatiales, socio-économiques et enquêtes de terrain, permettant une analyse approfondie des interactions entre structures vertes, régulation thermique et bien-être urbain.

Les données géospatiales ont été obtenues à partir d'images satellitaires multispectrales Landsat et Sentinel, permettant une analyse diachronique de l'évolution des espaces verts à Annaba. Ces données ont été traitées sous Google Earth Engine (GEE) pour leur prétraitement, correction radiométrique et analyse multi-temporelle. La classification de l'occupation du sol, réalisée avec l'algorithme Random Forest, a permis d'identifier et de cartographier les espaces verts, zones bâties et surfaces imperméables avec une grande précision.

Les indices de végétation, notamment le NDVI, ont été calculés pour mesurer la densité et la vitalité de la végétation, tandis que la température de surface terrestre (LST) a été extraite des images thermiques pour détecter les îlots de chaleur urbains. L'ensemble de ces données a été traité sous QSIG pour croiser les informations et analyser la relation entre répartition des structures vertes et variations thermiques urbaines.

Les données socio-économiques ont été recueillies auprès des institutions locales afin de contextualiser l'étude et d'analyser les politiques de gestion des infrastructures vertes. Par ailleurs, des enquêtes de terrain ont été menées auprès des habitants et experts locaux afin de

recueillir des perceptions sur l'accessibilité, l'usage et l'impact des espaces verts. Ces enquêtes ont été traitées par analyse thématique qualitative, permettant de dégager les tendances dominantes et les principaux enjeux liés à la planification urbaine.

Enfin, une analyse statistique a été appliquée pour examiner les corrélations entre la présence des espaces verts, la régulation thermique et le bien-être urbain, assurant ainsi une interprétation forte et scientifique des résultats.

L'ensemble de ces données, associant analyses spatiales, indicateurs environnementaux et enquêtes de terrain, permet une évaluation approfondie des relations entre urbanisation, régulation thermique et bien-être urbain, garantissant ainsi une approche scientifiquement rigoureuse et contextualisée.

**Intégration des Résultats et Validation**

L'intégration des résultats issus des analyses spatiales, quantitatives et qualitatives a permis d'établir une vision globale et cohérente de l'impact des structures vertes sur l'environnement urbain et le bien-être des populations. La confrontation des différentes sources de données a renforcé la validité scientifique des conclusions, en croisant les informations géospatiales, statistiques et sociétales. Les modèles développés ont été soumis à des techniques de validation croisée, garantissant leur force et leur fiabilité. Par ailleurs, des tests statistiques ont été réalisés afin de vérifier la solidité des relations entre les variables étudiées, assurant ainsi une interprétation fondée sur des preuves empiriques rigoureuses.

L'intégration des données qualitatives a apporté une dimension humaine et sociale essentielle, permettant d'affiner l'analyse et d'offrir une perspective centrée sur le bien-être des habitants. Cette approche globale, combinant analyses SIG et télédétection, algorithmes d'apprentissage automatique (Random Forest), enquêtes qualitatives et grilles d'indicateurs, a permis de couvrir toutes les dimensions de la problématique avec précision et objectivité.

Le choix méthodologique a été guidé par la complémentarité et la rigueur scientifique de chaque outil, garantissant une production de données fiables, complètes et validées. Cette approche méthodologique garantit une analyse multidimensionnelle rigoureuse des structures vertes et de leur rôle dans le développement urbain durable, en s'appuyant sur des méthodes scientifiquement validées et adaptées aux enjeux contemporains de l'urbanisation et de l'aménagement urbain.

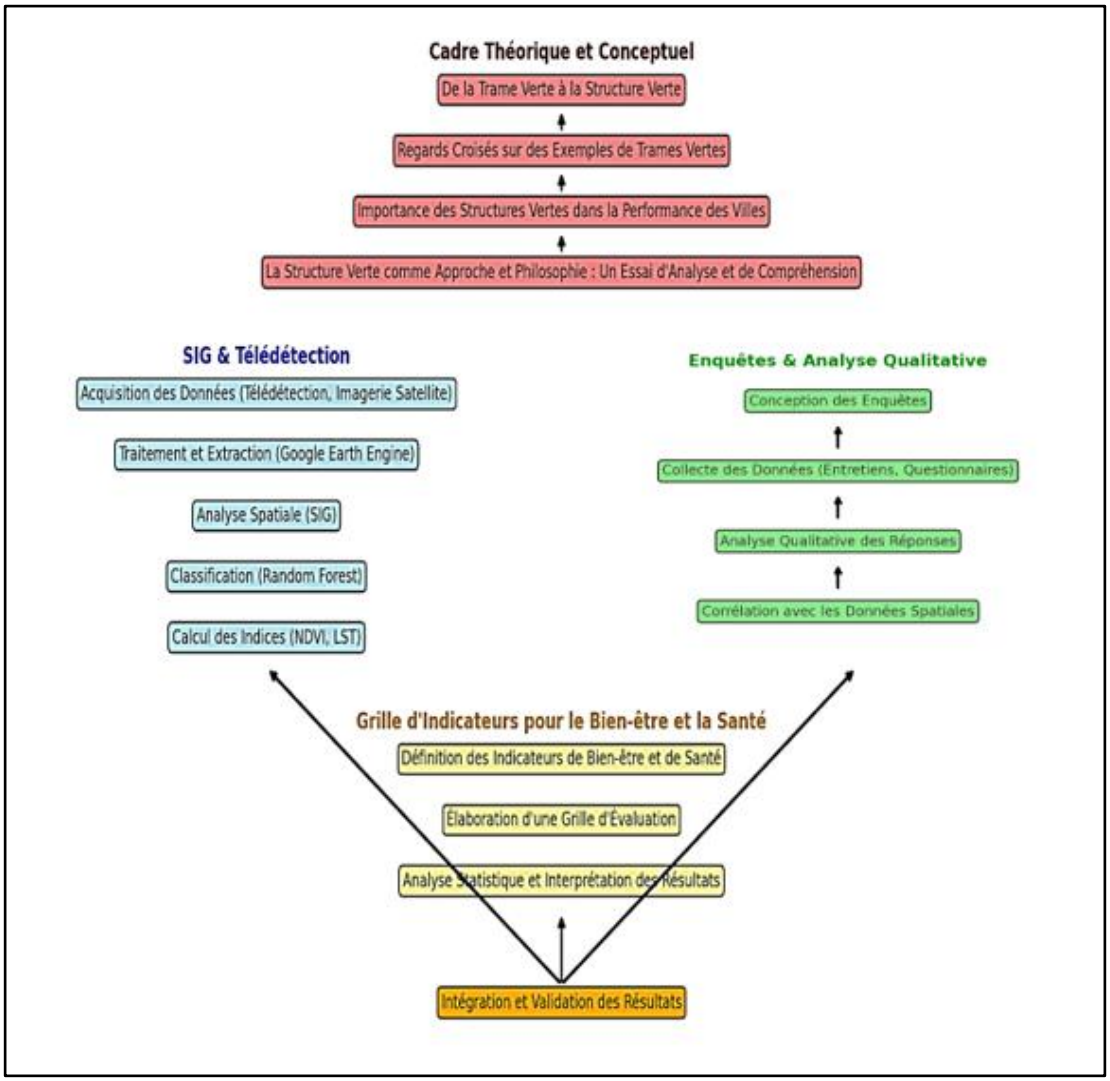



**Figure 1.** Processus méthodologique. Conception auteure

## 5.Plan de la thèse

Ce travail de recherche est structuré en trois grandes parties, chacune abordant un aspect clé de l'analyse des structures vertes en milieu urbain et suburbain. Elles s'organisent en trois parties comme suit :

•**La première partie** explore le concept de trame verte et son évolution vers celui de structure verte, en mettant l'accent sur ses fondements théoriques et les expériences pratiques observées à travers différents contextes. Elle commence par une analyse approfondie de la trame verte, de son origine, de ses fonctions et de ses impacts sur la planification urbaine. Ensuite, elle présente des cas d'étude méditerranéen illustrant l'application de la trame verte dans des villes comme Paris, Marseille et Tunis, en décrivant leurs stratégies, leurs contraintes et leurs perspectives. Enfin, cette partie examine comment le concept de structure verte s'inscrit dans une approche philosophique et urbaine, en analysant ses définitions, ses indicateurs et son rôle dans la résilience et la durabilité des territoires.

- **La deuxième partie** se concentre sur les approches et outils permettant d'évaluer et de gérer les structures vertes. Elle commence par l'exploration des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de la télédétection comme outils d'aide à la décision, en expliquant leur fonctionnement, leur potentiel et leur application à l'étude des espaces verts. Ensuite, elle introduit un ensemble d'indicateurs multidimensionnels permettant d'évaluer le bien-être et la santé à travers les structures vertes, en développant une grille d'évaluation et un tableau de bord analytique. Cette partie inclut également une section dédiée aux enquêtes sociologiques et aux entretiens avec les acteurs locaux, qui viennent compléter les analyses quantitatives par une approche qualitative. Enfin, elle présente une analyse approfondie du contexte étudié, en décrivant les caractéristiques physiques, morphologiques et démographiques de la ville d'Annaba, tout en cartographiant et classifiant ses espaces verts pour une identification de la structure verte.

**La troisième Partie** se focalise sur l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus afin d'évaluer l'évolution des structures vertes à Annaba et leur impact sur l'environnement et le bien-être des habitants. Elle confronte les données spatiales et socio-environnementales aux hypothèses initiales pour dégager des tendances significatives et proposer des recommandations adaptées. L'étude commence par l'exploration du rôle des structures vertes dans la résilience urbaine et la durabilité écologique, en analysant leur contribution à la régulation du climat et à l'amélioration du cadre de vie.

Ensuite, une approche cartographique basée sur les SIG et la télédétection permet d'identifier et de cartographier les espaces verts, mettant en évidence leur fragmentation sous l'effet de l'urbanisation. L'analyse diachronique des changements de couverture terrestre, menée à l'aide de l'algorithme Random Forest, révèle une diminution marquée des surfaces végétalisées entre 1984 et 2021, impactant directement la biodiversité et les services écosystémiques. L'évaluation des indices environnementaux, notamment le NDVI et le LST, permet d'examiner la relation entre couverture végétale et régulation thermique urbaine. Ces indicateurs révèlent une corrélation entre la présence des espaces verts et l'atténuation des îlots de chaleur urbains, soulignant leur rôle essentiel dans la résilience climatique des villes.

Enfin, cette partie intègre une dimension sociale en analysant les résultats des enquêtes et entretiens menés auprès des habitants et des acteurs urbains. Ces données mettent en évidence des disparités dans l'accessibilité et la perception des espaces verts, influençant leur appropriation et leur impact sur le bien-être des habitants. La confrontation des résultats quantitatifs et qualitatifs permet d'identifier les leviers et freins à une meilleure intégration des structures vertes dans la planification urbaine. Cette partie met donc en lumière l'importance d'une gestion intégrée et concertée des structures vertes face aux défis de l'urbanisation et propose des recommandations pour renforcer leur rôle dans l'aménagement durable.

**Figure 2**.les étapes de la recherche. Conception auteure

# PREMIERE PARTIE

# DE LA TRAME VERTE A LA STRUCTURE VERTE : VERS LA RECHERCHE DE LA PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE DES VILLES

## Introduction de la première partie

La transformation des villes au XXIe siècle repose sur la capacité des acteurs urbains à répondre aux enjeux globaux, notamment le changement climatique, la perte de biodiversité, la pollution et la pression croissante exercée sur les ressources naturelles. Face à ces défis, les modèles d'aménagement traditionnels, largement centrés sur l'expansion urbaine et la densification, montrent leurs limites. Une approche plus globale et durable s'impose, plaçant la nature et les infrastructures écologiques au cœur de la planification urbaine.

Le concept de trame verte, à l'origine conçu pour reconnecter des espaces naturels fragmentés, s'est progressivement enrichi pour devenir une structure verte intégrée. Cette évolution reflète un changement de paradigme, où les villes ne sont plus perçues comme des entités isolées, mais comme des écosystèmes complexes en interaction constante avec leur environnement. Ainsi, la structure verte ne se limite pas à la préservation des espaces verts existants, mais inclut également la création de corridors écologiques, de zones tampons et de solutions basées sur la nature pour favoriser la résilience urbaine.

En intégrant les dimensions écologiques, sociales et économiques, la structure verte devient un outil stratégique pour atteindre les objectifs de développement durable des villes. Elle contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, à l'amélioration de la qualité de l'air et de l'eau, ainsi qu'à la promotion d'une mobilité durable. Par ailleurs, elle renforce le lien entre les citoyens et leur environnement, créant des opportunités pour l'éducation environnementale, les activités récréatives et la cohésion sociale.

Cette première partie de la thèse explore la genèse et l'évolution du concept de trame verte vers une structure verte intégrée, en mettant en lumière les fondements théoriques, les cadres institutionnels et les préalables techniques nécessaires à sa mise en œuvre. Elle s'attache à démontrer comment cette transition peut devenir un levier majeur pour améliorer la performance environnementale des villes tout en favorisant un développement équilibré et inclusif.

Cette partie propose donc une analyse critique des opportunités et des obstacles liés à l'intégration des structures vertes dans les politiques publiques et l'aménagement urbain, en s'appuyant sur des exemples et des études de cas issus de différents contextes en particulier méditerranéen. L'objectif est de fournir une base scientifique et opérationnelle pour la conception de villes durables, capables de relever les défis environnementaux et sociétaux de demain.

# CHAPITRE 1
# LA TRAME VERTE UN ESSAI DE COMPREHENSION

# Introduction

Dans un monde où la dynamique d'expansion urbaine et de croissance économique se heurte inlassablement aux impératifs de préservation environnementale et à l'aspiration à la durabilité, le concept de trame verte émerge comme une vision novatrice pour harmoniser les relations entre nature et milieu urbain. Ce chapitre inaugure une exploration approfondie de la trame verte, abordée non seulement en tant que concept théorique, mais également comme une pratique transformatrice. Elle vise une intégration harmonieuse des espaces verts et des corridors écologiques au sein des agglomérations, tissant ainsi la trame d'une coexistence durable entre l'homme et l'environnement. L'origine de la trame verte, perçue initialement comme un simple atout esthétique et récréatif dans le domaine du paysagisme, a subi une métamorphose pour devenir un axe stratégique du développement urbain durable. Elle s'affirme aujourd'hui comme un réseau écologique intégral, couvrant un éventail de fonctions : du renforcement de la biodiversité à l'amélioration de la qualité de l'air et de l'eau, en passant par la mitigation des îlots de chaleur urbains et la création d'espaces propices au bien-être des communautés.

Ce chapitre se propose de retracer la genèse et l'évolution de la notion de trame verte, mettant en exergue son rôle déterminant dans la réarticulation des dynamiques entre nature et urbanisation. À travers un éventail d'études de cas, nous démontrerons comment la trame verte se positionne en catalyseur de la transformation urbaine, conciliant les enjeux écologiques avec les besoins sociaux et économiques des cités modernes. Nous explorerons les dimensions multiples de la trame verte, de ses fondements historiques et ses implications dans le paysagisme à son influence sur la performance environnementale et le développement urbain durable, sans négliger son incorporation dans les dispositifs législatifs et les stratégies de planification. Ce chapitre ambitionne de décrypter la complexité de la trame verte et son potentiel en tant qu'outil indispensable à la conception des villes de demain.

L'analyse s'enrichira d'un regard sur les contributions de la recherche interdisciplinaire, qui a permis d'élargir notre compréhension des services écosystémiques urbains et de la biodiversité. Les évolutions législatives et réglementaires, favorisant l'adoption de la trame verte dans les politiques d'aménagement, seront examinées pour souligner l'importance de la gouvernance environnementale adaptative. De plus, l'impact des technologies émergentes et des démarches participatives dans la conception et la gestion des espaces verts urbains sera mis en lumière, révélant des opportunités pour une intégration plus efficace et inclusive de la nature en ville. En définitive, la trame verte transcende la notion simpliste d'espace vert pour s'établir en tant qu'infrastructure écologique vitale, capable de relever les défis contemporains du changement climatique, de l'érosion de la biodiversité et de la quête du bien-être urbain. Par le prisme des avancées théoriques et des succès pratiques dans ce domaine, cette introduction souligne l'urgence et la possibilité de réinventer nos villes, en favorisant une symbiose plus profonde et respectueuse avec la nature.

## 1.1. Le concept de trame verte : une mise au point sur les rapports nature - ville

Le concept de trame verte constitue un pilier central dans l'intégration de la nature au sein des environnements urbains, servant de stratégie essentielle pour concilier les espaces naturels avec les développements urbains. Cette approche vise à établir des corridors écologiques dans le tissu urbain, facilitant non seulement le déplacement de la faune, mais aussi en offrant aux habitants des espaces de loisirs, tout en améliorant la qualité de l'air et en contribuant à la gestion des eaux pluviales. Une analyse approfondie de ce concept, à travers les écrits de divers experts scientifiques, révèle les interactions complexes entre la nature et la ville.

Benedict et McMahon (2006) ont été parmi les premiers à conceptualiser l'idée d'infrastructure verte, qu'ils ont positionnée comme un élément fondamental pour comprendre et appliquer le concept de trame verte en milieu urbain. Ils soulignent l'importance vitale de ces infrastructures non seulement pour la santé des écosystèmes, mais également pour le bien-être humain. Selon leur perspective, l'infrastructure verte constitue la base de réseaux interconnectés d'espaces naturels et semi-naturels, favorisant ainsi la biodiversité en milieu urbain tout en procurant des avantages environnementaux et sociaux significatifs. Dans son étude, (Sandström ,2002) examine le rôle capital des trames vertes dans la planification urbaine durable. Il conclut que l'intégration de corridors écologiques et d'espaces verts dans l'aménagement urbain est essentielle pour préserver et améliorer les services écosystémiques en milieu urbain. Il met en évidence que la trame verte ne se limite pas à la préservation de la nature, mais contribue également de manière déterminante à la promotion d'un développement urbain résilient et adaptatif.

Forman, (2014) enrichit ce discours en insistant sur l'importance de l'écologie du paysage dans la planification des trames vertes. Il souligne que la compréhension des structures spatiales et des fonctions écologiques des paysages urbains est essentielle pour élaborer des stratégies efficaces de conservation de la biodiversité et de gestion des ressources naturelles. Il montre également que l'application des principes de l'écologie du paysage permet non seulement de préserver la biodiversité, mais aussi de créer des villes plus résilientes face aux défis contemporains, tels que les changements climatiques et la fragmentation des habitats.

Pickett et al. (2010) explorent la relation entre la ville et la nature à travers le développement de la trame verte, en s'appuyant sur des recherches récentes en écologie urbaine. Leur étude souligne l'importance de la planification des trames vertes pour intégrer les systèmes sociaux, écologiques et hydrologiques, contribuant ainsi à la résilience urbaine face aux changements climatiques et aux perturbations environnementales. Cette approche met en lumière les interactions complexes entre les espaces verts et les infrastructures urbaines, essentielles pour le développement de villes durables et résilientes. Dans une autre étude, Pickett et al. (2003) insistent sur l'importance d'une approche intégrée dans la planification écologique urbaine, reliant les composantes écologiques, physiques et socio-économiques des zones métropolitaines.

Ces recherches démontrent que la gestion des flux de matériaux et d'énergie entre la ville et les zones naturelles environnantes est essentielle pour renforcer la résilience urbaine et soutenir une gestion durable des ressources. Tzoulas et al. (2007) approfondissent l'importance de la trame verte dans la promotion de la santé et du bien-être en milieu urbain, en soulignant le lien intrinsèque entre la ville et la nature. Leur étude montre que la planification des trames vertes joue un rôle central dans la création d'environnements urbains plus sains, offrant des espaces pour la récréation physique et la détente mentale, tout en améliorant la qualité de l'air et les conditions climatiques locales.

En intégrant la biodiversité et les services écosystémiques dans la planification urbaine, ils mettent en avant l'importance de rétablir un équilibre entre la ville et la nature pour atteindre des objectifs de santé publique et renforcer la résilience des communautés urbaines face aux défis environnementaux. Niemelä et al. (2010) se concentrent sur la biodiversité en milieu urbain, affirmant que les trames vertes sont essentielles pour la conservation des espèces et la fourniture de services écosystémiques indispensables. Leur recherche souligne l'importance de concevoir des trames vertes capables de connecter des habitats fragmentés, favorisant ainsi la mobilité des espèces et le maintien de la diversité biologique. En examinant le rapport complexe entre la ville et la nature, ils mettent en évidence le rôle clé des trames vertes dans la mitigation des impacts négatifs de l'urbanisation sur la nature, contribuant ainsi à la résilience écologique des villes. Kabisch et al. (2017) proposent une approche intégrée de la trame verte, abordée à travers le prisme de l'adaptation urbaine aux changements climatiques. Ils explorent la manière dont les trames vertes peuvent être planifiées pour améliorer la résilience urbaine face aux défis environnementaux, en tenant compte des interactions complexes entre les systèmes sociaux, écologiques et hydrologiques. Cette approche met en avant l'importance d'une planification urbaine qui intègre ces dimensions pour renforcer la durabilité des villes.

## 1.2. Approche du concept de trame verte

L'approche du concept de trame verte dans l'aménagement urbain moderne est centrée sur la création et le maintien de réseaux d'espaces verts interconnectés qui traversent les zones urbaines et périurbaines. Ce concept, qui émerge de la nécessité de réconcilier les processus écologiques avec les dynamiques urbaines, vise à promouvoir la biodiversité, à améliorer la qualité de vie des citadins et à répondre aux défis environnementaux pressants tels que le changement climatique, la fragmentation des habitats, et la pollution. Les travaux de nombreux chercheurs, tels que Benedict et McMahon (2012), Tzoulas et al. (2007), et Forman (2014), mettent en lumière l'importance croissante de ce concept dans la planification urbaine durable. Ces chercheurs soulignent que la trame verte ne se limite pas à une simple juxtaposition d'espaces verts, mais constitue un réseau intégré et fonctionnel qui lie les zones naturelles et semi-naturelles au sein du tissu urbain, tout en répondant aux besoins écologiques et sociaux.

La trame verte est définie comme un réseau planifié d'espaces naturels et semi-naturels, conçu pour maximiser les bénéfices environnementaux et sociaux dans les environnements urbains (**Figure 3**). Selon Benedict et McMahon (2012), ce concept sert de cadre stratégique pour le développement d'infrastructures vertes qui relient des zones écologiques clés, facilitant le mouvement des espèces et la dispersion des plantes, tout en offrant des espaces de loisirs et de

détente pour les populations humaines. C'est aussi un ensemble de milieux naturels et semi-naturels terrestres et aquatiques organisés en réseau écologique. Elle peut être décomposée en sous-trames correspondant à différents types de milieux ou paysages.

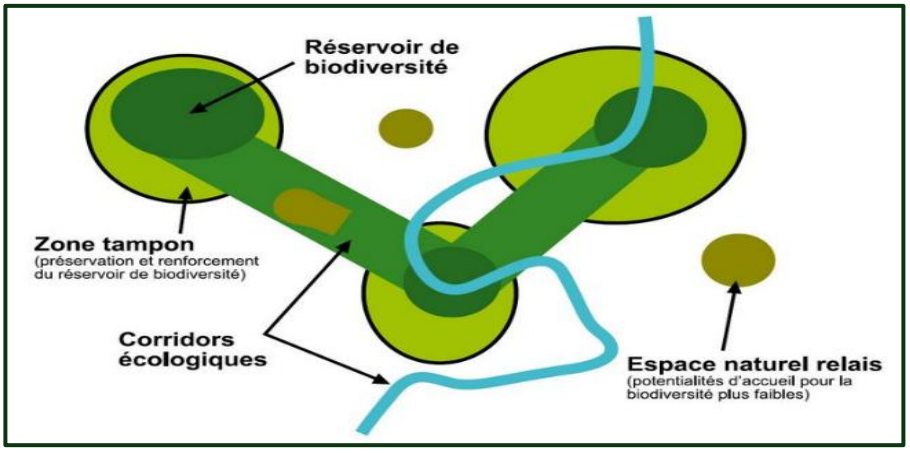



**Figure .3.La** trame verte et bleu. Source : https://www.saint-dizier.fr/

L'intégration de ces trames dans la planification urbaine permet de créer des corridors écologiques (**Figure 4**) qui non seulement soutiennent la biodiversité, mais contribuent également à la santé publique en fournissant des espaces pour l'activité physique et la détente mentale, essentiels pour le bien-être des citadins. De plus, la trame verte se compose souvent de sous-trames spécifiques, telles que les trames bleues, qui intègrent les cours d'eau et les plans d'eau urbains dans le réseau écologique plus large. Cette organisation en sous-trames permet une gestion plus ciblée et efficace des différentes composantes de l'écosystème urbain, en tenant compte des spécificités locales et des besoins des habitants (Pickett et al., 2010). L'objectif ultime de la trame verte est de créer un environnement urbain résilient, capable de s'adapter aux changements et de promouvoir une coexistence harmonieuse entre l'homme et la nature.

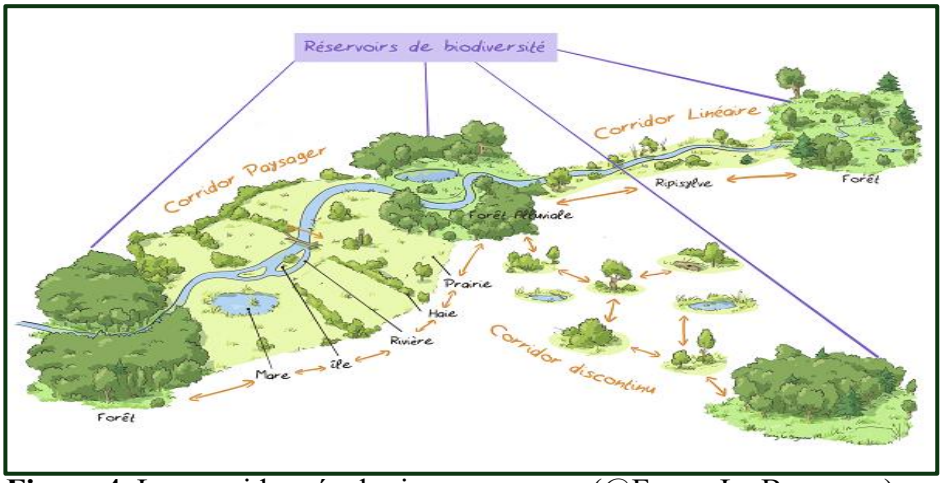



**Figure 4 .**Les corridors écologiques, source : (@Fanny Le Bagousse)

L'importance de la trame verte dans la planification urbaine est également soulignée par son rôle dans la mitigation des impacts négatifs de l'urbanisation, tels que la fragmentation des habitats et la perte de biodiversité. En créant des corridors écologiques continus, la trame verte permet de reconnecter les habitats fragmentés, favorisant ainsi la mobilité des espèces et le maintien de la diversité biologique au sein des environnements urbains (Niemelä et al., 2010). Cette approche intégrée et systémique de la planification urbaine vise à assurer un développement durable, en intégrant les dimensions écologiques, sociales et économiques de manière cohérente et complémentaire.

La trame verte joue un rôle important dans la conservation de la biodiversité urbaine, en offrant des habitats pour de nombreuses espèces et en maintenant les services écosystémiques. Haase et al. (2014) ont proposé une analyse critique des évaluations des services écosystémiques urbains à travers une revue quantitative, soulignant l'importance indéniable des trames vertes pour le maintien de la biodiversité et la fourniture de services essentiels en milieu urbain. Leur étude met en avant la nécessité d'intégrer ces concepts dans la planification urbaine pour répondre aux défis environnementaux croissants auxquels les villes sont confrontées, notamment en matière de régulation du climat et de gestion des ressources naturelles.

La **figure 5** ci-dessous, illustre l'organisation et l'interconnexion des sous-trames au sein de la trame verte et bleue, un concept clé pour l'intégration de la biodiversité et la gestion durable des ressources naturelles en milieu urbain. Chaque sous-trame, qu'elle soit composée de zones humides, de milieux ouverts, de landes, de forêts ou de cours d'eau (trame aquatique), joue un rôle essentiel dans le maintien de la continuité écologique et la résilience des territoires urbains. En facilitant les interactions entre ces différentes composantes, la trame verte et bleue permet non seulement de préserver les écosystèmes, mais aussi d'améliorer la qualité de vie des citadins en offrant des espaces de loisirs, en régulant les microclimats urbains, et en contribuant à la gestion des eaux pluviales.

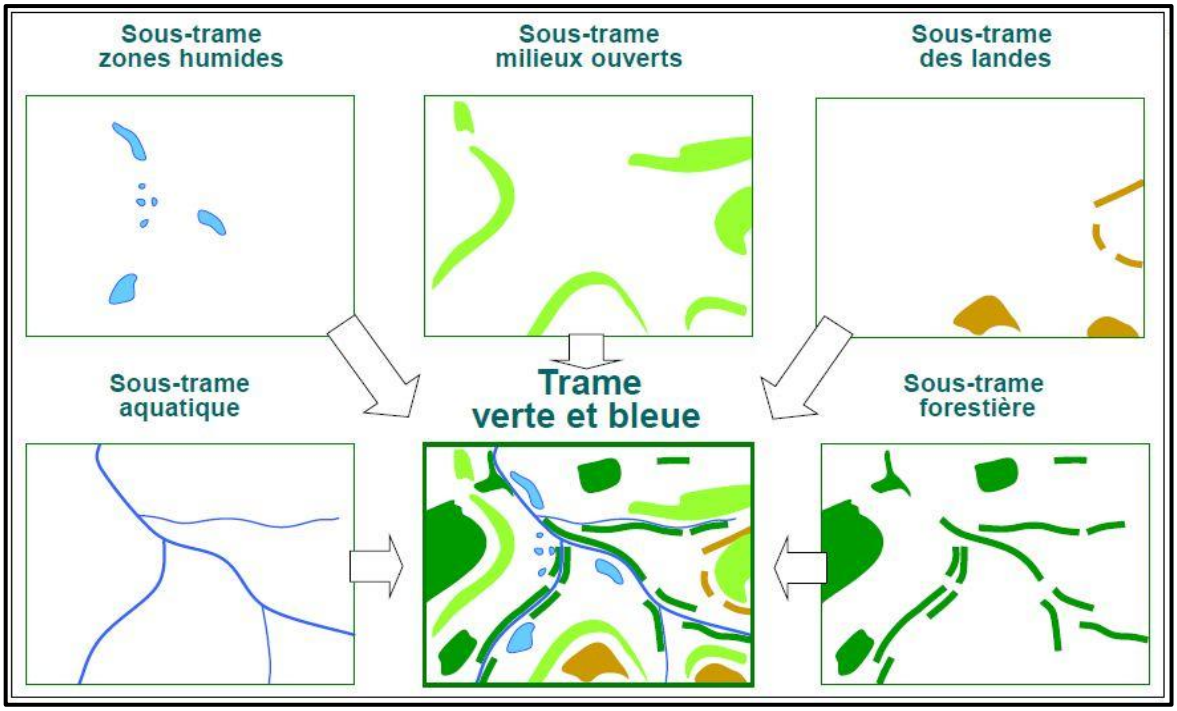



**Figure 5.** Les sous-trames constitutives de la Trame Verte et bleue. Source : http://www.charente-maritime.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-risques-naturels-et-technologiques/Milieux-Foret-et-Biodiversite/Trame-verte-et-bleue/TVB-un-outil-d-amenagement-du-territoire

Tzoulas et al. (2007) soulignent que les trames vertes jouent un rôle essentiel dans l'amélioration de la santé et du bien-être des citadins. Elles favorisent la réduction du stress, stimulent l'activité physique et renforcent la santé mentale en offrant des espaces propices à l'interaction avec la nature. Ainsi, ces infrastructures écologiques urbaines constituent des éléments fondamentaux pour garantir une qualité de vie optimale en milieu urbain. Dans cette perspective, Hartig et al. (2014) approfondissent l'analyse des relations entre l'accès aux espaces naturels en ville, notamment à travers les trames vertes, et divers déterminants de la santé humaine, mettant en lumière leurs effets bénéfiques tant sur le plan psychologique que physiologique. Pickett et al. (2013), ainsi que Rudd, Vala & Schaefer (2002), examinent le rôle stratégique des trames vertes dans le renforcement de la résilience urbaine face aux défis climatiques croissants. Leurs recherches démontrent que ces réseaux d'espaces verts permettent de limiter les effets des îlots de chaleur urbains, d'optimiser la gestion des eaux pluviales et de réduire l'érosion des sols. Ces mécanismes contribuent ainsi de manière significative à la durabilité environnementale des villes en offrant des solutions fondées sur la nature pour une adaptation efficace aux changements climatiques.

Wolch et al. (2014) ont mis en avant l'importance de la justice environnementale dans la planification des espaces verts urbains, soulignant le défi complexe de créer des espaces qui répondent à la fois aux besoins écologiques et sociaux des communautés urbaines diversifiées. Cette approche est essentielle pour assurer que les trames vertes contribuent non seulement à la conservation de la biodiversité mais également à l'amélioration de la qualité de vie des résidents

urbains, en particulier dans les quartiers les plus vulnérables. L'importance de la trame verte est également renforcée par les réflexions de Consalès, Goiffon, et Barthélémy (2012) qui, à travers une analyse des processus locaux à Marseille, mettent en lumière les tensions entre les objectifs de développement urbain et la conservation de la nature. Leur étude révèle comment la trame verte peut être utilisée comme un outil pour articuler des échelles territoriales variées, en transcendant les barrières institutionnelles et en favorisant une planification urbaine plus intégrée. Par ailleurs, l'idée de trame verte comme projet transversal est explorée par Toublanc & Bonin (2012), qui démontrent comment elle peut servir de cadre pour la réconciliation entre l'urbanisme et l'écologie dans les aires urbaines. Leur travail souligne la nécessité de développer des stratégies de gouvernance qui soutiennent la continuité écologique tout en répondant aux attentes sociales et paysagères des populations locales. Ces études montrent que la gouvernance des trames vertes requiert une approche collaborative et interdisciplinaire, où les décideurs doivent croiser entre les objectifs parfois contradictoires de développement économique, de conservation écologique, et de justice sociale pour promouvoir un aménagement du territoire équilibré et durable.

La notion de trame verte s'est développée dans un contexte de prise de conscience croissante des défis environnementaux associés à l'urbanisation et de la nécessité de promouvoir une intégration harmonieuse entre les espaces naturels et les zones bâties. Ce concept, initialement influencé par les théories de l'urbanisme et de l'écologie du paysage, est devenu central dans les stratégies de développement durable des villes contemporaines. Elle trouve ses racines au XXe siècle, avec l'émergence d'idées de planification urbaine cherchant à intégrer des éléments naturels dans les environnements urbains pour améliorer la qualité de vie des habitants.

L'intégration de la trame verte dans les politiques publiques a été renforcée par des initiatives internationales telles que la Convention sur la Diversité Biologique (CBD) et les Objectifs de Développement Durable (ODD) des Nations Unies, qui reconnaissent l'importance des espaces verts urbains pour la biodiversité et le bien-être humain[1] . L'Union européenne, à travers sa Stratégie de Biodiversité à l'horizon 2020, a également promu le concept de trame verte comme un outil essentiel pour la conservation de la biodiversité en milieu urbain [2]. Face à l'appauvrissement accéléré de la biodiversité, les pays de l'Union Européenne (UE) se sont engagés à intensifier leurs efforts pour restaurer les écosystèmes naturels et assurer la préservation des espèces et habitats menacés. Cette volonté s'est traduite par l'élaboration d'une Stratégie en faveur de la biodiversité à l'horizon 2030, visant à enrayer cette perte et à restaurer au moins 20 % des terres et écosystèmes dégradés d'ici 2030. Celle-ci constitue la pierre angulaire de la protection de la nature dans l'UE et un élément essentiel du pacte vert pour l'Europe[3]. La **Figure 6** illustre les étapes clés de cette stratégie, mettant en évidence l'évolution des engagements européens entre 2020 et 2024. Cette chronologie retrace les principales décisions politiques et réglementaires prises pour concrétiser ces ambitions, notamment l'adoption du cadre mondial pour la biodiversité de Kunming-Montréal lors de la COP15 en 2022, ainsi que l'approbation du règlement sur la restauration de la nature en 2024. Ces avancées soulignent l'engagement croissant de l'UE en

[1]CBD , INTÉGRATION DE LA BIODIVERSITÉ POUR LE BIEN-ÊTRE https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-13/booklets/cop-13-decisions-booklet-fr.pdf.
[2] https://environnement.public.lu/dam-assets/documents/natur/general/UE-strategie-biodiversite-2020_FR.pdf
[3] comment l'UE protège la nature – Consilium : https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/biodiversity/

faveur de la protection des écosystèmes et de la mise en œuvre de politiques de gestion durable, consolidant ainsi son rôle de leader dans la transition écologique et la résilience environnementale.

Plus récemment, la recherche et les politiques sur la trame verte ont mis l'accent sur son rôle dans l'atténuation des effets du changement climatique, la gestion des eaux pluviales, et la promotion de la santé publique. Ces réseaux d'espaces verts sont désormais reconnus comme des éléments essentiels pour la construction de villes résilientes et durables. La pandémie de COVID-19 a encore renforcé l'importance des espaces verts pour le bien-être mental et physique des citadins, accentuant l'intérêt mondial pour l'expansion et l'amélioration de la trame verte urbaine (Marques, Alvim, & Schröder, 2022). Mark A. Benedict et Edward T. McMahon (2012), dans leur ouvrage Green Infrastructure : Linking Landscapes and Communities, expliquent comment la planification et la conception de réseaux écologiques interconnectés peuvent servir les communautés urbaines et rurales, en offrant des solutions durables pour la conservation de la biodiversité, la gestion des ressources naturelles, et l'amélioration de la qualité de vie. Richard T.T. Forman, (2014) un pionnier dans le domaine de l'écologie du paysage, explique dans Urban Ecology : Science of Cities comment les concepts écologiques peuvent être appliqués à la planification et à la gestion des villes. Il y discute de la trame verte comme une composante essentielle de l'écologie urbaine, soulignant son importance pour connecter les espaces verts et aquatiques, favoriser la biodiversité, et répondre aux défis environnementaux urbains. Les contributions théoriques et pratiques sur la trame verte sont également largement discutées dans des revues spécialisées telles que Landscape and Urban Planning, où divers auteurs publient régulièrement des articles de recherche sur l'application de la trame verte dans la planification urbaine, offrant des études de cas, des analyses théoriques, et des perspectives sur l'intégration de la nature dans les environnements urbains.

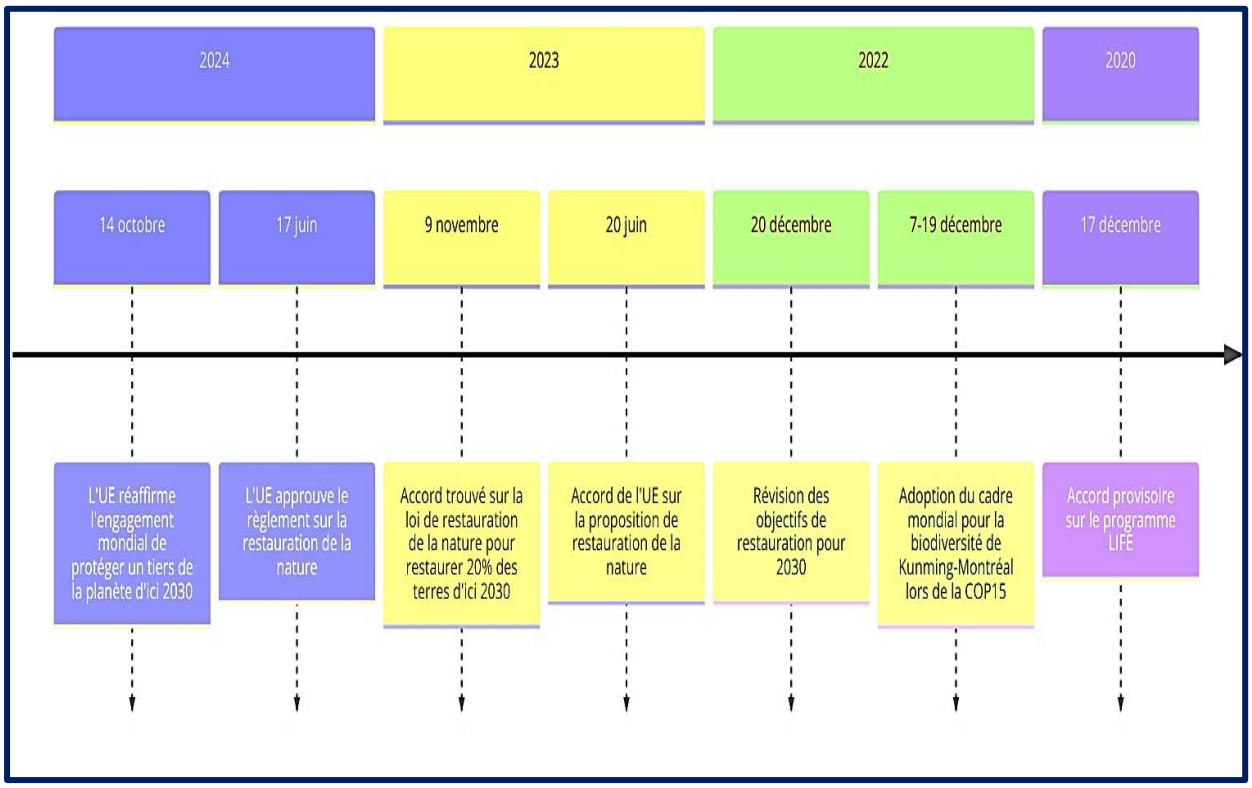



**Figure 6.** Chronologie de la Stratégie de l'UE en faveur de la biodiversité à l'horizon 2030.Conception auteure

L'intégration de la nature dans la planification urbaine a évolué au fil des décennies, avec des contributions théoriques et pratiques qui ont marqué cette discipline. L'ouvrage collectif édité par Laurie, (1979) ; Nature in Cities : The Natural Environnement in the Design and Development of Urban Green Space, bien que plus ancien, reste une référence importante pour comprendre les débuts de l'intégration de la nature dans les villes. Laurie offre un aperçu historique de la manière dont les espaces verts urbains ont été conçus et développés, en rassemblant des perspectives variées sur les défis et les opportunités que représente l'aménagement de la nature dans les environnements urbains. Ce travail est fondamental pour comprendre les origines de la notion de trame verte, qui est aujourd'hui un élément clé de la planification urbaine durable. Toutefois, la planification des espaces verts urbains a connu une évolution significative depuis les années 1970, en réponse aux défis croissants ; tels que la densification urbaine, le changement climatique et la perte de biodiversité. Haaland et van den Bosch (2015) apportent une perspective moderne sur ces enjeux en explorant les stratégies et les obstacles liés à la création d'espaces verts dans des villes en expansion. Leur étude met en évidence le rôle des infrastructures vertes, non seulement dans la préservation de la biodiversité, mais également pour la fourniture de services écosystémiques essentiels, tels que la régulation climatique, la gestion des eaux pluviales et l'amélioration de la qualité de vie urbaine. Cette approche enrichit les premières idées développées par Laurie, tout en proposant une compréhension actualisée du rôle stratégique des espaces verts dans la durabilité urbaine.

En parallèle, le concept de ceinture verte, étroitement lié à celui de la trame verte, revêt une importance capitale pour la conservation de la biodiversité et la durabilité des villes. Ces ceintures vertes jouent un double rôle : elles servent de zones tampons et de corridors écologiques, permettant aux espèces de se déplacer tout en freinant l'expansion urbaine. Ce rôle est particulièrement significatif dans les régions métropolitaines à forte densité, où ces espaces protègent les écosystèmes et offrent des zones de loisirs aux habitants. En outre, les ceintures vertes aident à réduire les îlots de chaleur urbains et à améliorer la qualité de l'air, ce qui est indispensable pour une planification urbaine durable (Tzoulas et al., 2007 ; Liu & Russo, 2021).

### 1.2.1. La trame verte une notion héritée du paysagisme

La trame verte, aujourd'hui considérée comme un concept fondamental en urbanisme et en écologie urbaine, trouve ses origines dans le paysagisme, une discipline qui, depuis plusieurs siècles, façonne l'aménagement et la conception des espaces extérieurs en intégrant des éléments naturels au sein des milieux bâtis. En mettant en avant une approche esthétique et fonctionnelle, le paysagisme a posé les bases de l'intégration des continuités végétales dans les espaces urbains, préparant ainsi l'émergence des principes de connectivité écologique et de structuration verte qui caractérisent la trame verte contemporaine.

Parmi les figures emblématiques ayant influencé cette évolution, Frederick Law Olmsted est souvent cité comme un précurseur. Ses conceptions de Central Park à New York et du système des "Emerald Necklaces" à Boston ont jeté les bases de la trame verte en démontrant l'importance des corridors végétalisés pour le bien-être urbain et la connexion entre différents espaces verts (Eisenman, 2013). Cette vision a été prolongée et enrichie par les travaux de Forman et Godron (1986) sur l'écologie du paysage, qui ont permis de formaliser le rôle des réseaux écologiques dans la structuration des territoires urbains. En proposant une grille de lecture spatiale basée sur les notions de corridors écologiques, de fragmentation du paysage et de connectivité, ces auteurs ont fourni un cadre scientifique essentiel pour comprendre les interactions entre trame verte, biodiversité et continuité écologique.

Les origines de la trame verte s'inscrivent également dans l'héritage de paysagistes européens tels qu'André Le Nôtre, dont les conceptions de parcs et jardins ont cherché à allier esthétique, structuration du paysage et bien-être des habitants. Toutefois, c'est véritablement au XXe siècle que l'impact du paysagisme sur l'urbanisme s'est transformé en une approche systémique de la planification écologique. Ian McHarg (1969), dans son ouvrage fondateur *Design with Nature*, a été l'un des premiers à promouvoir l'intégration des caractéristiques écologiques dans la planification urbaine. À travers l'usage de cartographies écologiques, il a proposé d'identifier les zones les plus adaptées à la conservation, à l'agriculture ou au développement urbain, anticipant ainsi les fondements scientifiques qui sous-tendent aujourd'hui la mise en œuvre des trames vertes (Yang, & Li ,2016).

À l'heure actuelle, la trame verte est un pilier des stratégies de développement urbain durable, traduisant l'héritage du paysagisme dans une logique plus intégrée et fonctionnelle. Son rôle dépasse l'embellissement des espaces publics : elle répond à des enjeux écologiques majeurs, notamment la réduction des îlots de chaleur urbains, la gestion durable des eaux pluviales et la conservation de la biodiversité. Les planificateurs urbains et paysagistes collaborent désormais

pour concevoir des trames vertes optimisant les interactions entre espaces bâtis et continuités végétales, assurant ainsi une transition vers des villes résilientes et adaptées aux défis environnementaux contemporains.

L'évolution de la notion de trame verte, enracinée dans le paysagisme classique, illustre ainsi l'importance d'une vision globale dans la conception des espaces urbains. En s'appuyant sur cet héritage, les villes modernes peuvent continuer à innover et à développer des stratégies de planification intégrées, alliant esthétique, fonctionnalité et adaptation au changement climatique pour garantir une meilleure qualité de vie aux populations urbaines.

### 1.2.2. La trame verte un réseau écologique

La trame verte, en tant que réseau écologique, constitue un élément structurant du paysage urbain, assurant la continuité des habitats naturels et la préservation des fonctions écosystémiques au sein des territoires urbanisés. Elle repose sur l'interconnexion des espaces végétalisés, formant un maillage cohérent qui favorise la circulation des espèces, limite la fragmentation écologique et contribue à la régulation des processus environnementaux.

Cette continuité écologique joue un rôle fondamental dans la résilience urbaine, notamment face aux perturbations climatiques et anthropiques. Selon Meerow et Newell (2019), dans leur ouvrage "Urban Résilience for a Future", un réseau écologique fonctionnel permet de maintenir les services écosystémiques essentiels, facilitant l'adaptation des villes aux changements climatiques et réduisant leur vulnérabilité aux événements extrêmes. Par ailleurs, cette connectivité permet de maintenir des fonctions écosystémiques essentielles, même en période de crise, facilitant ainsi la récupération et la stabilisation des environnements urbains après des événements disruptifs.

Les avancées technologiques en Systèmes d'Information Géographique (SIG) et en modélisation écologique permettent aujourd'hui une conception optimisée des trames vertes en identifiant les corridors les plus stratégiques pour maximiser la connectivité et minimiser la fragmentation des habitats. Ahern (2013) souligne que l'intégration de ces outils dans la planification urbaine permet d'adapter les réseaux écologiques aux dynamiques spatiales et aux pressions exercées par l'urbanisation, garantissant ainsi une meilleure gestion des infrastructures vertes.

La trame verte ne se limite donc pas à une addition d'espaces végétalisés : elle constitue un réseau écologique structurant, dont la planification et la gestion influencent directement la biodiversité, la stabilité des écosystèmes et la résilience des villes face aux défis contemporains. Son intégration réfléchie dans les villes représente un levier stratégique pour concilier développement durable et préservation de la nature, assurant ainsi la pérennité des services écologiques au sein des territoires urbanisés.

### 1.2.3. La trame verte dans le gradient d'urbanisation

L'analyse de la relation entre les différents niveaux d'urbanisation et la trame verte est essentielle pour comprendre les interactions dynamiques entre la densité urbaine, l'aménagement du territoire et la préservation des espaces verts. Cette relation, illustrée dans la **Figure 7**, met en évidence les variations spatiales de l'urbanisation, allant du centre-ville aux espaces périurbains, et souligne leur impact sur la connectivité écologique. En effet, cette structuration influence directement la protection de la biodiversité en milieu urbain, améliore significativement la qualité de vie des résidents et renforce la résilience écologique des zones urbanisées. Une compréhension approfondie de la manière dont la configuration urbaine soutient ou entrave le développement de la trame verte permet aux urbanistes et aux décideurs de concevoir des stratégies plus efficaces pour intégrer harmonieusement les espaces verts dans le tissu urbain. Ce faisant, ils favorisent une interaction bénéfique entre l'homme et son environnement.

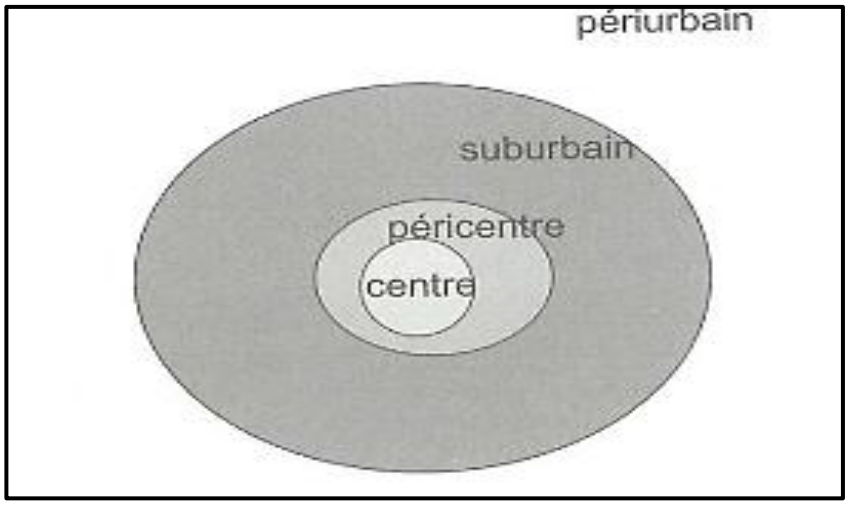



**Figure 7.** Gradient d'urbanisation. Source : Bouge, F. (2009).

L'urbanisation exerce une pression considérable sur la biodiversité et les écosystèmes, notamment par la fragmentation et l'altération des habitats naturels. Cette dynamique est particulièrement visible à travers la répartition spatiale des espaces boisés selon le gradient d'urbanisation (**Figure 8** ), où l'extension des zones urbaines et périurbaines tend à isoler les habitats naturels et à réduire leur connectivité écologique. Pour atténuer ces effets, la mise en place de trames vertes permet d'assurer une continuité entre ces espaces, favorisant ainsi la préservation des écosystèmes, même en milieu fortement urbanisé.

Selon McKinney (2002), bien que l'urbanisation entraîne généralement une diminution de la biodiversité, une planification efficace des corridors écologiques peut contribuer à inverser cette tendance. En maintenant des espaces verts fonctionnels et interconnectés, ces trames soutiennent la faune et la flore locales tout en jouant un rôle clé pour les espèces migratrices, renforçant ainsi la résilience écologique des territoires urbanisés. À titre d'exemple, Paris applique ces principes à travers l'initiative "Biophilic Cities", qui vise à réintégrer la nature dans l'espace urbain. Parmi les actions mises en place, on retrouve la végétalisation des toitures et des façades, ainsi que l'objectif ambitieux de créer 100 hectares de nouveaux espaces verts en 2020.

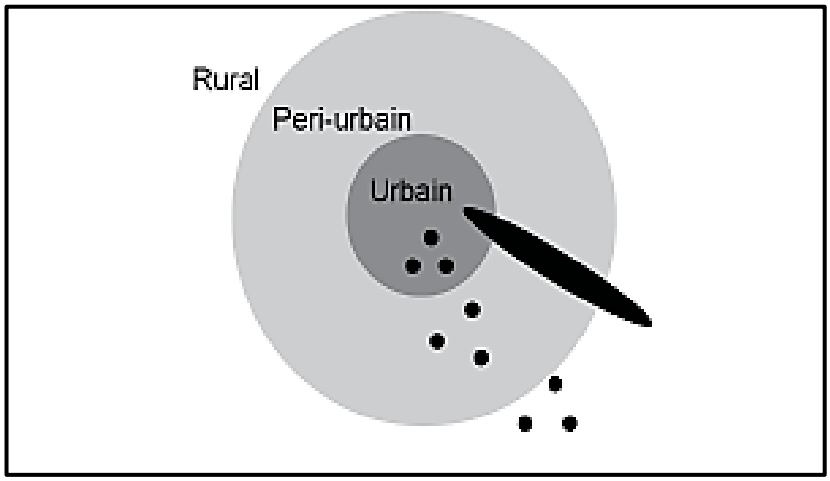



**Figure 8.** Répartition des espaces boisés (en noir) selon le gradient urbain.
Source : Bouge, F. (2009).

La structuration de la trame verte et bleue suit une organisation progressive en fonction du gradient d'urbanisation, allant des milieux densément bâtis aux espaces naturels périphériques. En milieu fortement urbanisé, la trame verte se manifeste par des espaces relais discontinus, tels que les jardins et parcs, qui assurent une transition entre les infrastructures artificielles et les continuités écologiques. Plus on s'éloigne du centre urbain, plus la trame verte devient structurée, intégrant des corridors continus de végétation linéaire, qui facilitent la connectivité entre les réservoirs de biodiversité, notamment les forêts situées en périphérie.

En parallèle, la trame bleue repose sur un réseau de corridors aquatiques qui évoluent selon le contexte urbain. En milieu urbanisé, ces corridors sont souvent fragmentés sous forme de ru semi-busés ou de mares isolées, limitant la circulation des espèces aquatiques. Dans les zones moins anthropisées, les corridors fluviaux multi trames, intégrant fleuves et berges, assurent une connexion hydrologique essentielle entre les milieux aquatiques et terrestres, favorisant ainsi la résilience des écosystèmes. Cette répartition différenciée des trames vertes et bleues selon l'intensité de l'urbanisation met en évidence l'importance de préserver et renforcer la connectivité écologique dans la planification urbaine, afin de garantir la continuité des services écosystémiques et la conservation de la biodiversité (**Figure 9)**

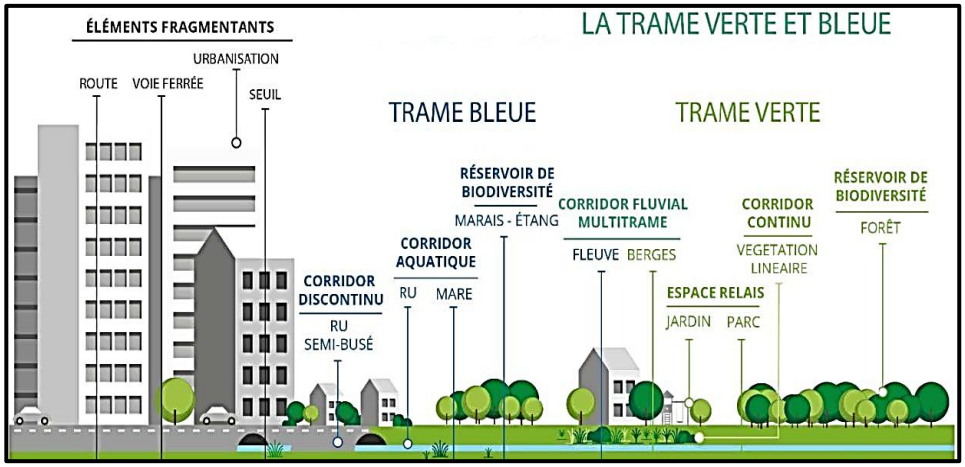



**Figure 9.** Exemple de trame verte et bleue .Source :https://www.seine-centrale-urbaine.org/actions/trame-verte-et-bleue/
Illustrant la connectivité écologique et éléments fragmentant en milieu urbain.

Dans les centres-villes densément peuplés, la structuration des trames vertes repose sur des approches innovantes visant à intégrer la nature au sein d'un environnement fortement urbanisé. Face aux contraintes d'espace limité, des solutions telles que les toits végétalisés, les jardins verticaux et les parcs de poche (pocket parks) permettent de recréer des continuités écologiques à l'échelle locale, améliorant ainsi la qualité de vie tout en renforçant la résilience environnementale des villes. Cette dynamique est particulièrement illustrée par les concepts d'architecture biophilique, où la nature devient un élément structurant des espaces bâtis, comme présenté dans la **Figure 10**, qui met en évidence l'intégration des solutions écologiques au sein des infrastructures urbaines. Dans son ouvrage Biophilic Cities : Integrating Nature into Urban Design and Planning, Timothy Beatley (2011) explore la notion de villes biophiliques, où la planification urbaine intègre profondément la nature pour répondre aux défis de la durabilité. Selon lui, les efforts conventionnels de verdissement urbain se concentrent souvent sur des aspects techniques comme l'efficacité énergétique et les infrastructures de transport, sans toujours accorder une place centrale à la nature elle-même. Il soutient que les êtres humains ont un besoin inné de se connecter au monde naturel (l'hypothèse de la biophilie) et que toute vision d'un avenir urbain durable doit placer la nature au cœur de ses préoccupations.

Une ville biophilique ne se limite pas à être riche en biodiversité, mais elle s'inspire du fonctionnement des écosystèmes naturels, intègre des formes organiques dans l'architecture et restaure les éléments naturels dégradés, assurant ainsi une symbiose entre le cadre bâti et les écosystèmes environnants. Cette approche contribue à renforcer la trame verte urbaine en multipliant les espaces végétalisés accessibles et en favorisant les interactions entre les habitants et leur environnement naturel. La biophilie, en mettant en avant la connexion essentielle entre l'homme et la nature, joue un rôle clé dans la conception et le développement des trames vertes et bleues, offrant à la fois des bénéfices écologiques et sociaux.

**Figure. 10.** Conceptions de bâtiments urbains intégrant des solutions biophiliques. Source :https://www.europe1.fr/

Favoriser la biodiversité et améliorer la qualité de vie en ville.

À travers des exemples concrets de villes du monde entier, il illustre comment des stratégies biophiliques peuvent être appliquées à différentes échelles, du bâtiment à l'ensemble du territoire urbain, transformant ainsi des espaces gris et minéralisés en écosystèmes urbains vivants et durables. L'architecture biophilique, en intégrant la végétation directement dans les structures urbaines, représente donc une réponse concrète aux enjeux de fragmentation écologique et d'adaptation aux changements climatiques, comme l'illustre la **Figure 11**, qui met en évidence la transformation des infrastructures urbaines en écosystèmes résilients et connectés à la nature.

**Figure.11.** Modèle d'architecture biophilique. Source :https://www.europe1.fr/

Illustrant l'intégration de la végétation dans les structures urbaines.

Dans les zones périurbaines, où l'urbanisation est plus clairsemée, la trame verte se manifeste souvent sous la forme de vastes espaces naturels et de corridors écologiques élargis. Ces zones périphériques sont essentielles pour la conservation de la biodiversité régionale et pour la fourniture de services écosystémiques vitaux, comme la régulation climatique et la purification de l'air et de l'eau. Liu et Russo (2021) mettent en avant l'importance de ces espaces dans la création d'un réseau écologique robuste et intégré, reliant harmonieusement les zones urbaines densément peuplées aux zones moins urbanisées. Cette intégration ne favorise pas seulement la mobilité des espèces entre différents habitats, mais renforce également la capacité des écosystèmes périurbains à maintenir une biodiversité dynamique et à répondre aux défis écologiques contemporains.

Planifier efficacement la trame verte à travers le gradient d'urbanisation implique de surmonter des défis complexes nécessitant une coordination entre multiples niveaux de gouvernance et divers acteurs du développement urbain. Parmi ces acteurs figurent les urbanistes, écologistes et décideurs, dont la coopération est essentielle pour assurer une planification cohérente et adaptée aux spécificités territoriales. Opdam et al. (2006), dans leur étude Ecological Networks : A Spatial Concept for Multi-Actor Planning of Sustainable Landscapes, soulignent l'importance d'une approche collaborative intégrant les différentes dynamiques spatiales afin de garantir une continuité fonctionnelle des trames vertes, depuis les centres urbains densément bâtis jusqu'aux zones périurbaines et rurales.

L'opérationnalisation de cette planification repose sur une approche intégrée, conciliant les enjeux écologiques et urbains dans un contexte où les conflits d'usage des sols et la fragmentation des habitats constituent des obstacles majeurs. L'expansion urbaine, souvent guidée par des impératifs économiques à court terme, tend à marginaliser les considérations écologiques dans l'aménagement du territoire. Dès lors, une gouvernance inclusive, impliquant activement les acteurs locaux et les communautés, devient indispensable pour que les trames vertes ne se limitent pas à une simple réponse environnementale, mais répondent également aux besoins sociaux et culturels des populations concernées.

L'intégration des trames vertes dans le tissu urbain ne saurait ainsi être réduite à une approche technique et environnementale, mais doit s'inscrire dans une vision systémique, prenant en compte les interactions entre les sphères écologique, sociale et économique. Une démarche participative favorise non seulement l'adhésion des habitants, mais renforce également la résilience socio-écologique des territoires, garantissant la pérennité des stratégies d'aménagement.

### 1.2.4.La trame verte un effet grenelle

L'adoption des trames verte et bleue (TVB) en France, issue des accords du Grenelle de l'environnement de 2007, marque une avancée décisive dans la politique nationale de protection de la biodiversité et de gestion durable des territoires. En intégrant la notion de corridors écologiques au cadre législatif, cette initiative vise à restaurer et maintenir la connectivité des écosystèmes, garantissant ainsi la mobilité des espèces, leur adaptation aux transformations environnementales et la préservation des services écosystémiques essentiels (Labat & Aggeri, 2013 ; Giudice, Novarina & Voghera, 2021). La mise en œuvre de cette stratégie s'est concrétisée à travers les lois Grenelle I (2009) et Grenelle II (2010), qui ont institutionnalisé la TVB comme un outil stratégique de planification écologique en réponse aux pressions exercées par l'urbanisation

et les activités humaines (Buller, 2012). En rétablissant les continuités écologiques et en réduisant la fragmentation des habitats, ces lois renforcent la résilience des écosystèmes tout en conciliant préservation de la biodiversité et aménagement du territoire.

Les fondements scientifiques de la TVB reposent sur des théories écologiques majeures, notamment la biogéographie insulaire de MacArthur et Wilson (1967) et le concept de métapopulation de Haydon & Pianka (1999). La première met en évidence l'impact de la taille et de l'isolement des habitats sur la diversité biologique, illustrant le risque accru d'extinction des espèces dans des milieux fragmentés. La seconde démontre l'importance des échanges entre sous-populations isolées pour assurer la survie et la recolonisation des milieux dégradés. En appliquant ces principes à l'aménagement du territoire, la TVB vise à atténuer les effets délétères de la fragmentation écologique en structurant un réseau écologique interconnecté, combinant des réservoirs de biodiversité, des corridors écologiques terrestres et aquatiques ainsi que des espaces relais facilitant les échanges biologiques. L'objectif est de garantir une continuité écologique fonctionnelle permettant aux espèces de se déplacer librement, de se reproduire et de s'adapter aux changements environnementaux, en particulier dans des paysages soumis à une pression anthropique croissante.

L'intégration de la TVB dans les politiques d'aménagement rencontre cependant plusieurs défis, notamment en matière de coordination entre les différents niveaux de gouvernance et d'adaptation aux spécificités locales. Les travaux de Bergerot et al. (2011) ont mis en évidence l'impact des caractéristiques paysagères sur la structuration des communautés d'espèces, révélant que l'efficacité des trames écologiques repose sur une prise en compte fine des dynamiques locales. Ces recherches soulignent la nécessité d'une planification souple et adaptative, tenant compte des particularités écologiques et socio-économiques de chaque territoire. La Commission européenne a renforcé cette approche en promouvant le concept d'infrastructure verte, intégrant la TVB dans une stratégie plus large visant à préserver, restaurer et renforcer les éléments naturels et semi-naturels au sein des environnements urbanisés. Cette reconnaissance institutionnelle met en avant la valeur fonctionnelle des écosystèmes et la nécessité d'assurer la continuité des services écosystémiques, afin de répondre efficacement aux enjeux de la perte de biodiversité et des changements climatiques. La promotion du concept d'infrastructure verte par la Commission européenne et son intégration à la suite du Grenelle de l'environnement mettent en avant la nécessité de reconnaître les éléments naturels et semi-naturels comme des composantes fondamentales des écosystèmes urbains, en réaffirmant leur valeur intrinsèque et fonctionnelle. En ce sens, l'Union européenne a défini une stratégie d'infrastructure verte visant à préserver, restaurer et renforcer ces éléments afin d'endiguer la perte de biodiversité et d'assurer la continuité des services écosystémiques[4].

L'effet Grenelle, matérialisé par la mise en place des trames verte et bleue, symbolise un changement paradigmatique dans la gouvernance environnementale française. Il marque une transition vers une approche intégrée, où la conservation de la biodiversité et l'aménagement du territoire ne sont plus perçus comme des enjeux distincts mais comme des dimensions complémentaires d'un développement durable équilibré. En consolidant les liens entre planification écologique et politiques territoriales, cette initiative illustre l'engagement de la France

[4] Climate-ADAPT. (2013). Stratégie de l'UE en matière d'infrastructure verte. Publications and Reports. Consulté sur https://climate-adapt.eea.europa.eu/fr/metadata/publications/eu-green-infrastructure-strategy

en faveur de solutions fondées sur la nature et appuyées par des bases scientifiques solides. La réussite de cette démarche repose sur une coopération étroite entre acteurs institutionnels, scientifiques et citoyens, démontrant ainsi l'importance d'une vision partagée pour construire des territoires résilients. Dans cette perspective, la TVB dépasse son rôle de simple outil de conservation pour devenir un levier stratégique en faveur d'une gestion intégrée des milieux naturels et urbains, garantissant la connectivité écologique, la biodiversité et le bien-être des populations.

## 1.3. Les fonctions et les bienfaits d'une trame verte

La trame verte constitue un élément essentiel du développement durable des villes et des territoires. En tant que réseau écologique intégré au tissu urbain et périurbain, elle assure de multiples fonctions interdépendantes, allant de la préservation de la biodiversité à l'amélioration du cadre de vie des habitants. D'une part, la trame verte favorise la connectivité écologique, permettant la circulation des espèces et la préservation des écosystèmes face à la fragmentation des habitats naturels. Elle joue également un rôle fondamental dans la régulation climatique urbaine, en atténuant les effets des îlots de chaleur grâce à la végétation et en améliorant la qualité de l'air. D'autre part, elle contribue significativement au bien-être des populations, en offrant des espaces de loisirs, de détente et de contact avec la nature. Ces espaces verts participent à la réduction du stress, à l'amélioration de la santé publique et à la promotion d'une mobilité douce plus respectueuse de l'environnement. Sur le plan socio-économique, une trame verte bien planifiée renforce l'attractivité des villes, dynamise l'immobilier et encourage un urbanisme plus durable, réduisant ainsi les coûts liés aux infrastructures grises (gestion des eaux pluviales, lutte contre les pollutions, adaptation au changement climatique). Ainsi, la trame verte n'est pas simplement un aménagement paysager, mais une stratégie globale pour renforcer la résilience écologique, sociale et économique des territoires (**Figure.12**)

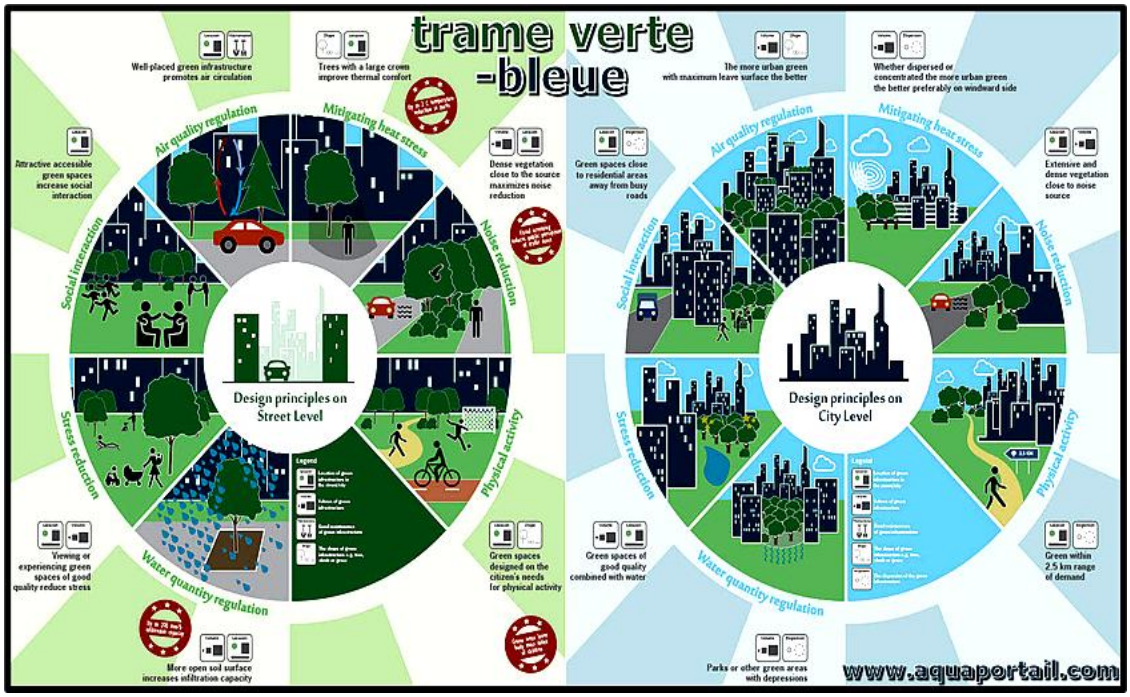



**Figure .12.** Schéma des avantages d'une trame verte et bleue. Source : https://www.aquaportail.com/

### 1.3.1. La TVB : Valorisation Paysagère, Esthétique Urbaine et Identité Locale

La trame verte, issue des engagements du Grenelle de l'environnement, constitue un levier stratégique de valorisation paysagère et d'embellissement urbain, en intégrant des infrastructures végétales au sein des espaces bâtis (Figures 13 et 14). Bien plus qu'un simple outil écologique, elle transforme le paysage urbain en améliorant la qualité environnementale, en renforçant l'attractivité des villes et en créant des espaces de vie agréables pour les citadins. En favorisant l'aménagement de parcs, jardins, corridors écologiques et toitures végétalisées, elle diversifie les panoramas urbains, réduit les nuisances environnementales telles que la pollution de l'air et l'effet d'îlot de chaleur, et contribue à la préservation de la biodiversité en ville.

L'esthétique urbaine, indissociable de cette dynamique, constitue un élément clé de l'acceptation sociale et de la valorisation des espaces verts. Comme le souligne Nassauer (1995) dans son article Culture and Changing Landscape Structure, la perception et l'appropriation des paysages par les habitants dépendent fortement de leur apparence et de leur intégration harmonieuse dans le tissu urbain. En créant des espaces végétalisés attractifs et accessibles, la trame verte renforce le lien entre l'homme et la nature, tout en stimulant une identité urbaine renouvelée et en favorisant des pratiques d'aménagement respectueuses de l'environnement.

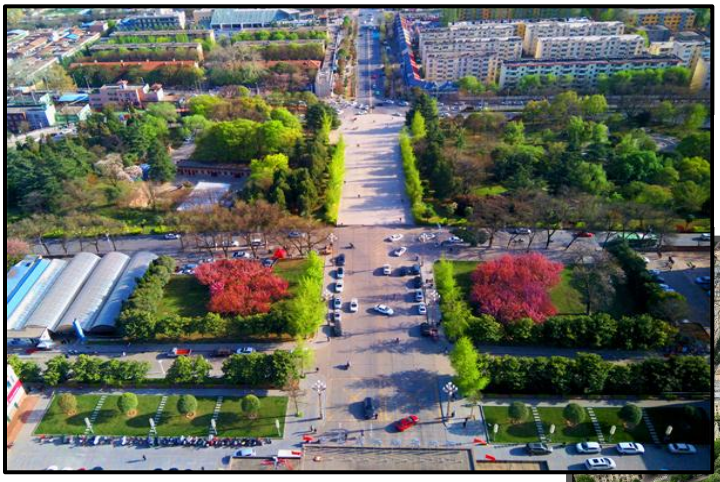
**Figure 13.** Embelissement d'un espace vert
Source :MARIELLE, 2018:
https://www.envibio.fr/comment-creer-un-espace-vert/

**Figure.14**. L'amenagement paysager d'un espace vert
https://www.nidouillet.com/quelques-conseils-amenager-jardin-a-strasbourg/

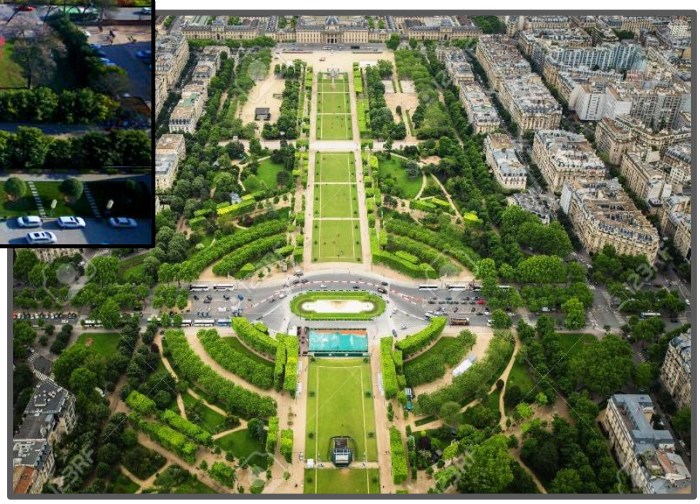
Au-delà de son impact écologique et social, la trame verte joue également un rôle économique et touristique en augmentant la valeur foncière des quartiers où elle est mise en œuvre et en attirant des visiteurs séduits par un cadre urbain plus agréable. En participant à la revalorisation des espaces urbains et périurbains, elle incarne pleinement l'effet Grenelle, en traduisant les engagements écologiques en actions concrètes d'aménagement, qui allient esthétique, durabilité et bien-être collectif.

Les trames vertes peuvent jouer aussi un rôle clé dans le renforcement de l'identité et du caractère d'une ville ou d'un quartier en préservant et en mettant en valeur des éléments paysagers locaux distinctifs. Lynch (1976), dans son ouvrage ***"The Image of the City"***, explore comment les éléments paysagers urbains contribuent à forger l'identité visuelle d'une ville et influencent la manière dont ses résidents et visiteurs la perçoivent et la parcourent.

En intégrant des espaces naturels caractéristiques de la région, la trame verte peut renforcer le sentiment d'appartenance et l'identité locale. La préservation des caractéristiques paysagères uniques, tels que les cours d'eau, les collines, les boisements ou les parcs historiques, contribue à protéger le patrimoine naturel et culturel d'une région (**Figure 15**), renforçant ainsi le lien émotionnel des habitants avec leur environnement. Cette valorisation du paysage local favorise également le tourisme culturel et écologique, tout en offrant aux résidents des espaces de rencontre et de découverte propices à l'épanouissement communautaire



1.Vue aérienne de Paris depuis la tour



2.Surplombant le parc « Wutai Mountain » à la porte Sud .

**Figure 15.** La trame verte pour l'embellissement des paysages urbains.
Source 1 : https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTfjt8wB8WmHMmfylkmRIh_zKDzVn41HhexQKWQ1Mq6zSU2yaFkQCsHOm6PAG02vVIUDnk
Source 2: https://news.nwafu.edu.cn/xstdx/20c36513730e4dd189f0d62b205a41a8.htm

### 1.3.2. TVB pour la promotion du Bien-être et de la Santé

La trame verte est nécessaire pour améliorer le bien-être et la santé des citadins. La recherche d'Ulrich, (1984) a été pionnière dans la compréhension de l'impact des environnements naturels sur la santé humaine, démontrant que les patients chirurgicaux qui avaient une vue sur la nature depuis leur fenêtre se rétablissaient plus rapidement que ceux dont la vue donnait sur un mur de brique. Ce constat souligne combien l'accès visuel et physique à des espaces verts peut être bénéfique. Les trames vertes, qui intègrent des corridors de végétation et des espaces verts connectés dans les tissus urbains, ne fournissent pas seulement un soulagement esthétique, mais sont aussi essentiels pour offrir des occasions de relaxation et de réduction du stress. En outre, ces espaces encouragent l'activité physique, comme la marche ou le vélo, qui sont vitaux pour la santé physique. La promotion de tels environnements peut donc jouer un rôle clé dans la stratégie urbaine pour améliorer la qualité de vie des résidents. Une conception urbaine intégrant la nature et la connectivité des espaces verts peut transformer l'expérience urbaine, rendant les villes non seulement plus belles, mais aussi plus saines.

### 1.3.3. TVB : Support à la Biodiversité, à la Connectivité Écologique et à la Résilience Urbaine

La trame verte constitue un levier fondamental pour la préservation et le soutien de la biodiversité, en maintenant les continuités écologiques et en facilitant la mobilité des espèces au sein de paysages de plus en plus fragmentés par l'urbanisation. En intégrant des corridors écologiques, elle assure la connectivité entre les habitats naturels et favorise les échanges biologiques indispensables à la survie et à l'adaptation des populations animales et végétales. Forman (1995) souligne l'importance d'une planification paysagère intégrée, garantissant la diversité biologique en milieu urbain et limitant l'isolement des espèces.

Dans cette perspective, la création et la restauration d'habitats dégradés permettent de renforcer la résilience écologique des territoires. En rétablissant des zones refuges et en améliorant la connectivité écologique, la trame verte compense les effets négatifs de l'urbanisation et offre des conditions favorables à la recolonisation des milieux naturels. Jumeau (2017) démontre, par son analyse des réseaux écologiques en milieu anthropisé, que ces infrastructures vertes atténuent les impacts des infrastructures de transport sur les habitats naturels, tout en favorisant la dispersion des espèces.

Les corridors écologiques sont des éléments structurants de la trame verte, assurant une connectivité fonctionnelle entre les réservoirs de biodiversité (**Figure 16**). Leur rôle est essentiel dans le maintien des cycles biologiques des espèces, en facilitant les déplacements nécessaires à leur survie. Une méta-analyse de Gilbert-Norton et al. (2010) démontre que ces corridors augmentent significativement la probabilité de déplacement des organismes, réduisant ainsi les risques d'extinction locale. En reliant les habitats fragmentés, ils permettent aux espèces d'accéder à des ressources alimentaires, de trouver des zones de reproduction et d'éviter les menaces liées à l'isolement écologique. Cette continuité écologique ne se limite pas aux espaces strictement naturels ; elle doit être intégrée dans les stratégies d'aménagement du territoire. En adaptant le développement urbain à ces nécessités écologiques, les corridors écologiques deviennent des solutions viables pour atténuer les effets négatifs de l'urbanisation sur la biodiversité.

Au-delà de leur rôle en matière de biodiversité, les trames vertes sont essentielles pour le maintien des services écosystémiques, qui sont indispensables à la résilience des territoires urbains et périurbains. Elles participent activement à la régulation climatique, notamment en limitant l'effet des îlots de chaleur urbains grâce à l'évapotranspiration et l'ombrage des arbres. Elles contribuent également à la gestion des eaux pluviales, en favorisant l'infiltration et en réduisant le ruissellement, ce qui limite les risques d'inondation et d'érosion des sols.

Selon le Millennium Ecosystem Assessment (2005), la diversité des écosystèmes est un facteur déterminant pour la pérennité des services écologiques. En préservant la biodiversité, la trame verte stabilise les cycles de pollinisation et améliore la qualité de l'air et de l'eau par la filtration des polluants atmosphériques et hydriques. Ainsi, son intégration dans l'aménagement urbain ne relève pas seulement d'une démarche esthétique, mais constitue une nécessité stratégique pour renforcer la capacité d'adaptation des villes face aux défis environnementaux contemporains.

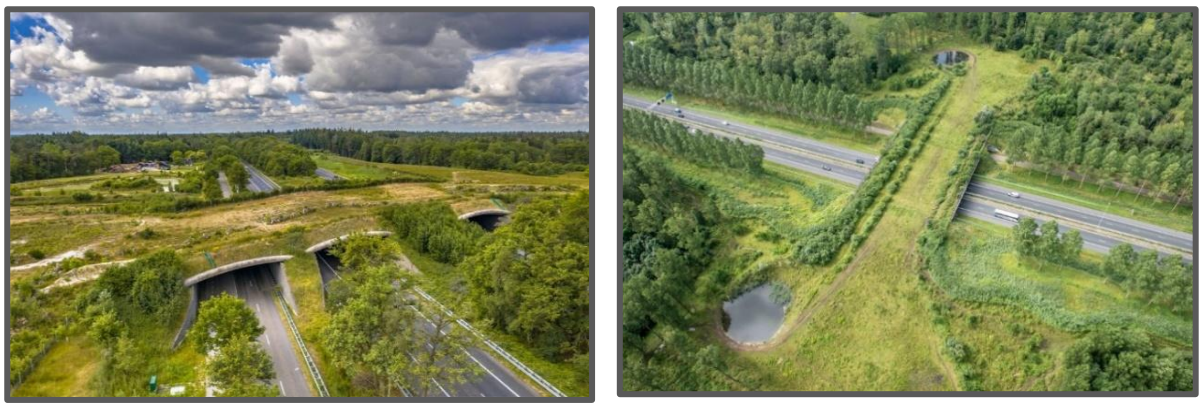


**Figure.16.**Corridors Écologiques et Connectivité .
Source :https://theconversation.com/des-millions-danimaux-se-font-tuer-sur-les-routes-voici-comment-stopper-lhecatombe-149617/ https://www.deeijkgroep.nl/over-ons/

L'intégration des trames vertes dans les espaces urbains ne se limite pas à leur implantation physique ; elle représente également une opportunité d'éducation et de sensibilisation environnementale. En offrant un contact direct avec la nature, elles participent à une réappropriation écologique des espaces urbains par les habitants. Dearborn et Kark (2010) soulignent que ces infrastructures vertes constituent un outil puissant d'éducation environnementale, en créant des espaces où les citadins peuvent s'engager dans des initiatives de préservation, telles que la gestion des espaces naturels urbains, la plantation d'arbres et le suivi des espèces locales. Ces actions renforcent non seulement la responsabilité environnementale collective, mais favorisent également une cohésion sociale accrue, en rassemblant les citoyens autour d'un projet commun de valorisation du patrimoine naturel. La prise en compte de cette dimension éducative et participative permet de renforcer l'acceptabilité sociale des trames vertes et d'encourager leur maintien à long terme au sein des stratégies d'aménagement urbain durable.

## 1.4. Un outil pour une performance environnementale et pour un DUD

La trame verte, en tant qu'infrastructure écologique intégrée aux espaces urbains et périurbains, constitue un levier essentiel pour améliorer la performance environnementale et favoriser un développement urbain durable (DUD). En intégrant des espaces naturels et semi-naturels, elle permet de relever plusieurs défis environnementaux majeurs, notamment l'atténuation du changement climatique, la gestion durable des ressources hydriques, la résilience urbaine, la qualité de l'air et la santé publique.

### 1.4.1. Atténuation du Changement Climatique, Régulation Thermique et Résilience Urbaine

La trame verte joue un rôle fondamental dans l'atténuation des effets du changement climatique, en particulier à travers la séquestration du carbone et la régulation thermique des environnements urbains. Les espaces verts, tels que les parcs, jardins et corridors écologiques,

participent activement à la captation du dioxyde de carbone ($CO_2$), contribuant ainsi à la réduction de l'empreinte carbone des villes. Nowak et Crane (2002) soulignent que les arbres urbains ont une capacité significative de séquestration du carbone, jouant un rôle clé dans la lutte contre le réchauffement climatique. Par ailleurs, la trame verte influence directement le microclimat urbain en atténuant les îlots de chaleur urbains. Grâce aux processus d'évapotranspiration et d'ombrage, elle permet de réduire les températures locales, offrant des conditions climatiques plus tempérées, particulièrement en été. Cette régulation thermique contribue non seulement à réduire la consommation énergétique liée à la climatisation, mais aussi à limiter les risques sanitaires liés aux vagues de chaleur. Ainsi, l'intégration de la trame verte dans les politiques d'aménagement urbain s'inscrit comme une stratégie incontournable d'adaptation et d'atténuation climatique, renforçant la résilience des villes face aux défis environnementaux contemporains.

En renforçant la connectivité écologique et la multifonctionnalité des espaces verts, la trame verte améliore la résilience urbaine face aux perturbations climatiques et environnementales. L'intégration d'espaces verts interconnectés permet aux villes de mieux absorber et s'adapter aux événements climatiques extrêmes, tels que les vagues de chaleur, les tempêtes et les inondations. Elmqvist et al. (2015) soulignent que les écosystèmes urbains riches en biodiversité ont une meilleure capacité de récupération après une perturbation, garantissant la continuité des services écosystémiques. Cette approche écologique de l'aménagement urbain favorise également un cadre de vie plus résilient et sécuritaire pour les populations, en réduisant leur exposition aux risques environnementaux.

### 1.4.2. Gestion Durable des Eaux et Prévention des Risques d'Inondation

La gestion des ressources hydriques est un enjeu majeur dans les villes soumises à une imperméabilisation croissante des sols. La trame verte contribue à une gestion plus durable des eaux pluviales en favorisant leur infiltration et en réduisant le ruissellement superficiel. Grâce à des dispositifs tels que les zones humides intégrées, les toitures végétalisées et les jardins de pluie, elle permet de ralentir l'écoulement des eaux et d'améliorer leur qualité. Fletcher et al. (2015) soulignent l'efficacité des systèmes de drainage urbain durable (SUDS) et autres techniques alternatives pour atténuer le ruissellement et limiter les risques d'inondations. Ces aménagements filtrent également les polluants et particules fines, préservant ainsi la qualité des eaux urbaines et réduisant les impacts des pollutions diffuses sur les écosystèmes aquatiques. L'intégration de la trame verte dans la planification urbaine permet donc de réduire la vulnérabilité des villes aux événements climatiques extrêmes, en offrant des solutions naturelles pour gérer les précipitations intenses et lutter contre les sécheresses accrues.

### 1.4.3. Qualité de l'Air, Santé Publique et Bien-être en Milieu Urbain

La trame verte joue un rôle essentiel dans l'amélioration de la qualité de l'air en milieu urbain, en réduisant les polluants atmosphériques et en augmentant les niveaux d'oxygène. Par l'absorption des particules fines (PM10, PM2.5) et des gaz polluants ($NO_2$, $SO_2$), la végétation urbaine agit comme un filtre naturel, limitant les effets néfastes de la pollution sur la santé des habitants. L'intégration d'espaces verts contribue ainsi à réduire la prévalence des maladies respiratoires telles que l'asthme et la bronchopneumopathie chronique obstructive, tout en atténuant les effets des pics de pollution sur les populations vulnérables. De plus, la trame verte

favorise le bien-être physique et mental, en offrant des espaces de détente, de loisirs et d'activités physiques accessibles aux citadins. Cette interaction avec la nature réduit le stress psychologique, améliore la qualité de vie et favorise un mode de vie plus actif et plus sain.

La trame verte constitue un outil clé pour améliorer la performance environnementale des villes et favoriser un développement urbain durable. À travers ses rôles dans l'atténuation du changement climatique, la régulation thermique, la gestion durable des eaux, la résilience urbaine et la santé publique, elle s'impose comme un levier stratégique pour répondre aux défis écologiques et sociaux des espaces urbanisés. En favorisant une approche intégrée et systémique, la planification des trames vertes doit être placée au cœur des stratégies d'aménagement urbain, garantissant ainsi des villes plus résilientes, plus saines et plus adaptées aux changements environnementaux.

### 1.4.4. La Trame Verte : Un Levier pour la Santé Mentale, Physique et Sociale

La trame verte, en intégrant des espaces naturels et semi-naturels dans les environnements urbains et périurbains, constitue un vecteur essentiel de bien-être global. En fournissant des espaces propices à la détente, à l'activité physique et aux interactions sociales, elle favorise une approche intégrée de la santé, où les dimensions mentale, physique et sociale sont étroitement interconnectées.

- **Santé Mentale et Bien-être Psychologique**

L'accès à la nature en milieu urbain joue un rôle majeur dans la réduction du str**ess, de** l'anxiété et des troubles dépressifs. Les paysages naturels et la proximité avec la verdure offrent des espaces de tranquillité qui permettent aux citadins de se ressourcer mentalement. Bowler et al. (2010) ont démontré que l'exposition aux espaces verts réduit les niveaux de cortisol, l'hormone du stress, améliorant ainsi l'équilibre émotionnel. Kaplan (1995) soutient également que la théorie de la restauration de l'attention (Attention Restoration Theory, ART) explique comment les environnements naturels améliorent les capacités cognitives, en offrant un répit face aux sollicitations constantes du milieu urbain. L'impact bénéfique des trames vertes sur la santé mentale ne se limite pas aux adultes, mais concerne également les enfants et les personnes âgées, pour qui un contact régulier avec la nature est associé à une meilleure concentration, une diminution des symptômes de trouble de l'attention (TDAH) et une amélioration des fonctions cognitives.

- **Santé Physique et Prévention des Maladies**

Les trames vertes constituent un facteur clé dans la promotion d'un mode de vie actif, en fournissant des espaces adaptés à la pratique d'activités physiques, telles que la marche, le jogging, le cyclisme et le yoga en plein air. Ces activités contribuent directement à l'amélioration de la condition physique, en renforçant le système cardiovasculaire, en régulant la pression artérielle et en réduisant le risque de maladies chroniques, notamment l'obésité et le diabète. Lee et al. (2015) ont démontré que la proximité d'espaces verts est directement corrélée à une augmentation de l'activité physique et à une diminution du mode de vie sédentaire, réduisant ainsi les facteurs de comorbidité liés aux maladies métaboliques et cardiovasculaires. De plus, la végétation urbaine

joue un rôle thermorégulateur, atténuant les effets des îlots de chaleur, et favorisant des conditions climatiques plus propices à l'exercice en extérieur.

- **Santé Sociale et Cohésion Communautaire**

Au-delà de ses effets sur la santé physique et mentale, la trame verte favorise l'intégration sociale et le renforcement des liens communautaires. En offrant des espaces de rencontre, tels que parcs, jardins, sentiers et aires de loisirs, elle constitue un lieu d'échanges et d'interactions intergénérationnelles, réduisant ainsi l'isolement social. Maas et al. (2006) soulignent que la fréquentation des espaces verts renforce le sentiment d'appartenance à la communauté, en facilitant des interactions spontanées entre habitants et en favorisant l'émergence de réseaux sociaux de proximité. Cette dynamique sociale contribue à un mieux-être collectif, réduisant les risques de solitude et améliorant la perception de la sécurité dans l'espace urbain. De plus, l'engagement citoyen dans la gestion et la préservation des espaces verts à travers des initiatives participatives (jardins partagés, programmes de reboisement urbain) favorise un sentiment de responsabilité collective, essentiel à la durabilité des infrastructures vertes. Zufferey (2015) compile une synthèse de treize études empiriques illustrant ces effets positifs, soulignant l'importance de la trame verte comme moteur d'amélioration des conditions de vie urbaines.

En somme, la trame verte dépasse ainsi son rôle écologique pour devenir un vecteur essentiel de santé publique et de bien-être collectif. En offrant un cadre de vie plus sain, en encourageant l'activité physique, en réduisant le stress et en favorisant la cohésion sociale, elle constitue un outil incontournable dans les politiques d'urbanisme durable. Son intégration systématique dans la planification urbaine permet non seulement d'améliorer la santé des populations, mais aussi de renforcer le lien entre l'homme et son environnement naturel, garantissant ainsi un développement plus inclusif et équilibré des territoires urbains et périurbains.

### 1.4.5. La trame verte, un outil de valorisation économique et d'attractivité

Au-delà de ses contributions à la préservation de la biodiversité et à l'amélioration du bien-être humain, la trame verte constitue un levier stratégique pour la valorisation économique et l'attractivité des territoires. En intégrant des espaces naturels et semi-naturels dans les environnements urbains et périurbains, elle génère une série d'avantages économiques tangibles et intangibles, renforçant la prospérité des communautés locales et stimulant le développement urbain durable.

Sur le plan tangible, la trame verte augmente la valeur des propriétés immobilières situées à proximité. Des études démontrent que la proximité à des espaces verts bien entretenus peut significativement accroître les prix des logements, entraînant ainsi une augmentation des revenus fiscaux pour les autorités locales (Bouhelouf et al., 2019). Par ailleurs, ces infrastructures vertes attirent les entreprises et les investisseurs, qui privilégient des environnements de travail sains et attractifs, renforçant ainsi la dynamique économique locale. Sur le plan intangible, la trame verte améliore l'image et l'attractivité des villes, jouant un rôle clé dans le tourisme de loisirs et la compétitivité urbaine. Des initiatives de régénération urbaine combinant nature et culture permettent aux villes de se positionner comme des destinations de choix pour les investisseurs et les talents. Un exemple emblématique est l'Hemscher Park en Allemagne, où la transformation

d'un territoire industriel en un espace paysager structurant a permis de revitaliser l'économie locale tout en valorisant l'identité du territoire.

En parallèle, les services écosystémiques fournis par la trame verte ont des retombées économiques directes, notamment en matière de régulation thermique, de réduction des coûts de santé et de prévention des risques naturels (Elmqvist et al., 2013). Ces effets réduisent les dépenses publiques liées aux conséquences du changement climatique et aux pathologies environnementales, renforçant ainsi la résilience économique des villes.

- **Tourisme et Loisirs via TVB : Un moteur économique**

La présence de la nature dans les villes est un facteur clé d'attraction pour les touristes et les visiteurs, stimulant ainsi l'industrie du tourisme et des loisirs. Les parcs, sentiers de randonnée, zones de pique-nique et autres espaces verts urbains deviennent des destinations de choix pour les activités récréatives, contribuant significativement à l'économie locale. Ces espaces verts ne se contentent pas de fournir un cadre agréable ; ils sont aussi des moteurs économiques, engendrant des flux de visiteurs qui bénéficient à de nombreux secteurs, tels que les hôtels, restaurants, cafés et boutiques. Ce dynamisme économique est renforcé lors d'événements spéciaux ou de festivals organisés dans ces zones vertes, qui attirent un public encore plus large. En améliorant l'image et l'attractivité de la ville, ces espaces verts peuvent encourager des séjours plus longs et des dépenses accrues de la part des touristes, contribuant ainsi à l'essor économique des communautés locales. Aujourd'hui, de nombreuses villes misent sur l'exception de leur paysage, qu'il soit vert, aquatique ou culturel, pour se démarquer.

Que ce soit par la conception de nouveaux espaces ou par la régénération de zones existantes, l'intégration de la nature dans l'aménagement urbain est devenue une stratégie clé pour attirer les visiteurs et les investisseurs. Les exemples de succès, tels que l'Hemesher Park en Allemagne, illustrent bien comment une approche intégrée de la nature et de la culture peut revitaliser un territoire et en faire une destination attractive (**Voir Annexe A**) .

- **Impact sur la Valeur Immobilière**

La proximité des trames vertes constitue un facteur déterminant de valorisation immobilière, tant pour le résidentiel que pour le commercial. Crompton (2001) démontre que les espaces verts urbains améliorent la perception de la qualité de vie, rendant les quartiers adjacents plus attractifs et convoités, ce qui stimule la demande et augmente la valeur foncière (**Figure 17**). Cette valorisation immobilière bénéficie directement aux propriétaires, aux promoteurs et aux municipalités. Les promoteurs peuvent commercialiser des biens à des prix plus élevés, tandis que les municipalités perçoivent une base fiscale accrue, qui peut être réinvestie dans les infrastructures et services urbains. Ce cercle vertueux contribue au maintien de la qualité de vie et à la pérennisation des espaces verts dans les stratégies d'aménagement urbain.

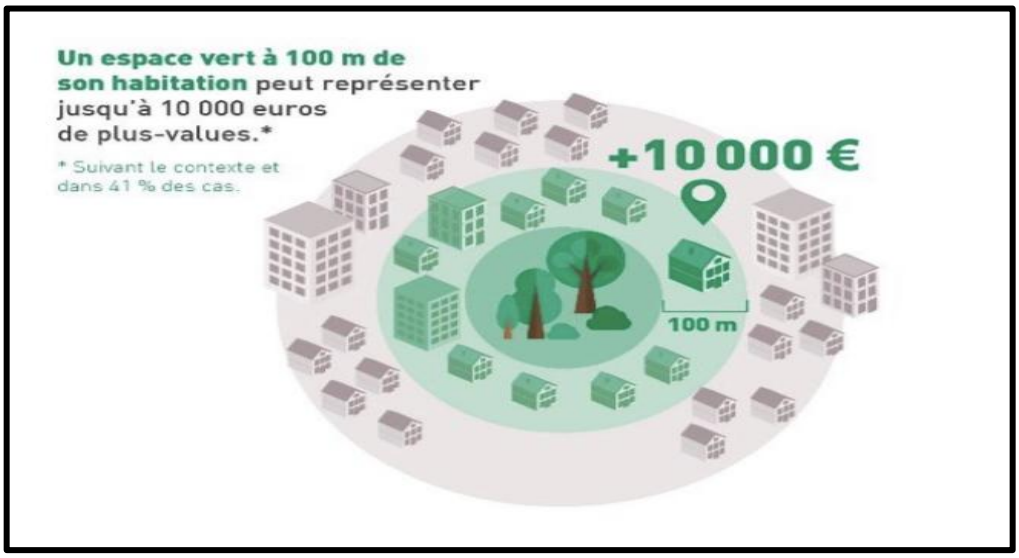



**Figure.17.**Valeur immobilière pour la proximité d'espaces verts .PALMARES 2017.
Source : https://www.observatoirevillesvertes.fr/wp-content/uploads/2022/07/PALMARES-DES-VILLES-VERTES-VDEF.pdf

- **Création d'Emplois et Dynamisme Économique**

La mise en place et la gestion des trames vertes stimulent l'emploi dans plusieurs secteurs, notamment l'aménagement paysager, l'urbanisme, l'ingénierie environnementale et la gestion écologique. La planification, la conception, la mise en œuvre et l'entretien de ces infrastructures nécessitent une main-d'œuvre qualifiée, dynamisant ainsi l'activité dans les domaines de la construction, de l'horticulture et des services environnementaux. Bolund et Hunhammar (1999) identifient sept types d'écosystèmes urbains (arbres de rue, pelouses, parcs, forêts urbaines, terres cultivées, zones humides et cours d'eau), qui fournissent des services écosystémiques essentiels et requièrent une gestion durable. En France, le secteur du paysage a connu une croissance de 28 % en cinq ans, atteignant 4,3 milliards d'euros en 2007 (Choumert, 2010), démontrant la demande croissante en services liés aux espaces verts. De plus, l'intégration des trames vertes dans la revitalisation urbaine génère des retombées économiques indirectes. La fréquentation accrue des espaces verts augmente le chiffre d'affaires des commerces environnants, en attirant une clientèle plus large et en prolongeant la durée de séjour des visiteurs (Ministère de la Transition Écologique, 2013).

- **Réduction des Coûts de Santé et d'Entretien**

L'amélioration de la qualité de vie en milieu urbain grâce aux trames vertes entraîne une réduction significative des dépenses publiques en matière de santé. En prévenant les maladies chroniques liées à la sédentarité, à la pollution et au stress, ces infrastructures contribuent à réduire les coûts médicaux associés aux maladies cardiovasculaires, respiratoires et psychologiques (Keniger et al., 2013). En parallèle, la capacité des trames vertes à réguler le climat urbain et à prévenir les risques environnementaux réduit les coûts d'adaptation et de gestion des catastrophes

naturelles. En limitant les îlots de chaleur, en absorbant les eaux pluviales et en filtrant les polluants atmosphériques, elles atténuent les impacts économiques des événements climatiques extrêmes.

## 1.5. La Trame Verte : Cadre Législatif et Instruments de Planification

La trame verte, dans le contexte législatif et des instruments de planification, constitue une avancée majeure pour l'intégration de la conservation de la biodiversité et la gestion des écosystèmes dans les politiques environnementales et d'aménagement du territoire. Elle s'appuie sur des cadres juridiques et des outils stratégiques visant à structurer et protéger les réseaux écologiques dans les milieux urbains et périurbains. Ces dispositifs permettent d'assurer la connectivité des habitats naturels et d'orienter les politiques territoriales vers un développement plus durable et résilient.

### 1.5.1. Cadres Juridiques et Politiques Publiques

Les cadres législatifs encadrant la trame verte s'inscrivent dans des initiatives de politiques environnementales plus vastes, qui reconnaissent l'importance des corridors écologiques et des infrastructures vertes pour la préservation des écosystèmes et l'amélioration de la qualité de vie. En France, la Loi Grenelle II de 2010 a marqué une étape clé en institutionnalisant la Trame Verte et Bleue (TVB), soulignant la nécessité d'une planification écologique intégrée pour conserver la biodiversité et restaurer les continuités écologiques. Ce cadre législatif impose aux territoires de tenir compte des enjeux écologiques dans leurs stratégies d'aménagement, avec des obligations renforcées pour intégrer les réseaux naturels dans la planification urbaine[5]. D'autres pays européens, tels que l'Allemagne et les Pays-Bas, ont adopté des stratégies similaires, en intégrant des corridors verts dans leurs politiques d'urbanisme. Ces démarches soulignent la nécessité d'une action concertée entre les différents acteurs – autorités locales, urbanistes, écologues et citoyens – pour assurer une mise en œuvre efficace des trames vertes.

### 1.5.2. Instruments de Planification et de Gestion

La mise en œuvre de la trame verte repose sur des instruments de planification territoriale qui permettent d'identifier, de protéger et de renforcer les réseaux écologiques essentiels. En France, les Schémas Régionaux de Cohérence Écologique (SRCE) et les plans locaux de biodiversité constituent des outils clés pour intégrer les trames vertes dans les stratégies d'aménagement. Ces documents fournissent des directives précises permettant de hiérarchiser les continuités écologiques, de limiter la fragmentation des habitats, et de garantir une gestion cohérente des espaces naturels et semi-naturels.[6]

[5] Lois Grenelle 1 (3 août 2009) et Grenelle 2 (12 juillet 2010) http://www.legifrance.gouv.fr/

[6]SRCE,https://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/161230_chiffres_synthese_srce.pdf, https://www.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/srce_fc_rnt_cle68dfc4.pdf.

L'approche adoptée repose également sur la concertation avec les acteurs locaux, afin d'harmoniser les actions publiques et privées et d'assurer une cohésion entre les différents échelons de gouvernance. La planification écologique, lorsqu'elle est bien articulée, permet ainsi une intégration efficace des trames vertes dans le développement urbain.

### 1.5.3 Implications Internationales et Comparaisons

Au niveau international, des initiatives majeures comme la Convention sur la Diversité Biologique (CDB), qui présente un intérêt particulier en incitant les États membres à élaborer et à mettre en œuvre des stratégies de conservation de la biodiversité. La CDB promeut spécifiquement la création et la gestion de trames vertes comme réseaux écologiques essentiels pour maintenir la biodiversité dans les zones urbaines et périurbaines[7]. Ce cadre international, établi lors de la Conférence des Parties (COP) en 2010, souligne l'importance d'une approche cohérente et intégrée, reconnaissant les paysages urbains comme des espaces stratégiques pour la mise en œuvre de corridors écologiques, nécessaire pour la connectivité des habitats et la survie des espèces dans des environnements fragmentés[8] . L'adoption de ces stratégies est soutenue par des comparaisons internationales qui montrent que les pays ayant intégré des trames vertes dans leur planification urbaine obtiennent des résultats positifs tant sur le plan écologique que social. Par exemple, des études menées dans des villes européennes, telles que la Green Belt de Vienne ou le réseau de corridors verts de Berlin, démontrent comment les trames vertes contribuent à améliorer la qualité de vie urbaine tout en préservant la biodiversité (Kabisch et al., 2017). Ces exemples illustrent l'efficacité des engagements pris sous la CDB et offrent des modèles pour d'autres pays cherchant à intégrer des solutions de biodiversité dans leurs contextes urbains.

### 1.5.4 Défis et Perspectives

Malgré les avancées législatives et institutionnelles, la mise en œuvre effective des trames vertes se heurte à plusieurs défis majeurs. L'un des principaux obstacles réside dans la coordination intersectorielle, qui requiert une harmonisation des actions entre les différents niveaux de gouvernance et les divers secteurs d'activité. Cette complexité institutionnelle peut ralentir l'intégration cohérente des trames vertes dans les stratégies d'aménagement du territoire. Par ailleurs, le financement constitue une contrainte significative, les ressources financières allouées aux projets écologiques étant souvent limitées et dépendantes de subventions publiques ou de partenariats privés. Cette situation complique la mise en place de projets d'envergure et leur pérennité à long terme. Un autre défi majeur repose sur l'adhésion des parties prenantes, qui conditionne l'efficacité des initiatives écologiques. L'engagement des acteurs locaux, des décideurs politiques et des citoyens est essentiel pour garantir la réussite et la durabilité des trames vertes, mais il demeure parfois difficile à mobiliser, notamment en raison d'intérêts divergents ou d'un manque de sensibilisation aux bénéfices de ces infrastructures écologiques.

[7] CONVENTION SUR LA DIVERSITE BIOLOGIQUE. https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-fr.pdf
[8] Secrétariat de la CDB, 2010, https://www.cbd.int/doc/press/2008/pr-2008-02-18-sbstta-fr.pdf

Dans ce contexte, la recherche scientifique joue un rôle déterminant en développant des approches méthodologiques innovantes visant à surmonter ces obstacles. Les travaux de Faivre et al. (2017), Wamsler et al. (2020) et Kabisch et al. (2017) mettent en évidence des stratégies pratiques et adaptatives, permettant de mieux intégrer les trames vertes dans les politiques d'aménagement. Ces études soulignent l'importance d'une planification flexible et évolutive, capable de s'ajuster aux enjeux environnementaux et sociaux spécifiques de chaque territoire. L'élaboration de modèles d'aménagement fondés sur des données empiriques et des outils de suivi performants est ainsi essentielle pour garantir une mise en œuvre efficace et durable des trames vertes, tout en conciliant objectifs écologiques et réalités socio-économiques.

## 1.6. Trame Verte et Aménagement : Enjeux, Acteurs et Leviers de Mise en Œuvre

L'intégration de la trame verte dans les politiques d'aménagement représente un enjeu stratégique majeur pour la planification territoriale et la gestion durable des écosystèmes. Son efficacité repose sur la collaboration entre acteurs institutionnels, scientifiques et citoyens, ainsi que sur l'activation de leviers réglementaires, techniques et financiers permettant d'assurer la cohérence et la continuité des infrastructures écologiques. Toutefois, des contraintes subsistent, notamment en raison des conflits d'usage, du manque de coordination intersectorielle et des pressions liées à l'urbanisation croissante. Ces défis soulignent l'importance d'une gouvernance intégrée et d'une vision stratégique, afin que la trame verte puisse répondre aux enjeux écologiques, économiques et sociaux, tout en renforçant la résilience des territoires face aux défis environnementaux contemporains.

### 1.6.1. Gouvernance et Acteurs

La mise en œuvre des trames vertes repose sur une gouvernance participative impliquant divers acteurs, des autorités locales et nationales aux scientifiques, urbanistes, écologues et citoyens. La collaboration transdisciplinaire est essentielle pour conceptualiser, mettre en œuvre et gérer efficacement ces infrastructures écologiques. Des études récentes ont mis en évidence l'importance de telles approches collaboratives pour assurer la durabilité et l'efficacité des espaces verts urbains (van der Jagt et al., 2016). Une approche multi-acteurs permet d'intégrer différentes expertises, de favoriser l'innovation et d'adapter les solutions aux contextes locaux. Les autorités locales jouent un rôle central en tant que régulateurs et facilitateurs, définissant les cadres réglementaires et coordonnant les politiques publiques. Le secteur privé est un acteur clé en matière d'investissement et d'innovation, notamment dans le cadre de partenariats public-privé favorisant le financement et la gestion durable des espaces verts. La communauté scientifique apporte son expertise technique, notamment pour évaluer la biodiversité, modéliser les impacts climatiques et proposer des solutions adaptées. Enfin, l'implication des citoyens est essentielle pour garantir une appropriation locale et assurer la pérennité des initiatives. L'interaction entre ces acteurs conditionne l'intégration réussie des trames vertes dans les stratégies d'aménagement.

### 1.6.2. Leviers de Mise en Œuvre

La mise en place des trames vertes repose sur plusieurs leviers réglementaires, financiers et technologiques qui facilitent leur intégration dans le tissu urbain. Les toitures végétalisées, murs verts et corridors écologiques sont des innovations permettant de surmonter les contraintes spatiales et d'incorporer la nature dans les espaces urbains denses. Pour garantir la viabilité de ces initiatives, les politiques publiques doivent promouvoir des normes de construction durables, incluant des incitations pour les infrastructures vertes et une meilleure gestion des eaux pluviales.

Les partenariats public-privé constituent une stratégie efficace pour répartir les coûts et les bénéfices entre les secteurs public et privé, tandis que les compensations écologiques encouragent les entreprises à investir dans la biodiversité urbaine. Ces leviers de mise en œuvre, lorsqu'ils sont bien articulés, permettent non seulement d'assurer la durabilité des trames vertes, mais aussi de maximiser leurs bénéfices environnementaux, sociaux et économiques de celles-ci

### 1.6.3. Contraintes et Défis

L'intégration des trames vertes dans les politiques urbaines se heurte à plusieurs obstacles structurels. Parmi ceux-ci, la pression foncière, les conflits d'usage et les contraintes financières constituent des défis majeurs. Costanza et al. (2014) soulignent la nécessité de développer des modèles économiques permettant de quantifier et valoriser les services écosystémiques fournis par les trames vertes, afin de les intégrer dans les décisions politiques et économiques.

Daily et al. (2009) et Sukhdev et al. (2008) insistent sur l'importance d'incorporer la valeur des écosystèmes dans les politiques locales et nationales, en démontrant que la conservation des espaces verts génère des bénéfices économiques à long terme, notamment à travers la réduction des dépenses de santé publique et l'amélioration de la résilience climatique. L'un des défis majeurs réside dans l'articulation entre développement urbain et préservation des espaces naturels. Les projets d'aménagement doivent intégrer des dispositifs réglementaires solides pour éviter que les trames vertes ne soient perçues uniquement comme une contrainte foncière, mais bien comme un investissement stratégique dans la durabilité des territoires.

### 1.6.4. Enjeux et perspectives

La mise en œuvre des trames vertes constitue un enjeu stratégique majeur face aux défis croissants liés à l'urbanisation, aux changements climatiques et à la conservation des écosystèmes. Ces infrastructures écologiques visent à maintenir et renforcer la biodiversité, à améliorer la résilience urbaine, à favoriser la santé publique et à optimiser la gestion des ressources naturelles, tout en garantissant un équilibre entre développement urbain et préservation des espaces naturels. Selon Geneletti (2016), la conception des villes doit répondre à une double exigence : être habitables et durablement intégrées dans leur environnement naturel.

À cet égard, la trame verte apparaît comme un levier fondamental pour concilier croissance urbaine et conservation écologique. En matière de gestion des eaux pluviales, elles constituent une solution durable en réduisant le ruissellement et les risques d'inondation. Elles jouent également un rôle important dans la réduction des îlots de chaleur urbains, la préservation de la qualité de l'air

et l'atténuation des émissions de carbone, contribuant ainsi à une empreinte écologique réduite des villes. Par ailleurs, elle joue un rôle clé dans la mitigation des îlots de chaleur urbains, améliorant la qualité de l'air et réduisant l'empreinte écologique des villes.

Outre ses bénéfices environnementaux, la trame verte soulève des enjeux sociaux et économiques. La question de l'accessibilité des espaces verts est primordiale, comme le met en avant Wolch et al. (2014) à travers leur concept de ***"parc pour tous"***, qui promeut une répartition équitable des infrastructures vertes afin de garantir une justice environnementale. La mise en œuvre des trames vertes ne relève donc pas uniquement d'une approche écologique, mais engage une réflexion plus large sur l'équité sociale, la planification territoriale et la résilience des villes face aux crises environnementales et sanitaires. Ainsi, les trames vertes s'imposent comme un outil transversal et structurant, nécessitant une vision intégrée et interdisciplinaire, mobilisant à la fois les acteurs institutionnels, les urbanistes, les écologues et la société civile pour assurer une transition urbaine durable.

## Conclusion

Ce premier chapitre a permis de poser les fondements théoriques et conceptuels nécessaires à une compréhension approfondie de la trame verte, une notion centrale dans la planification urbaine durable et la conservation de la biodiversité. L'évolution de ce concept, de ses racines dans le paysagisme et la conservation naturelle en milieu urbain à son intégration stratégique dans les politiques publiques contemporaines, démontre son importance croissante dans la réponse aux défis environnementaux mondiaux, notamment la fragmentation des habitats, le changement climatique, et la perte de biodiversité.

À travers l'exploration des différentes dimensions de la trame verte, nous avons mis en lumière sa multifonctionnalité, englobant l'embellissement paysager, la promotion de la santé mentale et physique, la valorisation économique, ainsi que ses bénéfices sur la biodiversité et l'efficacité environnementale. Ce réseau écologique intégré dépasse la simple juxtaposition d'espaces verts pour devenir un élément structurant des environnements urbains, capable de transformer les villes en écosystèmes résilients, soutenant une biodiversité riche tout en améliorant la qualité de vie des habitants. Les analyses théoriques et les études de cas abordées dans ce chapitre ont également souligné l'importance de la connectivité écologique, un élément clé pour maintenir la continuité des habitats et favoriser les flux génétiques essentiels à la survie des espèces. Cette connectivité, en renforçant la résilience des écosystèmes urbains, contribue également à la mitigation des effets néfastes de l'urbanisation, tels que les îlots de chaleur urbains et la gestion des eaux pluviales.

L'examen des cadres législatifs et des instruments de planification a révélé l'importance des politiques publiques pour la mise en œuvre efficace des trames vertes. Les initiatives internationales et nationales, telles que la Trame Verte et Bleue en France, illustrent comment ces politiques peuvent servir de vecteurs puissants pour promouvoir une urbanisation plus verte et durable. Cependant, la réussite de ces initiatives dépendra de la capacité des gouvernements et des collectivités à surmonter les défis de la coordination intersectorielle, du financement, et de l'engagement des parties prenantes.

Au-delà des défis immédiats, la perspective future de la trame verte invite à la réflexion sur le rôle de la technologie et de l'innovation dans la facilitation de sa mise en œuvre. Les avancées dans le domaine des systèmes d'information géographique (SIG), de l'analyse de données environnementales, et des plateformes participatives offrent des opportunités inédites pour une planification plus précise et une gestion adaptative des espaces verts urbains ou suburbains. De même, l'engagement citoyen émerge comme un pilier central dans la conception et le maintien de la trame verte, renforçant le lien entre la communauté et son environnement et encourageant une appropriation locale des projets.

La trame verte incarne une vision pour l'avenir des métropoles, ancrée dans les principes de durabilité, d'équité et de vivabilité. Son déploiement esquisse un chemin vers des villes où le rapport à la nature est non seulement restauré, mais aussi célébré comme une composante fondamentale de l'urbanisme. Face aux défis climatiques et environnementaux actuels, la trame verte se présente non seulement comme une nécessité écologique, mais aussi comme une opportunité de repenser notre relation avec l'urbanisme et l'environnement, guidant les villes vers une harmonie durable et inclusive avec la nature.

Ce chapitre a ainsi posé les fondements d'une réflexion approfondie sur les méthodes et pratiques nécessaires à la mise en œuvre efficace des trames vertes. Leur adoption généralisée constitue un enjeu concluant pour l'avenir des métropoles, garantissant une qualité de vie améliorée, une biodiversité préservée et une harmonie durable entre l'urbain et le naturel, au bénéfice des générations futures.

La trame verte apparaît comme un outil stratégique essentiel dans la planification territoriale durable, en conciliant développement urbain et préservation écologique. Toutefois, sa mise en œuvre requiert une gouvernance adaptée, des leviers réglementaires et financiers solides, ainsi qu'une meilleure reconnaissance de sa valeur environnementale et économique. L'articulation entre cadres législatifs, instruments de financement et sensibilisation des parties prenantes est indispensable pour garantir l'efficacité des trames vertes et assurer leur intégration harmonieuse dans les politiques d'aménagement. Dans un contexte de changement climatique et de croissance urbaine, la trame verte se positionne comme un levier central pour une ville plus résiliente, plus verte et plus inclusive.

# CHAPITRE 2
# REGARDS CROISES SUR QUELQUES EXPERINECES DE TRAMES VERTES EN MEDITERANEE

## Introduction

Face aux multiples défis environnementaux, sociaux et climatiques, la mise en place de trames vertes constitue une réponse stratégique pour promouvoir une planification territoriale durable. Dans les villes méditerranéennes, où la forte densité urbaine, les pressions foncières et la vulnérabilité accrue aux changements climatiques sont particulièrement marquées, l'intégration de ces infrastructures écologiques est devenue une nécessité. À travers une approche comparative, ce chapitre examine les expériences de Paris, Marseille et de la Tunisie, trois contextes contrastés qui permettent d'analyser les dynamiques d'implantation et les défis associés aux trames vertes en milieu méditerranéen.

Les trames vertes jouent un rôle clé dans la résilience des territoires urbains en assurant des continuités écologiques et en améliorant la qualité de vie des habitants. Leur mise en œuvre est cependant conditionnée par divers facteurs, notamment les politiques publiques, les contraintes géographiques et les spécificités socio-économiques locales. Paris, en tant que métropole mondiale et capitale européenne, a développé une approche intégrée et normée des infrastructures vertes, axée sur la renaturation des espaces urbains, la gestion durable des eaux pluviales et la préservation de la biodiversité. Les stratégies parisiennes s'appuient sur un cadre réglementaire structuré, avec des plans d'urbanisme ambitieux qui visent à renforcer la présence du végétal dans la ville.

Marseille, quant à elle, se distingue par une géographie particulière marquée par un relief accidenté et un climat méditerranéen caractérisé par des périodes de sécheresse prolongées. Ces conditions influencent la conception et la mise en œuvre des trames vertes, qui doivent répondre à des enjeux spécifiques de gestion des ressources en eau et de préservation des milieux naturels fragiles. L'urbanisme marseillais est confronté à un équilibre délicat entre développement urbain et conservation des espaces naturels, notamment dans les zones périurbaines où la pression foncière est forte. Malgré ces contraintes, des initiatives visant à renforcer la connectivité écologique et à intégrer des solutions basées sur la nature sont en cours, notamment à travers des projets de requalification urbaine et d'aménagement durable.

En Tunisie, la planification verte en milieu urbain reste un domaine émergent, marqué par des initiatives ponctuelles et des défis structurels liés à l'aménagement du territoire et à la gouvernance environnementale. L'intégration des trames vertes dans les stratégies de développement urbain tunisiennes s'inscrit dans un contexte où les priorités sont souvent orientées vers l'urbanisation rapide et la modernisation des infrastructures. Toutefois, certaines villes tunisiennes expérimentent des approches innovantes, notamment en matière de végétalisation des espaces publics et de préservation des zones naturelles périphériques. L'adoption de politiques plus cohérentes et d'un cadre réglementaire structuré pourrait favoriser un développement plus harmonieux des trames vertes et renforcer leur rôle dans l'adaptation aux changements climatiques.

Ce chapitre vise ainsi à apporter un éclairage comparatif sur ces trois expériences, en mettant en évidence les points de convergence et les spécificités propres à chaque territoire. En s'appuyant sur une analyse des leviers d'action, des contraintes et des impacts observés, cette étude ambitionne de dégager des recommandations adaptées aux contextes méditerranéens. L'objectif est de proposer des stratégies intégrées qui permettent de maximiser les bénéfices écologiques, sociaux et économiques des trames vertes, tout en tenant compte des particularités locales. À travers cette approche croisée, il s'agit d'identifier les meilleures pratiques et les conditions

nécessaires pour assurer une implantation réussie et pérenne des infrastructures vertes dans les villes méditerranéennes.

## 2.1. La Trame Verte et Bleue à Paris : Vers une Métropole Résiliente

La Trame Verte et Bleue (TVB) de Paris (**Figure. 18**) évoque une démarche pionnière et ambitieuse visant à rétablir l'harmonie entre l'urbanisme et l'environnement naturel au sein de la capitale française. Face aux défis de la croissance urbaine rapide et des pressions exercées sur les écosystèmes, cette initiative représente une réponse engagée et visionnaire, intégrant pleinement la dimension écologique dans le développement urbain. Au cœur de cette approche se trouve la reconnaissance de l'importance de la biodiversité pour le bien-être des citoyens et la résilience des villes face aux changements climatiques (Ville de Paris, 2021). En favorisant la cohabitation harmonieuse entre les espaces verts et les zones urbanisées, la TVB incarne une vision d'avenir où la nature et l'urbanité se complètent mutuellement, créant ainsi un environnement propice à la vie, à l'épanouissement des communautés, et à la préservation des écosystèmes.

**Figure. 18 .**La Trame Verte et Bleue à Paris. Source : Breuillet Nature, https://breuilletnature.blogspot.com/p/paris.html
Illustrant l'intégration des espaces verts dans le tissu urbain de la capitale.

### 2.1.1. Contexte Démographique et Urbanisation

Paris, métropole dynamique de plus de 2,2 millions d'habitants, se distingue par une croissance démographique accentuée et une urbanisation lourde. Cette croissance s'accompagne d'une densification importante, particulièrement marquée dans certaines zones de la capitale où la densité de population dépasse les 250 habitants par hectare comme illustré dans la **Figure 19**. Cette densité élevée, observée notamment dans les quartiers centraux, accentue la pression sur les ressources naturelles et les espaces disponibles, posant des défis significatifs en matière

d'aménagement urbain. L'urbanisation rapide de Paris a conduit à une densification accrue des zones bâties, avec la prolifération des infrastructures et la fragmentation croissante des habitats naturels. Ces changements ont des effets perturbateurs sur la biodiversité locale, compromettant la capacité des écosystèmes urbains à remplir des fonctions essentielles telles que la régulation du climat, la purification de l'air et de l'eau, et le maintien de la biodiversité.

Les transformations démographiques récentes (APUR, 2023) montrent également une baisse du nombre de résidences principales, un phénomène lié à la montée du nombre de logements vacants et à la conversion de résidences en logements temporaires ou secondaires. Couplé à un solde migratoire négatif, ce phénomène contribue à ralentir la croissance démographique de Paris, ajoutant aux défis que pose l'urbanisation pour la préservation des espaces naturels.

Cette situation met en lumière les défis complexes auxquels Paris est confronté : concilier une urbanisation croissante avec la nécessité de préserver les espaces naturels et la biodiversité, tout en améliorant la qualité de vie des habitants. Dans ce contexte, la Trame Verte et Bleue (TVB) émerge comme une solution prometteuse pour guider le développement urbain de manière durable. En intégrant la conservation de la biodiversité dans la planification urbaine, elle vise à préserver et à restaurer les connexions écologiques entre les espaces naturels, les parcs urbains, les cours d'eau et d'autres habitats, tout en offrant des avantages tangibles aux citoyens.

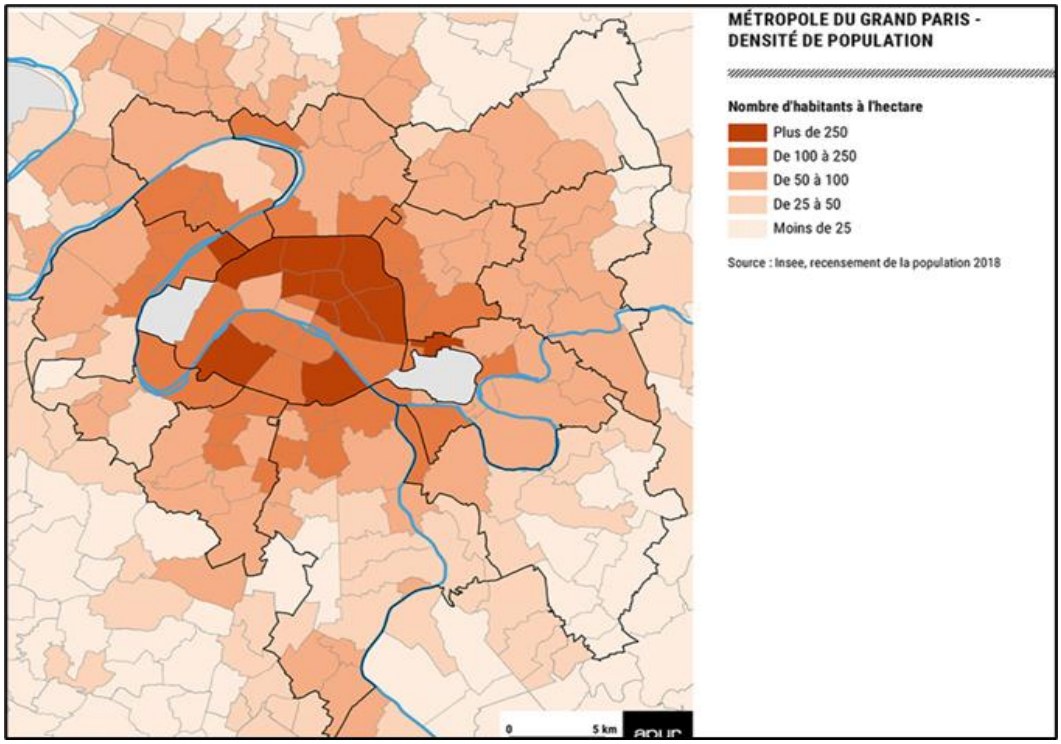



**Figure .19.**Densité de population dans la Métropole du Grand Paris .
Source: https://www.apur.org/fr/nos-travaux/2175601-habitants-paris-1-janvier-2018

Cette Figure illustre les zones les plus densément peuplées qui subissent les pressions les plus fortes en termes d'urbanisation et de fragmentation des habitats. .

### 2.1.2. La Trame Verte et Bleue à Paris : Stratégie et Potentiel de DD

La Trame Verte et Bleue (TVB) de Paris constitue une démarche visant à intégrer la nature de manière durable dans l'urbanisme de la capitale. L'initiative ambitieuse de celle-ci vise à créer un réseau cohérent d'espaces naturels et semi-naturels, favorisant la biodiversité tout en améliorant la qualité de vie des citoyens. Le potentiel de la TVB à Paris est immense, offrant des opportunités significatives pour renforcer la résilience urbaine face aux défis environnementaux et climatiques, tout en promouvant une urbanisation plus verte et durable. Des actions sont entreprises et développé dans ce qui suit :

#### a. Actions par la TVB pour l'Amélioration du Cadre de Vie

- **Qualité de l'Air et Bien-être Urbain**

La Trame Verte et Bleue (TVB) Parisienne joue un rôle central dans l'amélioration de la qualité de l'air et du bien-être urbain, en intégrant la végétation dans le tissu urbain de manière stratégique. La présence de végétaux permet non seulement d'améliorer le confort thermique, mais aussi de filtrer les polluants atmosphériques tels que les dioxydes d'azote et les particules fines, contribuant ainsi à une meilleure qualité de l'air. S'inscrivant dans cette dynamique, Paris a mis en place des stratégies ambitieuses pour renforcer la végétalisation urbaine. En plantant des arbres dans les parcs, les rues, les écoles et les espaces publics, la ville agit directement sur la filtration des polluants et sur la lutte contre les îlots de chaleur urbains. Certaines espèces, comme les tilleuls et les érables, ont été sélectionnées pour leur capacité élevée à absorber les polluants atmosphériques (Musy, 2014).

Le tableau numéro 1 ci-dessous présentant les teneurs en germes microbiens de l'air à Paris, montre des variations significatives en fonction des emplacements, ce qui peut être directement lié à la présence ou à l'absence d'espaces verts. Les zones telles que les grands magasins parisiens et les grands boulevards, qui sont caractérisées par une forte densité de bâtiments, de circulation piétonne et de véhicules, affichent les plus hautes concentrations de germes microbiens, atteignant respectivement 4 000 000 et 575 000 germes/m³. Cette concentration élevée s'explique par l'absence ou la rareté des espaces verts, qui permet une plus grande accumulation de polluants et de particules en suspension dans l'air, favorisant ainsi la prolifération microbienne. En comparaison, les Champs-Élysées, bien que très fréquentés, présentent une concentration microbienne modérée de 88 000 germes/m³, ce qui peut être attribué à la présence de jardins et d'arbres le long de l'avenue.

Ces éléments végétaux agissent comme des filtres naturels, réduisant les niveaux de micro-organismes dans l'air. Les zones proches de la Tour Eiffel, comme le parc Montsouris, montrent des concentrations nettement inférieures, respectivement 2 200 et 1 000 germes/m³. Ces secteurs bénéficient d'une couverture végétale dense, comprenant pelouses et arbres, qui contribue à la purification de l'air et à la réduction des particules en suspension, limitant ainsi la prolifération des germes microbiens. Enfin, la Forêt de Fontainebleau, située à 10 mètres de la Route Nationale, présente les niveaux les plus bas, avec seulement 50 à 55 germes/m³. La présence abondante de

végétation et l'absence de pollution urbaine directe expliquent cette faible teneur en micro-organismes.

**Tableau N°1 : Comparaison des niveaux de contamination microbienne de l'air dans différents lieux à Paris**

| Désignation | Teneur en germe microbien de l'air …. /m3 d'air |
|---|---|
| **Paris grand magasins** | 4000.000 |
| **Paris grand boulevard** | 575000 |
| **Paris Champs Élysées** | 88000 |
| **Paris pied de la tour Eifel** | 2200 |
| **Paris parc Montsouris** | 1000 |
| **Forêt Fontaine bleu à 10 m de la R.N** | 50 à 55 |

Source : M.A.K.H .Lablokoff, in Jeans pierre Muret et « al ». Les espaces urbains concevoir, réaliser, gérer, Paris éd, moniteur 1987, p75.

- **Réduction de la Pollution Sonore**

L'amélioration de l'environnement sonore est d'abord un enjeu majeur de santé publique. De nombreuses publications scientifiques ont établi un lien entre exposition au bruit dans l'environnement et problèmes de santé (DGEC 2020). Depuis le 30 juin 2007, toutes les grandes agglomérations doivent disposer de cartes de bruit de leur territoire. Paris adopte une approche intégrée pour réduire la pollution sonore, en développant des zones à faible émission où la circulation des véhicules polluants est restreinte (Ministère de la Transition écologique, 2021). Ces zones sont souvent situées dans des quartiers riches en espaces verts, offrant ainsi des environnements urbains plus calmes et plus agréables à vivre. L''installation de murs végétaux et de toitures vertes contribue également à l'atténuation du bruit et à l'amélioration de l'isolation thermique des bâtiments, renforçant ainsi la qualité de vie urbaine.

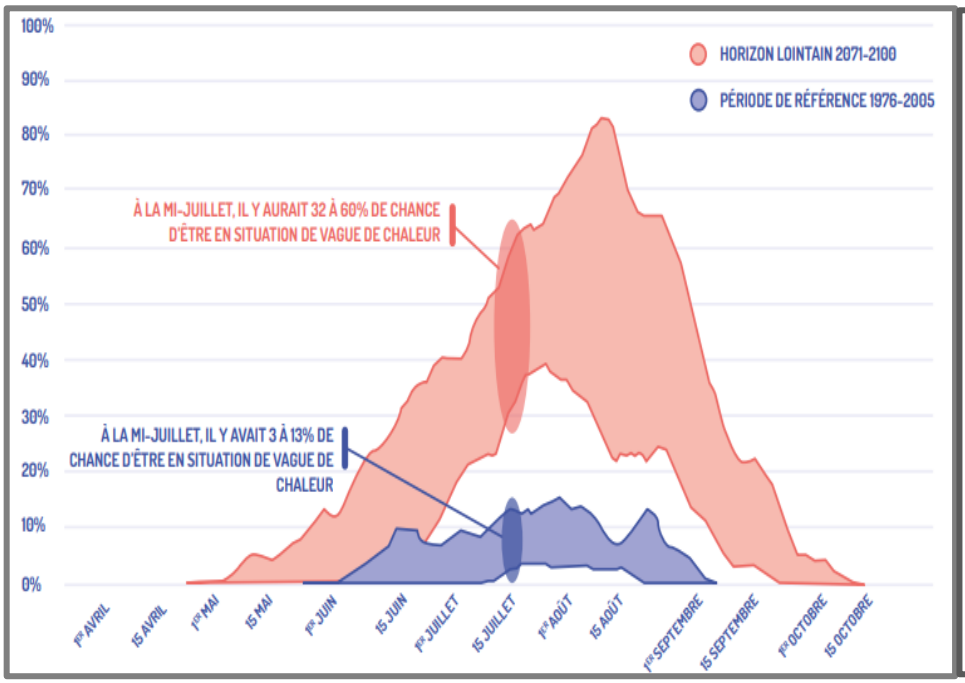
- **Atténuation des Vagues de Chaleur Urbaines**

La Métropole du Grand Paris est particulièrement exposée aux effets du changement climatique, notamment aux vagues de chaleur de plus en plus fréquentes et intenses. Comme l'illustre la **Figure 20**, la probabilité d'occurrence d'un épisode caniculaire en plein été pourrait augmenter de manière significative d'ici 2100, passant de 3 à 13 % sur la période de référence (1976-2005) à 32-60 % à l'horizon 2071-2100. Cette tendance alarmante souligne l'urgence d'adopter des stratégies adaptées pour renforcer la résilience thermique de la ville. Dans cette optique, Paris a mis en place plusieurs initiatives visant à atténuer les vagues de chaleur urbaines, principalement par l'expansion et l'optimisation des espaces verts, en particulier dans les secteurs densément peuplés. La végétalisation des espaces urbains, illustrée par la **Figure 21**, constitue un

levier fondamental pour réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU). Les trames vertes et bleues agissent à plusieurs niveaux : elles limitent l'accumulation thermique des surfaces minéralisées, augmentent l'ombrage et favorisent l'évapotranspiration, des mécanismes naturels qui contribuent à rafraîchir l'environnement urbain (Bertrand, 2012).

L'intégration stratégique de ces infrastructures écologiques s'accompagne également de la désimperméabilisation des sols et de la création de corridors végétalisés qui favorisent la ventilation et la dispersion de la chaleur accumulée dans les zones bâties (Colombert, 2012). Par ailleurs, la requalification des berges de la Seine et d'autres espaces verts parisiens participe activement à la régulation thermique, en atténuant localement les températures et en améliorant le confort thermique des habitants.

L'adaptation de la métropole aux défis climatiques repose ainsi sur une approche interdisciplinaire, combinant urbanisme, climatologie et écologie. Une planification intégrée des trames vertes apparaît comme une réponse efficace pour renforcer la résilience urbaine et améliorer la qualité de vie dans un contexte de réchauffement global.




Période de référence 1976-2005 et horizon lointain 2071-2100.

**Figure.20.**Fréquence de survenue d'une vague de chaleur un jour donné à Paris

Source: Agence parisienne du climat par Météo -France ,2023.(https://www.apc-paris.com/app/uploads/2023/11/brochurechangementclimatiqueetadaptationsurleperimetredelamgp-vf.pdf)

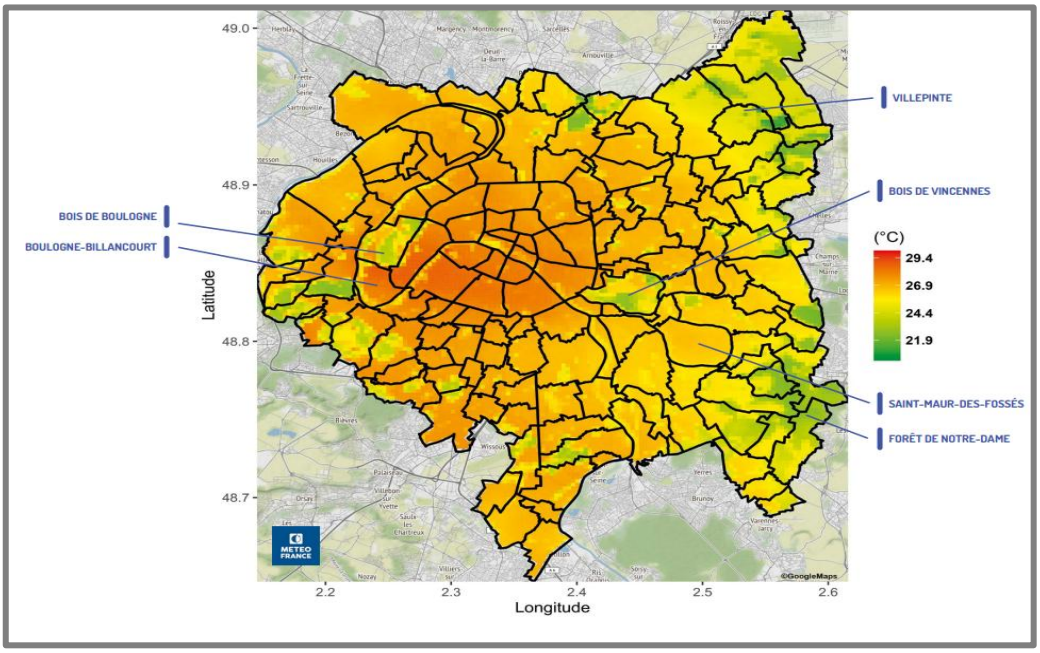



**Figure 21.**Distribution des espaces verts et îlots de chaleur à Paris. Source: https://www.apc-paris.com/app/uploads/2023/11/brochurechangementclimatiqueetadaptationsurleperimetredelamgp-vf.pdf

La Métropole du Grand Paris a identifié la végétalisation comme un levier stratégique essentiel pour lutter contre les températures excessives, en particulier dans les zones densément urbanisées où la chaleur nocturne a tendance à stagner, aggravant ainsi les conditions de vie (Agence Parisienne du Climat, 2021 et 2023). Cette approche s'inscrit dans une volonté d'adaptation au changement climatique et de renforcement de la résilience urbaine face aux épisodes de chaleur extrême.

L'analyse des distributions spatiales des températures nocturnes révèle une corrélation significative entre la présence d'espaces végétalisés et la diminution des températures urbaines. En effet, les parcs urbains et les zones boisées offrent une capacité de rafraîchissement naturelle grâce aux processus d'ombrage et d'évapotranspiration, permettant de réduire les températures locales de plusieurs degrés. Comme l'illustre la **Figure 22**, les écarts thermiques peuvent atteindre 5 à 7°C entre les secteurs fortement minéralisés et les espaces végétalisés. Cette différence est particulièrement marquée lors des épisodes caniculaires, où les îlots de chaleur urbains amplifient les impacts du réchauffement climatique.

Ce phénomène est particulièrement visible à travers la différence de température entre le centre de Paris et ses périphéries végétalisées, telles que les bois de Boulogne et de Vincennes. Ces écarts thermiques mettent en évidence l'impact des îlots de chaleur urbains (ICU), aggravés par la densification du bâti et l'artificialisation des surfaces. En réponse, les arbres et la couverture végétale jouent un rôle essentiel non seulement dans l'atténuation thermique, mais aussi dans l'amélioration de la qualité de l'air en captant le dioxyde de carbone et en filtrant les particules fines (Ville de Paris, 2021; Agence Parisienne du Climat, 2023).

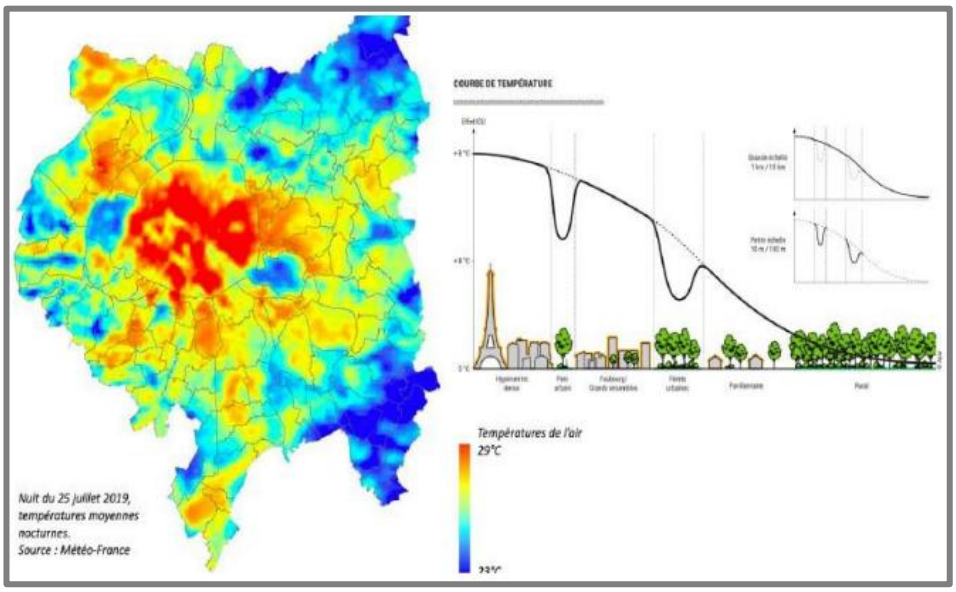



**Figure 22.**Impact de la végétalisation sur les températures urbaines. Source: https://images.app.goo.gl/Y4Re5BeVZZvuJEiB9 et Météo France

Face à ces enjeux, la ville de Paris adopte une approche préventive en intégrant des solutions basées sur la nature pour lutter contre les effets du réchauffement climatique et améliorer le confort thermique urbain. Ces efforts s'inscrivent dans une stratégie globale d'adaptation, où l'augmentation des espaces verts constitue un levier essentiel pour réduire l'intensité des vagues de chaleur, qui deviennent de plus en plus fréquentes et intenses.

Dans ce cadre, la plateforme AdaptaVille (http://www.adaptaville.fr/), lancée en 2021, illustre la volonté d'accélérer la transition climatique des espaces urbains. Ce projet, soutenu par des institutions majeures telles que l'ADEME, la Métropole du Grand Paris et Météo-France, constitue une base de référence pour des solutions innovantes visant à renforcer la résilience urbaine. Parmi les initiatives recensées, on retrouve la toiture hydroactive Oasis à Ivry-sur-Seine, conçue pour optimiser la gestion des eaux pluviales et réduire les effets d'îlot de chaleur, ainsi que les brumisateurs intégrés au mobilier urbain du 10e arrondissement de Paris, destinés à rafraîchir l'espace public lors des périodes caniculaires. De plus, la lisière de Tierce Forêt à Aubervilliers représente une expérimentation écologique innovante, favorisant la régénération de la biodiversité et contribuant à la régulation thermique des espaces urbains.

Parallèlement, des projets d'envergure tels que la rénovation des berges de la Seine et la transformation de la Petite Ceinture en un corridor écologique témoignent d'un changement structurel dans l'aménagement de Paris. Ces initiatives mettent en avant le rôle central de la végétation dans l'atténuation des îlots de chaleur urbains (ICU) et l'amélioration de la résilience climatique. En intégrant ces dispositifs dans une stratégie à long terme, la ville adopte une approche anticipative, visant à construire un environnement urbain plus vert, plus résilient et mieux adapté aux défis climatiques futurs. Ainsi, la nature devient un élément structurant de l'adaptation urbaine,

affirmant son rôle dans la conception d'une métropole durable, où le bien-être des habitants est intrinsèquement lié à la qualité des infrastructures écologiques.

La ville de Paris, avec 26,2 % de son territoire déjà végétalisé, continue de développer cette dynamique en transformant différents espaces urbains pour offrir davantage de verdure et de nature en ville. Entre 2018 et 2022, de nombreuses cours d'écoles ont été aménagées en "cours oasis", intégrant ainsi 1 400 mètres carrés de végétalisation en pleine terre. Ces cours, adaptées aux besoins des enfants, offrent une meilleure gestion de l'eau et sont plus ludiques. En 2023, une vingtaine de nouvelles cours seront installées, renforçant cette approche. Les quartiers réhabilités, tels que celui de Chapelle Charbon, témoignent de l'engagement de Paris à transformer d'anciens sites industriels en zones urbaines vertes. Ces projets de réaménagement comprennent la création de logements, de commerces et de services, tout en intégrant des espaces végétalisés à faible empreinte carbone, préfigurant le futur Plan Local d'Urbanisme (PLU) bioclimatique de la ville. Par ailleurs, elle s'est lancée dans une ambitieuse campagne de plantation d'arbres, avec un objectif de 170 000 arbres d'ici 2026. De nombreux espaces publics, y compris les rues et les places, accueillent ces plantations qui contribuent à renforcer la couverture végétale de la ville. En parallèle, les toitures et murs végétalisés jouent un rôle essentiel dans la réduction des températures urbaines et l'amélioration de la biodiversité.

La ville de Paris poursuit activement son programme de végétalisation afin d'adapter son environnement urbain aux défis climatiques. À ce jour, 136,4 hectares de toitures et de murs ont été recouverts de végétation, avec un objectif d'atteindre 150 hectares d'ici 2026. Cette démarche vise à renforcer la présence du végétal dans l'espace urbain, améliorant ainsi le rafraîchissement naturel de la ville et la qualité de l'air (Ville de Paris, 2023). En parallèle, Paris accélère la transformation de ses rues en favorisant l'intégration de nouvelles voies végétalisées. Dès l'hiver 2024-2025, 120 nouvelles rues et places seront aménagées pour renforcer la résilience climatique et offrir davantage d'îlots de fraîcheur aux habitants (Ville de Paris, 2024). L'initiative s'étend également aux forêts urbaines, qui prennent une place croissante dans l'aménagement parisien. Parmi les projets emblématiques, la forêt urbaine de la place de Catalogne se distingue par la plantation de 470 arbres, contribuant à la diversification du couvert végétal et à la transformation d'un espace autrefois minéralisé en un véritable îlot de biodiversité (Ville de Paris, 2023).

**b. Actions Concrètes pour la Conservation de la Biodiversité**

La conservation de la biodiversité est au cœur des initiatives de la Trame Verte et Bleue (TVB) à Paris. En protégeant et en restaurant les habitats naturels, la ville assure la connectivité écologique entre les espaces verts dispersés, ce qui est primordial pour la survie des espèces locales et le maintien des services écosystémiques, tels que la pollinisation et la régulation climatique. D'ailleurs le 26 septembre 2016, la biodiversité a été officiellement proclamée citoyenne d'honneur de la ville de Paris (Perrotin,2023). Ce qui explique d'ailleurs l'intérêt du rôle des espaces verts dans les stratégies d'adaptations climatique **(Figure 23**).Chaurand et al. (2019) explore l'articulation entre la Trame Verte et Bleue (TVB) et la séquence Éviter-Réduire-Compenser (ERC) dans la préservation de la biodiversité en France. La TVB vise à maintenir les continuités écologiques, tandis que la séquence ERC impose aux projets d'aménagement d'atténuer leurs impacts sur l'environnement. Bien que ces deux dispositifs partagent des objectifs communs, leur intégration dans la planification territoriale est entravée par des contraintes juridiques, un manque de coordination et des ressources limitées.

Les auteurs soulignent la complémentarité de ces approches, la TVB pouvant guider les mesures d'évitement et de compensation, mais insistent sur la nécessité d'une gouvernance renforcée et d'une cohérence accrue pour une préservation efficace des écosystèmes.

L'intégration de la Trame Verte et Bleue (TVB) dans la planification territoriale s'inscrit ainsi dans une approche plus large de conservation de la biodiversité, où la connectivité écologique joue un rôle clé pour atténuer les effets de la fragmentation des habitats. En milieu urbain, notamment à Paris, cette démarche prend une dimension particulière face aux défis climatiques et à la pression croissante de l'urbanisation. Ces sous-trames interconnectées contribuent à limiter l'effet de fragmentation des habitats. Les réseaux écologiques de la TVB sont intégrés dans le tissu urbain parisien pour renforcer la résilience écologique de la ville face aux défis climatiques. En plus de soutenir la biodiversité, la TVB à Paris ne se limite pas à préserver les écosystèmes existants, mais ambitionne également de transformer la ville en un environnement plus durable et plus agréable à vivre. Elle s'inscrit dans les stratégies globales de la ville pour lutter contre les effets du changement climatique, promouvoir la biodiversité, et assurer un avenir résilient pour tous les Parisiens.

Des efforts sont déployés pour la restauration des continuités écologiques : France Nature Environnement Paris et France Nature Environnement Île-de-France ont réalisé ensemble une étude visant à mettre en évidence les continuités écologiques dans la ville de Paris ainsi que leurs discontinuités. Grâce à l'outil Carto végétation, l'analyse de la cartographie révèle une importante fragmentation entre les zones arborées, qui servent d'habitats pour les espèces volantes, d'où la nécessite d'identifier et d'éliminer ces sources de fragmentation afin de reconnecter les espaces naturels et restaurer une meilleure stabilité des écosystèmes urbains parisiens[9]. Paris a entrepris plusieurs projets pour relier les habitats fragmentés par l'urbanisation. La réhabilitation de la Petite Ceinture, qui sert désormais de corridor écologique, en est un exemple emblématique. Ce projet offre un refuge pour la faune et la flore tout en connectant les espaces verts existants, facilitant ainsi la migration et la reproduction des espèces.[10] [11] [12]

La **Figure 24** montre la répartition des habitats liés à la Trame Verte et Bleue dans la ville de Paris. La légende distingue deux types de sous-trames écologiques : la sous-trame arborée (en vert foncé) et la sous-trame herbacée (en vert clair). La sous-trame arborée représente les espaces verts composés principalement de massifs boisés et d'alignements d'arbres, tandis que la sous-trame herbacée correspond aux prairies, pelouses et autres espaces végétaux herbacés.

[9] FNE , LES ZONES À RENATURER À PARIS
Contribution au PLU – FNE Paris
https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ffne-paris.fr%2F2024%2F03%2F09%2Fles-zones-a-renaturer-a-paris%2F&psig=AOvVaw0y61S44DDKTEsdHIaFhKmz&ust=1729335508927000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=2ahUKEwivxfb24peJAxWAWUEAHZKOOLkQjB16BAgAEAg

[10] Mairie de Paris, https://www.paris.fr/

[11] Mairie de Paris centre, https://mairiepariscentre.paris.fr/pages/reunion-de-concertation-relative-au-projet-de-trame-verte-du-marais-20128

[12] Renforcement de la trame verte du Marais, https://mairiepariscentre.paris.fr/

Elle indique aussi que les espaces arborés se concentrent surtout dans les grandes zones comme le Bois de Boulogne à l'ouest et le Bois de Vincennes à l'est de Paris. Par ailleurs, de nombreux petits espaces verts herbacés parsèment la ville, répartis entre différents quartiers, contribuant ainsi à la connectivité écologique des habitats naturels. Les limites administratives de la ville sont également représentées, ce qui permet de visualiser clairement la répartition des différents types d'habitats dans le cadre urbain parisien. Cette répartition des espaces verts souligne l'importance des corridors écologiques pour la biodiversité et le rôle des habitats naturels dans la réduction de la fragmentation urbaine, facilitant ainsi les mouvements des espèces à travers la ville.

La **figure 25** illustre bien les corridors écologiques de la ville de Paris, représentés par les zones en bleu, qui permettent la connectivité entre les habitats naturels, notamment ceux de la sous-trame arborée et herbacée, en vert. Les zones rouges indiquent les espaces où des ruptures écologiques importantes sont identifiées, marquant une fragmentation de la trame verte. Ces discontinuités constituent des obstacles pour la libre circulation des espèces, compromettant ainsi la stabilité des écosystèmes. Il est essentiel de cibler ces zones pour restaurer la continuité écologique et renforcer la résilience des écosystèmes urbains.

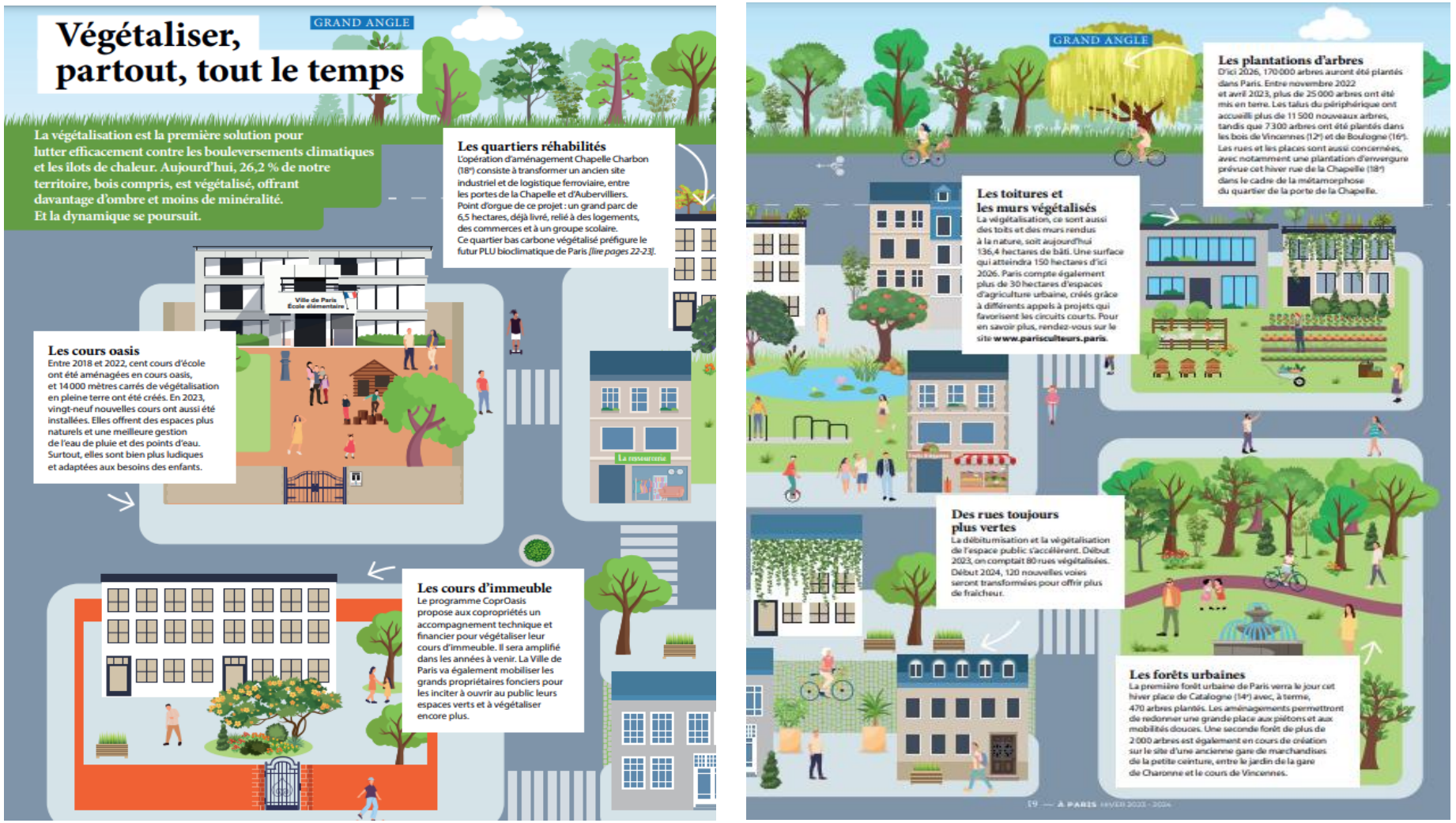



**Figure 23.**Les Stratégies d'adaptation climatique à Paris : Rôle des espaces verts.
Source: Ville de paris,2023 . https://cdn.paris.fr/paris/2023/12/05/a-paris-83-mag-46Bx.pdf

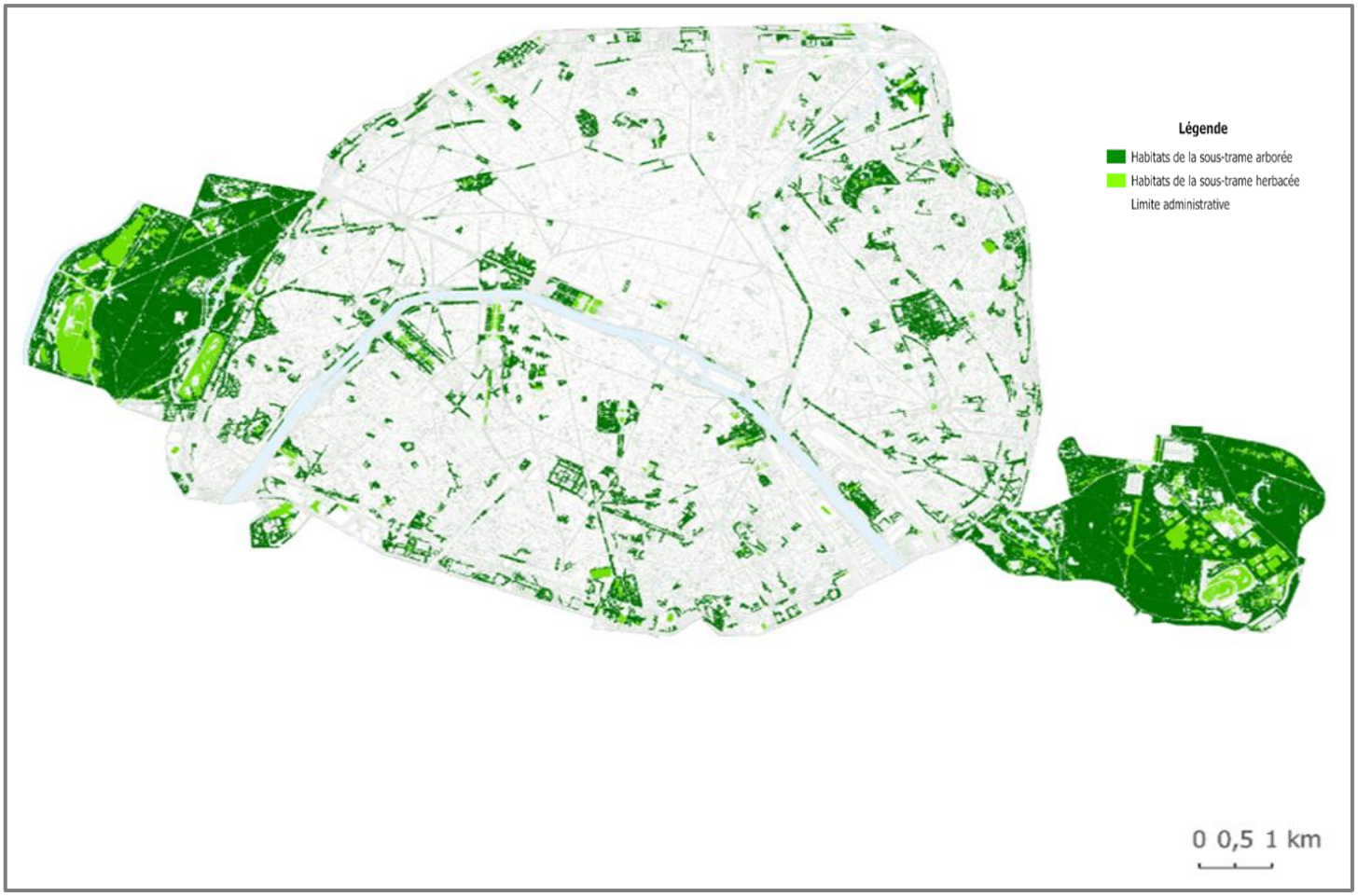



**Figure 24 .**La répartition des habitats liés à la TVB à Paris.
Source: https://fne-paris.fr/wp-content/uploads/2024/03/Screenshot-2024-03-09-at-07.40.43-2.png

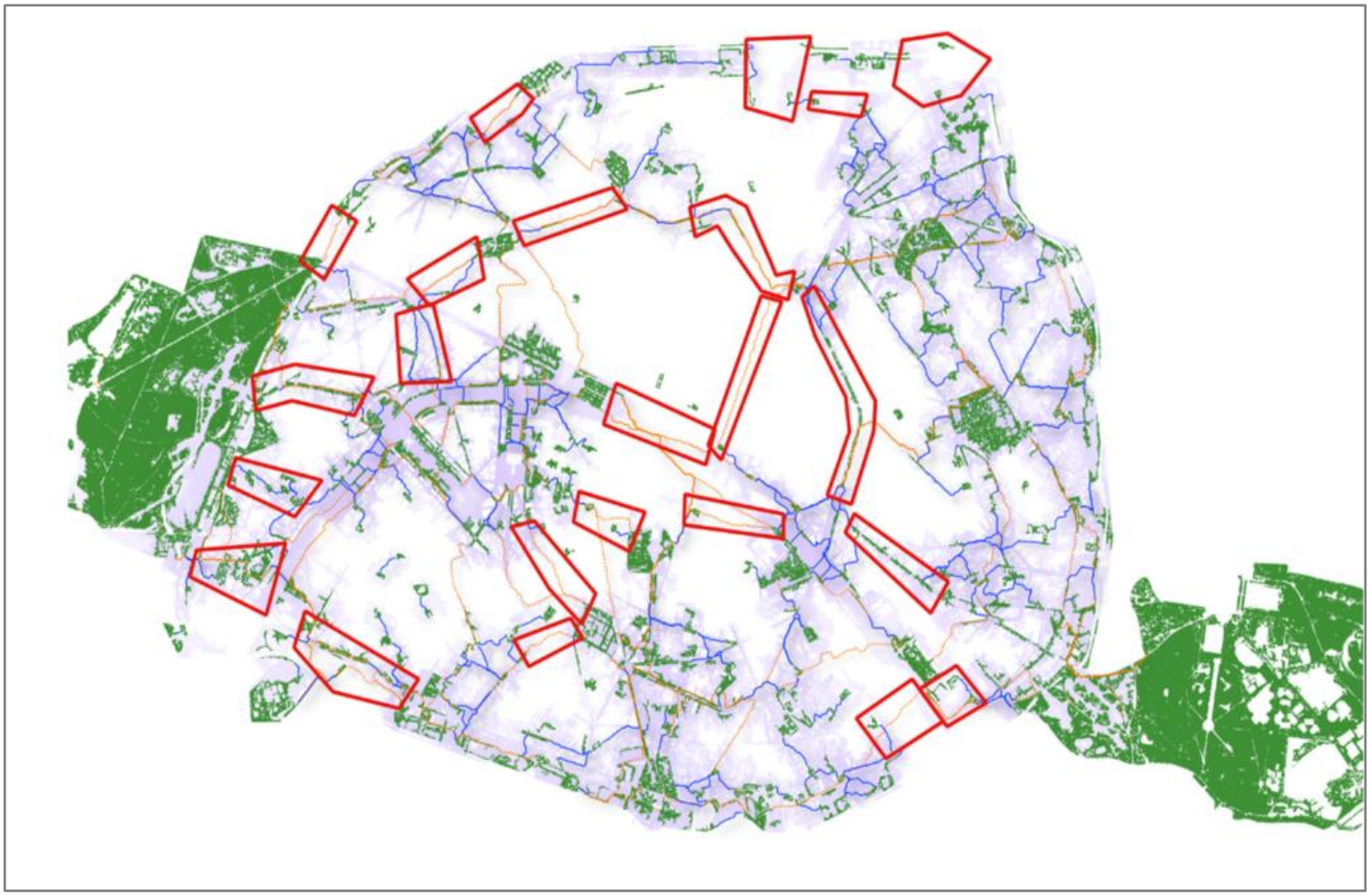


**Figure 25.** Les corridors écologiques de la ville de Paris
Source: https://fne-paris.fr/wp-content/uploads/2024/03/Screenshot-2024-03-09-at-07.40.43-2.png

Les zones à renaturer en priorité pour permettre une meilleure connectivité entre les différentes zones arborées d'habitat.

- **Création et Restauration de Corridors Écologiques**

Paris a entrepris plusieurs initiatives visant à créer et à restaurer les corridors écologiques pour rétablir les continuités entre les habitats fragmentés par l'urbanisation. Un exemple majeur est la réhabilitation de la Petite Ceinture. Ancienne voie ferroviaire circulaire de 32 km, la Petite Ceinture a longtemps été laissée à l'abandon avant d'être progressivement réhabilitée en un réseau de promenades écologiques et de zones naturelles protégées. Depuis 2006, un partenariat entre la Ville de Paris et la SNCF a permis d'ouvrir progressivement plusieurs sections au public, favorisant ainsi la cohabitation harmonieuse entre urbanisation et écosystèmes naturels. Ce projet ne se limite pas à offrir des espaces récréatifs aux habitants : il constitue également un levier majeur pour la biodiversité urbaine, en permettant aux espèces animales et végétales de circuler librement à travers la capitale. D'ici fin 2026, 4 kilomètres supplémentaires seront accessibles, ajoutant 7,6 hectares de nature au paysage urbain parisien.

Les sections déjà aménagées, telles que celle du 12e arrondissement, reliant la rue de Charenton à l'avenue de Saint-Mandé sur 1,67 km, offrent aux Parisiens des sentiers nature, des jardins partagés et des espaces de détente. Ces aménagements ont été pensés pour préserver la richesse écologique du site, en intégrant des mesures de protection de la faune et de la flore, notamment par l'interdiction des chiens afin d'éviter les perturbations des écosystèmes locaux. En redonnant une fonction écologique et sociale à cette infrastructure historique, la Ville de Paris illustre son engagement en faveur d'un urbanisme durable et résilient. Carrière et Méral (2008) insistent sur la nécessité de développer des corridors écologiques pour favoriser les interactions durables entre les espaces naturels et urbains. Par ailleurs, Rochard (2023) démontre que la participation citoyenne dans les projets de renaturation urbaine, comme observé dans le Grand Paris, joue un rôle clé dans la transition vers une ville écologique.

- **Programmes de Reforestation et Gestion Écologique**

La reforestation urbaine est une priorité pour la Ville de Paris, qui a mis en œuvre des programmes ambitieux de plantation d'arbres dans divers espaces publics, notamment les parcs, les écoles et les rues. Depuis 2019, près de 10 600 m² d'espaces verts ont été ajoutés, portant à 37,35 hectares les zones publiques végétalisées à Paris La Défense.[13] Des essences adaptées aux conditions locales, telles que les platanes et les érables, sont sélectionnées pour maximiser les bénéfices écologiques. Parallèlement, la gestion écologique des espaces verts est devenue une pratique courante dans la capitale. La quasi-totalité des jardins parisiens sont labellisés « EcoJardin », un label indépendant qui prévoit une gestion raisonnée de l'eau, un suivi minutieux des essences choisies et l'absence de produits phytosanitaires.[14] Des projets, tels que la création de forêts urbaines, visent à augmenter la couverture végétale de la ville tout en offrant aux citoyens des espaces verts accessibles.

Par exemple, la Place de la Catalogne a été transformée en une micro-forêt urbaine, contribuant ainsi à la lutte contre les îlots de chaleur et à l'amélioration de la qualité de vie en

[13]Paris la défense . La démarche Nature en ville de Paris La Défense. https://www.parisladefense.com/fr/engagement/nature-ville.

[14] Ville de Paris .La biodiversité déploie un peu plus ses ailes en ville. https://www.paris.fr/pages/la-biodiversite-deploie-un-peu-plus-ses-ailes-en-ville-17021#:~:text=Depuis%20quelques%20ann%C3%A9es%2C%20dans%20le,%C3%A9cologique%20de%20ses%20espaces%20verts.

milieu urbain.[15] En outre, la Ville de Paris a adopté un nouveau plan climat pour 2024-2030, visant à accélérer la transformation écologique de la capitale. Ce plan prévoit la création de 300 hectares d'espaces verts supplémentaires et l'installation de 120 fontaines brumisantes pour rafraîchir l'air ambiant.[16]

- **Protection des Zones Humides et des Rivières**

La protection des zones humides et des cours d'eau constitue une priorité essentielle pour la préservation de la biodiversité et l'amélioration de la résilience écologique dans les environnements urbains comme Paris. Parmi les initiatives phares, le projet de renaturation de la Bièvre (**Figure 26**), une rivière historiquement enterrée, en est un exemple emblématique. Ce projet, qui vise à restaurer progressivement cette rivière à ciel ouvert, est un effort significatif pour rétablir l'habitat naturel des espèces aquatiques et riveraines, tout en améliorant la gestion des eaux pluviales urbaines. Cette initiative s'inscrit dans une approche plus large de reconquête des espaces naturels, où la TVB joue un rôle clé dans la restauration des continuités écologiques et la réduction des effets de la fragmentation urbaine[17].

Les efforts de restauration écologique à Paris sont soutenus par des politiques ambitieuses, notamment le Plan Biodiversité 2025-2030, qui visent à protéger les milieux humides et à rétablir les écosystèmes naturels en réponse aux défis du changement climatique et à la pression exercée par l'urbanisation. Ces actions permettent de créer des habitats propices à la biodiversité tout en assurant des services écosystémiques décisifs comme la régulation du cycle de l'eau et la protection contre les inondations.[18] Ainsi, le projet de renaturation de la Bièvre est représentatif des efforts continus de la ville de Paris pour intégrer les fonctions écologiques dans son tissu urbain. En redonnant vie à ses cours d'eau et en reconnectant les espaces naturels, Paris réaffirme son engagement à devenir une métropole résiliente et durable, où la cohabitation entre l'urbanité et la nature est perçue comme un levier fondamental du bien-être des citoyens et de la préservation de la biodiversité.[19]

- **Gestion des Risques Naturels à Paris**

La TVB est intégrée dans les stratégies de gestion des risques naturels à Paris, réduisant la vulnérabilité de la ville aux inondations, aux canicules et à d'autres phénomènes extrêmes exacerbés par le changement climatique. Les espaces verts absorbent les eaux de pluie, réduisant le ruissellement et le risque d'inondations, tout en contribuant à la régulation

[15]Actu-Juridique ,(2024). Paris : les forêts urbaines, promesses et déconfiture. https://www.actu-juridique.fr/urbanisme-construction/paris-les-forets-urbaines-promesses-et-deconfiture/
[16]Ville de Paris ,(2024). Plus vite, plus local, plus juste » : le nouveau Plan Climat de Paris. https://www.paris.fr/pages/plus-vite-plus-local-plus-juste-le-nouveau-plan-climat-de-paris-25469#:~:text=Avec%20son%20nouveau%20Plan%20Climat,Op%C3%A9rationnel%20et%20concret
[17]Ville de Paris. (2023). Le Plan Biodiversité 2025-2030. https://www.paris.fr/pages/vos-idees-pour-la-biodiversite-24685.
[18]Ministère de la Transition écologique. (2024). Protection des milieux humides. https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/protection-milieux-humides.
[19] Ville de Paris. (2023). Bilan du Plan Biodiversité 2018-2024. https://cdn.paris.fr/paris/2023/09/13/bilan-plan-biodiversite-2018-2024-1FSV.pdf.

thermique urbaine[20].Cette approche proactive de gestion des risques naturels est essentielle pour renforcer la résilience des infrastructures urbaines et des communautés[21]

**Figure 26 .** le projet de renaturation de la Bièvre(Avant et après )
Source: https://static.actu.fr/uploads/2022/04/img-7918-960x640.jpg

- **Promotion d'une Mobilité Durable**

En intégrant des corridors écologiques le long des axes de transport, la TVB à Paris encourage des modes de déplacement doux, tels que la marche et le vélo. Cette stratégie vise à réduire la dépendance à l'automobile, diminuer les émissions de gaz à effet de serre, et promouvoir une mobilité urbaine plus durable[22] . Les corridors écologiques jouent un rôle clé en offrant des trajets sécurisés et agréables pour les piétons et les cyclistes, tout en contribuant à la continuité écologique et à la qualité de vie en milieu urbain. À Paris, plusieurs initiatives ont été entreprises pour en créer, notamment dans le cadre de la TVB. Ces derniers visent à relier les espaces verts existants et à renforcer les écosystèmes en milieu urbain, tout en améliorant l'accessibilité pour les habitants. L'objectif est d'atteindre 40% du territoire en surfaces perméables et végétalisées d'ici 2050, notamment à travers des projets de rues apaisées et végétalisées dans tous les arrondissements d'ici 2020 (APUR, 2005). Des initiatives telles que la transformation de la Petite Ceinture en une voie verte, ou encore la création de pistes cyclables le long des berges de la Seine, illustrent l'engagement de la ville de Paris pour une mobilité durable. Ces projets sont également soutenus par des politiques visant à encourager l'utilisation des transports publics et la réduction des espaces dédiés aux voitures dans les zones urbaines.

[20]Institut Paris Région. Restaurer les continuités écologiques en Île-de-France. 2019. Disponible à : https://www.institutparisregion.fr/nos-travaux/publications/restaurer-les-continuites-ecologiques-en-ile-de-france/.
[21]Préfecture de la région Île-de-France. (2013). Plans de Prévention des Risques. https://www.prefecturedepolice.interieur.gouv.fr/Outils/PPA/Plans-de-Prevention-des-Risques-Naturels.
[22]Agence Parisienne du Climat. (2023). Les Plans Climat et politiques climat-énergie. https://www.apc-paris.com/changement-climatique/climat-a-paris/les-plans-climat-et-politiques-climat-energie/

### 2.1.3. Défis de l'Urbanisation et de la Fragmentation Écologique

L'urbanisation croissante à Paris a entraîné une fragmentation significative des habitats naturels, compromettant la connectivité écologique et menaçant la biodiversité. Ce phénomène résulte principalement de l'artificialisation des sols, du développement des infrastructures de transport et de la densification urbaine, qui réduisent et isolent les espaces naturels. Cette fragmentation perturbe les dynamiques écosystémiques en limitant les déplacements des espèces et en restreignant leur capacité d'adaptation face aux pressions anthropiques et aux changements climatiques. Face à ces enjeux, la Trame Verte et Bleue (TVB) constitue un levier stratégique pour renforcer la continuité écologique et atténuer les effets de l'urbanisation sur les écosystèmes urbains. Elle permet, à travers une planification intégrée, de reconnecter les espaces végétalisés et d'améliorer la qualité du cadre de vie des citadins.

#### a. Conservation des Espaces Verts et Restauration Écologique

Dans un contexte où la pression foncière à Paris est particulièrement forte, la préservation et l'extension des espaces verts deviennent un enjeu majeur pour garantir un équilibre entre urbanisation et biodiversité (**Figure 27**). Pour répondre à ces défis, la ville déploie une série d'initiatives visant à protéger les zones végétalisées existantes tout en développant de nouveaux espaces verts. La mise en œuvre du Plan Biodiversité 2025-2030 prévoit ainsi d'atteindre 40 % de surfaces perméables et végétalisées d'ici 2050, en intégrant des mesures ambitieuses telles que la transformation d'espaces minéralisés en îlots de fraîcheur, la végétalisation des toitures et des façades, ainsi que l'aménagement de corridors écologiques favorisant la dispersion des espèces.

En parallèle, la restauration écologique des écosystèmes urbains représente une composante essentielle de la stratégie de résilience environnementale. Cette approche repose sur des interventions ciblées visant à réhabiliter les milieux naturels dégradés en utilisant des techniques de génie écologique et de gestion différenciée des espaces verts. L'objectif est de restaurer la fonctionnalité écologique des écosystèmes en améliorant la qualité des habitats, en augmentant leur capacité d'accueil pour la faune et la flore locales et en renforçant la résilience urbaine face aux stress environnementaux. Ces stratégies, bien qu'efficaces, nécessitent une gouvernance intégrée et une coordination entre les acteurs institutionnels, les experts en écologie urbaine et la société civile, afin d'assurer une gestion durable et cohérente du territoire.

À travers ces mesures, la TVB s'inscrit pleinement dans une logique de transition écologique, visant à repenser l'aménagement urbain en conciliant développement économique, bien-être des habitants et préservation du patrimoine naturel. Cette dynamique s'appuie sur une approche participative et interdisciplinaire, garantissant une gestion pérenne et adaptative des espaces naturels urbains.

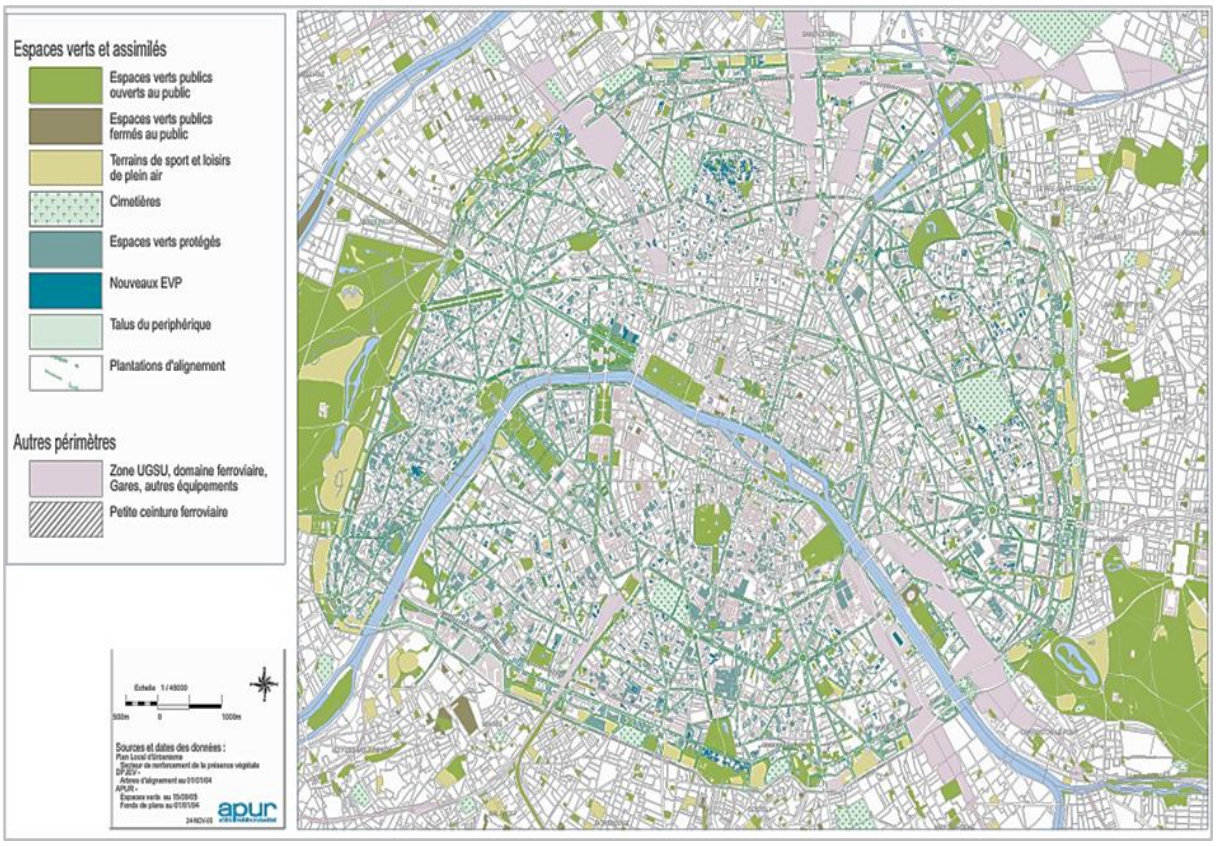



**Figure 27.** L'armature végétale de Paris. Source : APUR ,2005, http://www.apur.org

### b-Enjeux et Perspectives de TVB à Paris

La Trame Verte et Bleue (TVB) constitue un pilier stratégique du développement durable à Paris, en articulant trois objectifs majeurs : la préservation de la biodiversité, l'adaptation au changement climatique et la promotion d'un urbanisme résilient et écologique. En tant que modèle de planification environnementale, elle vise à réduire la fragmentation des habitats naturels, à renforcer la connectivité écologique et à optimiser les services écosystémiques en milieu urbain. Toutefois, sa mise en œuvre est confrontée à plusieurs enjeux majeurs. L'un des défis principaux réside dans la pression foncière et l'intensification urbaine, qui limitent l'extension et l'interconnexion des espaces verts. La compétition entre les usages du sol, notamment entre le développement immobilier et la conservation des milieux naturels, complexifie la planification écologique.

Par ailleurs, la fragmentation des écosystèmes urbains, induite par l'artificialisation croissante des sols, constitue un obstacle majeur à la continuité écologique et à la mobilité des espèces. Un autre enjeu fondamental est lié à la gestion et la pérennisation des infrastructures vertes. Le maintien de la biodiversité en ville nécessite une approche intégrée, combinant une gestion durable des espaces végétalisés et des modes de gouvernance adaptés, impliquant à la fois les acteurs institutionnels, les collectivités et les citoyens. Le financement et l'entretien des corridors écologiques demeurent également une problématique clé, notamment en raison des coûts d'aménagement et de gestion à long terme.

En parallèle, la résilience climatique de la ville dépend largement de la capacité de la TVB à atténuer les effets des îlots de chaleur urbains et à favoriser l'adaptation aux événements climatiques extrêmes. L'intégration des infrastructures vertes dans les politiques de résilience urbaine est donc un enjeu crucial pour améliorer la qualité de l'air, réduire les températures et optimiser la gestion des eaux pluviales.

Face à ces défis, les perspectives d'évolution de la TVB parisienne reposent sur une approche holistique, visant à renforcer la synergie entre urbanisme, écologie et participation citoyenne. L'optimisation des corridors écologiques, le développement de nouvelles formes de végétalisation urbaine (toitures végétalisées, forêts urbaines) et la mise en place d'outils de planification réglementaire (comme le Plan Local d'Urbanisme bioclimatique) sont autant de leviers pour assurer la pérennité de cette stratégie. La TVB parisienne s'inscrit ainsi dans une vision durable et inclusive, garantissant à la fois la préservation des écosystèmes et l'amélioration du cadre de vie des habitants.

### c-Cadre Politique et Législatif

Le déploiement de la TVB repose sur un cadre politique et législatif structurant qui intègre la protection de la biodiversité dans les politiques d'urbanisme et de développement territorial. Les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) et les stratégies de biodiversité, notamment le Plan Biodiversité 2025-2030, jouent un rôle essentiel dans l'intégration des espaces verts et des corridors écologiques au sein des projets urbains. . Le SRCE[23] de 2013 constitue un document clé qui veille à la mise en place des trames vertes et bleues en Île-de-France. Il a pour principal objectif la préservation et la restauration des continuités écologiques en tenant compte des spécificités territoriales. Ce document s'articule autour de trois axes majeurs : l'identification des composantes de la TVB, la définition des enjeux régionaux de conservation et la mise en œuvre d'outils de gestion adaptés.

En complément, la Loi n° 2016-1087 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages renforce l'intégration des trames vertes et bleues dans les politiques locales et impose leur prise en compte dans les documents d'urbanisme. Cette approche réglementaire permet de garantir une planification cohérente et durable, alignée sur les engagements nationaux et internationaux en matière de protection des écosystèmes. L'intégration des principes de la TVB dans les stratégies d'aménagement constitue ainsi un levier essentiel pour concilier développement urbain et préservation de la nature. En renforçant le cadre législatif et en assurant un suivi rigoureux des initiatives, Paris peut poursuivre sa transition écologique en garantissant la continuité et la fonctionnalité des réseaux écologiques.

### d-Collaboration et Initiatives

La mise en œuvre réussie de la TVB nécessite une coopération étroite entre divers acteurs institutionnels et sociaux, notamment les municipalités, les organisations non gouvernementales (ONG), les entreprises privées et les citoyens. La collaboration entre ces acteurs est essentielle pour renforcer l'efficacité des initiatives de conservation et pour favoriser la diffusion d'une culture environnementale à tous les niveaux de la société. En mobilisant les communautés locales autour de projets de sensibilisation, de conservation et de gestion des espaces verts, la participation

[23] SRCE,(2013). https://www.arb-idf.fr/article/schema-regional-de-coherence-ecologique-1/

citoyenne devient un élément clé dans la réussite des projets liés à la TVB. Paris cultures par exemple est une initiative qui vise à développer des zones vertes urbaines dans Paris et à impliquer les citoyens, entreprises et municipalités dans un projet collectif de végétalisation[24] [25]. De plus, la TVB s'appuie sur des partenariats multi-sectoriels qui facilitent la mise en œuvre de mesures adaptées aux défis écologiques urbains. En favorisant la coopération interdisciplinaire, ces partenariats renforcent la capacité des villes à répondre aux besoins complexes de la préservation de la biodiversité tout en promouvant un urbanisme durable et inclusif. Ces initiatives collaboratives témoignent d'une volonté croissante d'intégrer les préoccupations écologiques dans les politiques publiques, tout en stimulant l'engagement de tous les secteurs de la société pour une gestion durable des ressources naturelles.

**En guise de conclusion la** TVB de Paris est une initiative centrale dans la transformation de la ville vers un modèle de développement plus durable, où l'urbanisation s'accorde avec la protection de l'environnement. Ce projet reflète un engagement profond de la ville à préserver non seulement son riche patrimoine culturel et historique, mais aussi à renforcer sa biodiversité et à se préparer aux défis environnementaux à venir. En reliant les besoins écologiques à la croissance urbaine, la TVB devient un outil indispensable pour concilier l'expansion de Paris avec la conservation de la nature, tout en améliorant la qualité de vie de ses habitants. Les actions comme la création de corridors écologiques, la restauration des zones humides, et la promotion de modes de transport durables illustrent l'ambition de Paris de devenir une ville plus résiliente et respectueuse de l'environnement. Cependant, il est essentiel de continuer à renforcer ces efforts pour faire face à l'urbanisation rapide et aux menaces écologiques futures. Le succès de la TVB dépendra de la coopération entre tous les acteurs concernés et de l'adoption de politiques solides qui intègrent l'écologie dans chaque aspect de la planification urbaine. En poursuivant cette voie, Paris ne se contentera pas de protéger son environnement naturel, mais deviendra aussi un exemple inspirant de développement durable pour d'autres grandes villes. Elle représente ainsi une vision d'avenir où la nature et la ville cohabitent harmonieusement, offrant un cadre de vie sain et durable pour les générations à venir.

## 2.2. Intégration des trames vertes dans la Planification Urbaine de Marseille : Vers une Ville Durable

Marseille, une ville riche en diversité culturelle et naturelle, se trouve à un moment important de son développement urbain. Face aux défis posés par l'urbanisation rapide et les pressions environnementales croissantes, la ville a adopté une stratégie globale pour intégrer les trames vertes dans sa planification urbaine. Cette partie explore comment Marseille utilise les trames vertes non seulement comme des outils de préservation de l'environnement, mais aussi comme des éléments essentiels pour améliorer la qualité de vie urbaine et promouvoir un développement durable. Cette initiative répond à une nécessité de plus en plus pressante de créer des villes résilientes qui peuvent s'adapter et prospérer face aux changements climatiques et aux

[24]Ville de Paris , Agriculture urbaine : les douze « Parisculteurs ». https://www.paris.fr/
[25]Réseau Nature Parif. https://www.lesentreprisesdupaysage.fr/tout-savoir-sur-les-bienfaits-du-vegetal/biodiversite/observer-la-nature-et-la-biodiversite-avec-natureparif/

Attentes sociales en évolution. Les trames vertes à Marseille ne sont pas seulement envisagées comme des solutions à des problèmes écologiques, mais également comme des catalyseurs pour le développement économique et social, offrant des espaces pour la récréation, la détente et la biodiversité en milieu urbain. En intégrant ces espaces verts dans le tissu même dans la planification urbaine, Marseille vise à établir un équilibre entre croissance et conservation, où la nature et l'urbanité coexistent de manière harmonieuse, d'ailleurs dans le processus d'élaboration du document PLU , ont été intégré des réflexions relatives aux continuités écologiques et à la place de la nature en ville à l'échelle du territoire Marseillais[26]. Cette partie détaillera les politiques, les projets et les partenariats qui façonnent l'intégration des trames vertes dans l'urbanisme marseillais, en mettant en lumière les succès obtenus et les défis à relever. À travers des études de cas et des analyses de projets spécifiques, nous examinerons comment ces initiatives vertes contribuent à faire de Marseille un modèle de durabilité urbaine, soulignant les leçons apprises et les pratiques exemplaires qui pourraient inspirer d'autres villes à travers le monde.

### 2.2.1. Présentation du contexte Marseillais

- **Un Carrefour de l'Histoire, Vitrine Culturelle et Écrin de Biodiversité**

Marseille, la plus ancienne ville de France, fondée sous le nom de Massalia par des colons grecs au VIe siècle avant J.-C., est située sur le golfe du Lion, à l'ouest de la Côte d'Azur (**Figure 28**). Avec une population de 839 043 habitants dans la ville et 1 418 481 dans son aire métropolitaine, elle est l'un des principaux ports maritimes de la Méditerranée et la deuxième plus grande ville de France[27]. Annexée par les Romains en 49 av. J.-C., elle a traversé diverses périodes de prospérité et de déclin, notamment lors de la chute de l'Empire romain et de la peste de 1720. Elle a ensuite retrouvé son importance à l'époque des croisades et, au XIXe siècle, grâce à l'expansion de l'empire colonial français. Aujourd'hui, Marseille conjugue son riche patrimoine historique avec une diversité culturelle vibrante, tout en étant un carrefour de l'histoire et un écrin de biodiversité.

Le patrimoine culturel de Marseille est incarné par des institutions de renommée internationale, telles que le Musée des Civilisations de l'Europe et de la Méditerranée (MuCEM) (**Figure 29**.), qui célèbre la diversité et l'héritage de la civilisation méditerranéenne[28]. Cet engagement envers la culture se reflète également dans des événements phares comme le Festival de Marseille, qui met en lumière la créativité artistique locale et internationale et témoigne de l'ouverture culturelle de la ville[29].

[26]LA TRAME VERTE ET BLEUE DANS LE PLU DE MARSEILLE . https://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/20_Fiche16_TrameVertePLUMarseille_032016.pdf

[27]Buss, R., Caron, R., Tuppen, J. N., & Ehrlich, B. (2024, October 11). Marseille. Encyclopedia Britannica. https://www.britannica.com/place/Marseille

[28]Mucem, projet scientifique et culturel. du MuCEM. https://www.mucem.org/sites/default/files/2017-04/psc_mucem_2013.pdf

[29] Matteï, G. (2016.). Public(s), pratiques culturelles et espace(s) public(s) : La place des festivals dans l'évènement Marseille-Provence Capitale européenne de la culture. Public(s). https://publics.hypotheses.org/547

**Figure 28.** Plan de situation de Marseille .Source. https://fr.mappy.com/plan/13000-marseille

**Figure.29**.Le Mucem , patrimoine culturel .Source https://www.marseille-tourisme.com/decouvrez-marseille/culture-et-patrimoine/musees/mucem/

Sur le plan urbain, le projet Euro-Méditerranéen est l'une des initiatives de rénovation urbaine les plus ambitieuses d'Europe, intégrant modernité et préservation du patrimoine. Ce projet vise à revitaliser des quartiers historiques clés comme le Vieux-Port, tout en veillant à ce que l'héritage de la ville ne soit pas sacrifié au profit de la croissance. En matière de biodiversité, le Parc National des Calanques se distingue comme un exemple remarquable de la richesse écologique de Marseille. Ce parc offre un paysage unique où les montagnes côtoient la mer, abritant une grande diversité de faune et de flore dans un environnement naturel préservé[30] .

[30]DIAGNOSTIC ET ENJEUX, https://www.calanques-parcnational.fr/sites/calanques-parcnational.fr/files/atoms/files/pncalanques-plandepaysage-oct2016_2.pdf

La ville s'est également engagée dans la mise en œuvre de la Trame Verte et Bleue, un réseau de corridors écologiques conçu pour relier les espaces naturels à travers le tissu urbain. Cette initiative est essentielle pour favoriser une coexistence durable entre les espaces développés et naturels, en assurant la protection de la biodiversité tout en améliorant la qualité de vie des citoyens[31]. Marseille illustre donc comment l'histoire, la culture, l'innovation urbaine et la conservation environnementale peuvent coexister et enrichir la vie urbaine. La ville se présente non seulement comme une destination captivante, mais également comme un modèle de développement urbain et environnemental.

**Figure 30.**Vue sur Marseille ,la doyenne des villes françaises.
Source : https://www.marseille.fr/sites/default/files/styles/768x529/public/02-01-decouvrir-histoire-de-marseille.jpg?itok=Nszf7BV5

- **Étude Démographique de Marseille**

**-Population et Croissance :** Marseille, la deuxième plus grande ville de France, a connu une croissance démographique notable entre 2010 et 2020, avec une augmentation de 50 000 résidents, passant de 850 000 à environ 900 000 habitants. Cette hausse est principalement due à un solde migratoire positif, soutenu par les opportunités économiques et la diversité culturelle de la ville. Un taux de natalité relativement élevé a également joué un rôle dans cette dynamique. La distribution des âges en 2020 montre une population bien répartie : 22 % de moins de 20 ans, 29 % entre 20 et 39 ans, 28 % entre 40 et 59 ans, et 21 % de 60 ans et plus. Il y a également une légère majorité de femmes, représentant 51 % de la population contre 49 % d'hommes[32]. Cette croissance rapide pose des défis significatifs pour l'urbanisme et la gestion des services, nécessitant des politiques publiques innovantes pour un développement urbain durable. Elle crée des opportunités pour renforcer le développement économique, social et culturel. Les autorités

[31]Sud volume critique ,(s.d). La trame verte et bleue marseillaise : Identifier les différentes natures urbaines pour en organiser la préservation et la valorisation. Revue Marseille. https://revue.marseille.archi.fr/la-trame-verte-et-bleue-marseillaise/

[32] INSEE,2020. Évolution et structure de la population en 2020 , Commune de Marseille 8e Arrondissement (13208) . https://www.insee.fr/fr/statistiques/7633058?geo=COM-13208

locales ont adopté des stratégies de planification anticipative, telles que le renforcement des espaces verts, essentiels pour un développement urbain durable. Les initiatives pour végétaliser les espaces publics et créer de nouveaux parcs urbains démontrent un engagement fort envers l'amélioration de la qualité de vie et la conservation de l'environnement .

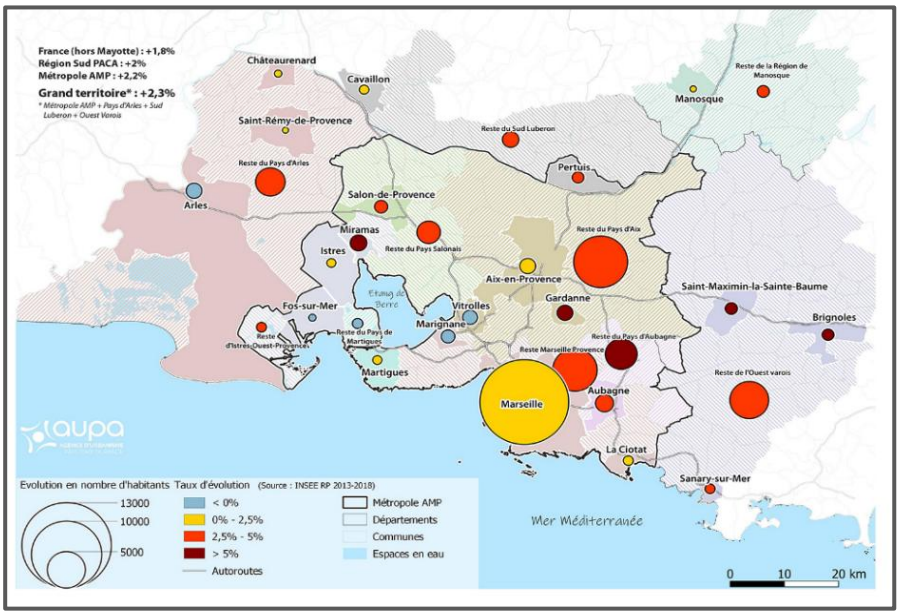



**Figure.31.**La croissance démographique 2013-2018 .Source: https://aupa.fr/wp-content/uploads/2021/02/carte-aupa-zoom-demographie.jpg

**-Marseille et Évolution : De l'Antiquité à la Modernité**

Fondée au VIe siècle av. J.-C. par des colons grecs originaires de Phocée, Marseille, alors nommée Massalia, s'est rapidement imposée comme une des principales cités grecques de la Méditerranée occidentale. Sa position stratégique sur le Vieux-Port, dans la calanque du Lacydon, a permis à la ville de devenir un carrefour important pour les échanges commerciaux et culturels. Le port antique, situé sur ce site, a été un lieu de convergence pour les civilisations grecque, gauloise et romaine, favorisant la prospérité de la ville[33] .Avant même l'arrivée des Phocéens, la région était habitée depuis la préhistoire, comme l'attestent les découvertes archéologiques de sites protohistoriques dans les environs de Marseille, soulignant l'importance géographique de la région dès les temps anciens[34].

[33]Ville de Marseille. (2019). Ici commence notre histoire, inauguration du port antique requalifié, Jeudi 26 septembre 2019 Musée d'histoire de Marseille. https://www.marseille.fr/epresse/documents/thesaurus/documents/37949/DP-port_antique.pdf

[34]Ville de Marseille. (2022). Aux origines de Marseille : Les temps préhistoriques et protohistoriques. https://www.marseille.fr/sites/default/files/contenu/Revue-Marseille/rm272_interieur_11-05-22_hd1_compressed.pdf

Durant l'Antiquité tardive, elle a progressivement intégré des infrastructures défensives. Au Moyen Âge, la ville s'est agrandie et a renforcé ses capacités défensives avec la construction de l'Abbaye Saint-Victor au Ve siècle, suivie par des fortifications tout au long des siècles. Ces aménagements ont été essentiels pour la protéger des invasions et ont consolidé son rôle de plaque tournante du commerce méditerranéen. Les recherches archéologiques récentes, notamment sur le site de la Major, ont révélé des éléments importants de la morphologie urbaine et de l'expansion de la ville médiévale ( Bouiron et al., 2011). Avec la Révolution industrielle au XIXe siècle, Marseille a connu une transformation majeure, le développement industriel a favorisé l'émergence de nouveaux quartiers, comme celui de la Joliette, et la modernisation des infrastructures.

Le Canal de Marseille, construit pour faciliter l'approvisionnement en eau potable, a joué un rôle déterminant dans cette expansion urbaine et a permis à Marseille de renforcer sa position en tant que carrefour commercial et industriel. La construction du Palais Longchamp en 1869, marquant l'arrivée de l'eau du canal, symbolise l'importance de cette période dans l'évolution de la ville. Aujourd'hui, Marseille continue de se réinventer en intégrant des technologies modernes tout en préservant son riche patrimoine historique. Des initiatives de développement durable, telles que la requalification des espaces portuaires et des quartiers historiques, témoignent de la capacité de la ville à évoluer tout en respectant son passé. L'importance du patrimoine archéologique, notamment les fouilles menées sur le site du Port Antique et des infrastructures modernes, souligne l'importance de Marseille en tant que carrefour entre tradition et modernité.

- **Diversité Architecturale versus Fracture Sociale**

La diversité architecturale de Marseille, particulièrement visible dans ses quartiers nord, reflète l'histoire millénaire de la ville. Toutefois, cette richesse architecturale s'accompagne d'une fracture sociale profonde. Les quartiers du sud, plus prospères, bénéficient d'infrastructures modernes et d'un aménagement urbain cohérent, tandis que les quartiers du nord, qui représentent environ un tiers de la superficie totale de la ville avec 75 km², souffrent d'une fragmentation urbaine marquée et d'une précarité architecturale notable. Les 15e et 16e arrondissements, par exemple, comptent environ 25 % de logements jugés insalubres ou indignes, ce qui contribue à marginaliser davantage les populations qui y résident[35]. Situés en périphérie, les quartiers nord sont éloignés du centre-ville et manquent de cohérence urbaine.

Le développement y est souvent désorganisé, combinant des zones résidentielles et des espaces économiques, sans véritable stratégie de planification cohérente. Les infrastructures publiques et les services sociaux, tels que les écoles, les équipements de santé et les espaces verts, sont insuffisants, accentuant l'isolement de ces territoires et rendant difficile l'amélioration des conditions de vie des habitants. Les fractures sociales sont particulièrement marquées entre les quartiers nord de la ville. Alors que les quartiers sud affichent des niveaux de vie plus élevés, les quartiers nord concentrent une grande partie des populations les plus précaires. Les taux de pauvreté y sont très élevés, atteignant parfois plus de 50 %, contre environ 18 % dans les zones plus favorisées. Ce fossé se manifeste également dans l'accès aux services éducatifs et sanitaires.

[35]ORS .(PACA). (2021). Diagnostic des arrondissements nord de Marseille. http://www.orspaca.org/sites/default/files/Diagnostic_Arrondissements_Nord_Marseille_2021_ORS_PACA_version_longue.pdf

Les jeunes des quartiers nord font face à un déficit important de ressources éducatives, ce qui limite leurs perspectives professionnelles. Le chômage, particulièrement élevé chez les jeunes, accentue les tensions sociales et renforce la marginalisation de ces quartiers. Les problèmes environnementaux viennent aggraver cette situation. En raison de la proximité des zones industrielles et des infrastructures de transport, les habitants des quartiers nord sont exposés à une pollution atmosphérique et sonore accrue, avec des répercussions directes sur leur santé. Les maladies chroniques, telles que l'asthme et les maladies cardiovasculaires, sont plus fréquentes dans ces zones, tandis que l'accès aux soins reste limité en raison du manque de professionnels de santé locaux (Fédération nationale des agences d'urbanisme,2016).

Malgré ces défis, des initiatives ont été lancées pour tenter de redresser la situation. Des projets de réhabilitation urbaine, de développement des espaces publics et de promotion de la mixité sociale visent à réduire les inégalités et à améliorer la qualité de vie dans les quartiers nord. Toutefois, ces efforts sont souvent freinés par des obstacles économiques et structurels. La tendance à développer des résidences fermées dans les quartiers plus aisés renforce la ségrégation spatiale et sociale, limitant l'impact des politiques de revitalisation sur le long terme. Marseille est une ville marquée par de profondes disparités architecturales et sociales. Si la diversité de son patrimoine architectural est une richesse, elle révèle aussi des fractures sociales considérables, en particulier dans les quartiers nord. Ces zones continuent de subir les effets d'une marginalisation sociale et économique, aggravée par un aménagement urbain fragmenté et des conditions de vie précaires. Des initiatives de revitalisation sont en cours, mais elles nécessitent une action coordonnée et soutenue pour garantir une véritable équité territoriale et sociale dans l'ensemble de la ville.

- **Impact de la Croissance Démographique sur les TVB**

L'augmentation rapide de la population à Marseille exerce une pression croissante sur les trames vertes. En effet, la fragmentation des espaces verts, causée par l'expansion urbaine, diminue la connectivité écologique nécessaire au maintien de la faune et de la flore locales, exacerbant les effets des îlots de chaleur urbains et la dégradation des écosystèmes (Ville de Marseille, 2020). Dans ce contexte, elle a développé plusieurs stratégies pour répondre aux enjeux liés à la préservation de la biodiversité et à l'adaptation aux changements climatiques, notamment à travers le Plan Vert de Marseille 2022. Ce plan, articulé autour de la création et de la conservation des espaces verts, vise à renforcer la résilience urbaine en augmentant la surface des zones piétonnes, en intégrant des corridors écologiques, et en réduisant la pollution atmosphérique. Par ailleurs, il encourage la participation citoyenne à la gestion de ces espaces, contribuant ainsi à la qualité de vie urbaine (Ville de Marseille, 2021).

L'expansion urbaine de Marseille exerce une pression considérable sur les trames vertes, comme l'illustre la répartition des espaces végétalisés et des milieux naturels dans le tissu urbain **(Figure 32**). La fragmentation des habitats naturels, amplifiée par la densification urbaine et l'artificialisation des sols, limite la connectivité écologique et menace la pérennité des services écosystémiques. La figure met en évidence une forte concentration du bâti dans le centre et les zones périurbaines, où les espaces verts se raréfient, entraînant une perte de corridors écologiques essentiels à la circulation des espèces et à la régulation des îlots de chaleur urbains. Face à ces enjeux, la planification urbaine intègre des stratégies de conservation, visant à restaurer la

continuité écologique et à optimiser l'accès aux espaces végétalisés dans un contexte de pression démographique croissante.

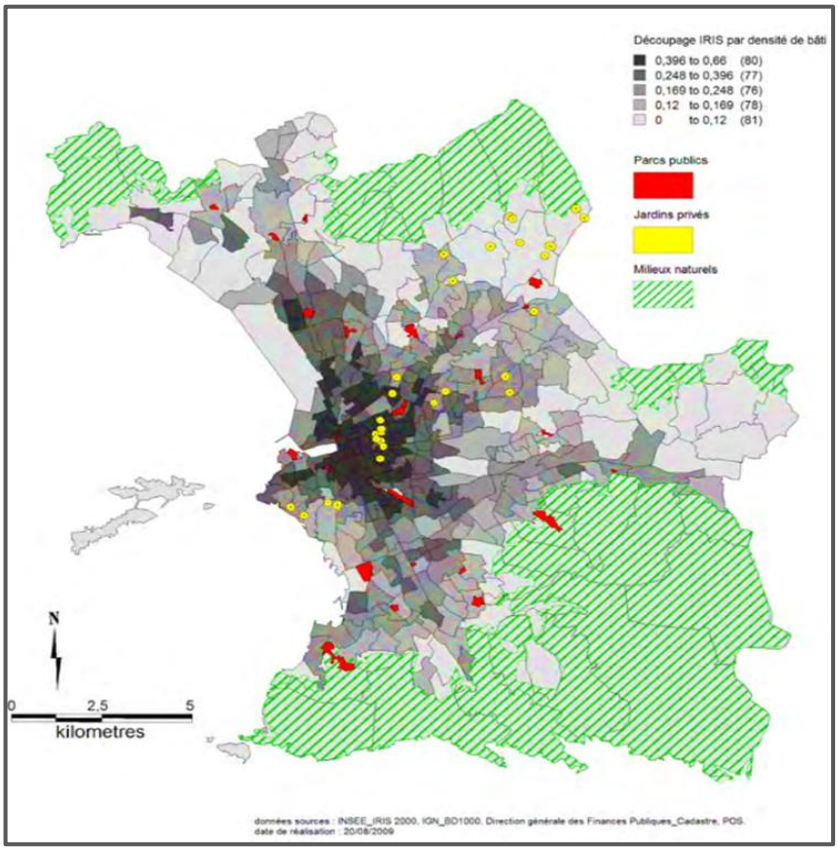



**Figure 32.** Rapport Densité du bâti et espaces verts vert.
Source : https://revue.marseille.archi.fr/wp-content/uploads/2022/05/ill3.png

L'une des réponses aux défis démographiques et environnementaux réside dans le développement des trames vertes et bleues, des infrastructures écologiques qui permettent de relier les espaces naturels, favorisant ainsi la mobilité des espèces et la préservation de la biodiversité[36]. Ces trames permettent également de lutter contre la fragmentation des habitats et d'améliorer les services écosystémiques, cela inclut des mesures concrètes, telles que l'augmentation des zones piétonnes et la réduction de la pollution atmosphérique, créant ainsi des habitats favorables pour la faune et la flore locales, tout en améliorant le cadre de vie des résidents (Ville de Marseille, 2014). Enfin, la ville s'engage dans des initiatives telles que le programme Nature for City Life, qui s'inscrit dans une démarche intégrée de développement durable, visant à renforcer l'intégration de la nature en milieu urbain pour améliorer à la fois la biodiversité et le bien-être des habitants.

[36]Département des Bouches-du-Rhône. (2021). Biodiversité de Provence : Une richesse insoupçonnée. https://www.departement13.fr/fileadmin/user_upload/documents/LIVRET-BIODIVERSITE-2021_web.pdf

### 2.2.2. Enjeux Écologiques de l'Urbanisation Fragmentée

L'urbanisation rapide et souvent non planifiée de Marseille a engendré des impacts environnementaux notables, en particulier la fragmentation des écosystèmes locaux. Cette dernière, en morcelant les habitats naturels, compromet la capacité des zones vertes à assurer des services écosystémiques Les espaces naturels périurbains, comme les massifs calcaires et les zones littorales aux abords de la ville, sont particulièrement vulnérables à cette fragmentation. Par exemple, les zones littorales, bien que protégées dans des sites emblématiques comme le Parc national des Calanques, subissent une pression anthropique croissante due aux activités humaines intensives. Ces pressions réduisent la capacité des écosystèmes à se régénérer et à maintenir une diversité végétale et animale résiliente, ce qui aggrave leur fragilité écologique (Lombard et al., 2015).

La densification urbaine, illustrée par la forte concentration du bâti dans le centre-ville **(Figure 33**), accentue la perte de continuité écologique et limite l'intégration des infrastructures vertes dans la planification urbaine. Parallèlement, l'étalement urbain massif, observable dans les périphéries marseillaises, entraîne une consommation croissante des espaces naturels au profit du développement urbain (**Figure 34**). Cette double dynamique de concentration et d'expansion urbaine non maîtrisée souligne l'ampleur des défis posés à la ville en matière d'aménagement durable.

**Figure 33.**Centre urbain dense.
Source :https://revue.marseille.archi.fr/wp-content/uploads/2022/05/ill8a.pn

**Figure 34.**importance de la tache urbaine Marseillaise.
Source:https://revue.marseille.archi.fr/wp-content/uploads/2022/05/ill7.png

Face à ces pressions, Marseille a progressivement intégré les trames vertes et bleues dans sa stratégie d'urbanisme afin de limiter les effets de la fragmentation écologique et d'accroître la résilience environnementale. Ces corridors écologiques, conçus pour connecter les espaces verts et les cours d'eau, jouent un rôle clé dans le maintien de la biodiversité et l'atténuation des impacts du changement climatique. Cependant, malgré ces efforts, l'urbanisation non régulée et l'étalement urbain continuent d'entraver la mise en œuvre efficace de ces initiatives. L'expansion excessive des zones périphériques de la ville, sans considération suffisante pour la planification écologique, contribue à aggraver la fragmentation des habitats naturels. La consommation foncière excessive, observée particulièrement dans ces zones, limite la viabilité des corridors écologiques, freinant ainsi les efforts de préservation des écosystèmes locaux. De ce fait, ces défis écologiques imposent une révision des politiques d'aménagement urbain de Marseille. La ville doit mieux intégrer les dimensions écologiques dans ses stratégies de développement pour concilier croissance urbaine et préservation des écosystèmes. Ces efforts sont d'autant plus importants à l'heure où Marseille fait face aux pressions croissantes du changement climatique et des besoins démographiques.

Dans cette optique, la planification stratégique spatialisée s'avère être un outil essentiel pour structurer le développement urbain de manière durable. Comme le soulignent Serrano et al. (2014), une approche intercommunale et coordonnée de l'aménagement du territoire permet de mieux anticiper les dynamiques d'expansion urbaine et de préserver les continuités écologiques. En intégrant les TVB dans les documents de planification territoriale, Marseille cherche ainsi à concilier croissance urbaine et préservation de son patrimoine naturel, en s'appuyant sur des infrastructures vertes capables de renforcer la résilience écologique de la ville et d'améliorer la qualité de vie des habitants.

- **Morcellement Spatial et Urbanisme Libéral**

Le morcellement spatial de Marseille est une conséquence directe de l'urbanisme libéral, qui a favorisé la privatisation croissante des espaces urbains et a souvent mis de côté les objectifs de cohésion sociale. Ce phénomène s'observe particulièrement dans les périphéries de la ville, où le nombre d'ensembles résidentiels fermés a proliféré au cours des dernières décennies. En effet, plus de 1000 enclaves résidentielles ont été recensées, créant des poches d'exclusion dans le tissu urbain marseillais et accentuant ainsi la ségrégation socio-spatiale montée d'un discours sécuritaire. La demande de sécurité a encouragé la fermeture de ces espaces, souvent destinés à des populations privilégiées, qui se coupent progressivement du reste de la ville. Ce processus de privatisation des espaces urbains, soutenu par des politiques d'urbanisme libéral, renforce la séparation entre les différentes couches sociales, réduisant ainsi les interactions et limitant la mixité dans les quartiers. (Dorier et Dario, 2018). Par ailleurs, le rôle des promoteurs immobiliers, motivés par des logiques de rentabilité, a accentué cette dynamique. Ces promoteurs ont largement privilégié la création de zones résidentielles fermées à forte valeur ajoutée, souvent déconnectées des infrastructures et des services publics essentiels, contribuant ainsi à l'étalement urbain. Cet étalement, souvent mal contrôlé par les politiques publiques, s'est traduit par une surconsommation foncière en périphérie, aggravant les disparités sociales et l'isolement de certaines communautés (Dorier, Berry-Chikhaoui, & Bridier, 2012). Le morcellement spatial de la ville se manifeste également dans l'accès inégal aux infrastructures et aux services. Les quartiers périphériques, où ces résidences fermées se multiplient, souffrent d'un manque d'accès aux écoles, aux hôpitaux, et aux commerces. En conséquence, ils sont souvent mal desservis par les transports publics, se retrouvent marginalisés, aggravant les inégalités sociales. Ce phénomène crée une ville à deux vitesses, où certaines zones urbaines sont bien connectées et modernisées, tandis que d'autres sont enclavées et exclues des dynamiques de développement urbain

Le discours sécuritaire qui accompagne cette dynamique justifie, en grande partie, l'isolement des populations vivant dans ces résidences fermées. La peur de l'insécurité, souvent exagérée, contribue à la multiplication de ces enclaves. Ainsi, les frontières physiques qui se multiplient dans la ville reflètent une fragmentation sociale de plus en plus marquée, rendant plus difficile la mise en place de politiques visant à rétablir une cohésion urbaine. Le morcellement spatial de Marseille, catalysé par un urbanisme libéral et des logiques de privatisation, a profondément transformé la ville, en multipliant les inégalités socio-territoriales. Les résidences fermées, véritables enclaves dans le tissu urbain, symbolisent cette dynamique de fragmentation. Pour répondre à ces défis, une refonte des politiques d'aménagement du territoire est nécessaire afin de promouvoir une ville plus inclusive, avec une régulation plus stricte des projets immobiliers, tout en renforçant la mixité sociale et l'accès aux services publics.

- **Urbanisation versus Biodiversité**

La croissance urbaine à Marseille continue de fragmenter et de dégrader les habitats naturels, posant une menace directe à la biodiversité. L'artificialisation des sols, causée par l'étalement urbain et les infrastructures mal planifiées, en est l'une des principales causes. Selon l'Office Français de la Biodiversité, l'artificialisation des sols entraîne une perte des fonctions écologiques essentielles des habitats, ce qui affecte directement la biodiversité locale et la capacité

des écosystèmes à fournir des services tels que la régulation du climat et la filtration de l'air[37] . L'urbanisation désorganisée perturbe également la connectivité écologique à Marseille, ce qui réduit l'efficacité des trames vertes et bleues. Bien que ces initiatives visent à relier les espaces verts et les plans d'eau pour permettre le déplacement des espèces et soutenir la biodiversité, la fragmentation urbaine continue de limiter leur portée. Le Bilan 2021 de l'Office Français de la Biodiversité montre que la fragmentation des habitats naturels est un des facteurs clés de la crise de la biodiversité en France, avec des pertes alarmantes d'espèces et d'écosystèmes[38] . Pour remédier à ces défis, plusieurs propositions ont été avancées pour réaménager des corridors écologiques au sein de Marseille. Par exemple, la transformation du boulevard Eisenhower en voie verte (**Figure 35**) pourrait renforcer la connectivité entre les parcs et les zones naturelles, tout en revitalisant les activités économiques de la région[39] .Cette proposition fait écho à la nécessité d'une approche intégrée de la planification urbaine, qui combine à la fois la préservation des écosystèmes et la réduction des disparités socio-économiques. Le projet Mirail-Garonne, mené dans le sud de Toulouse, a reposé sur un diagnostic croisé impliquant divers professionnels afin de définir des objectifs communs d'aménagement. L'une des propositions majeures concernait la requalification du boulevard Eisenhower, avec une densification urbaine ciblée, le développement des transports en commun et la création d'un corridor écologique. Malgré son ambition, le projet a été abandonné en 2014 suite à un changement municipal, mais la méthodologie employée a ensuite été réutilisée avec succès pour d'autres projets d'écologisation urbaine.

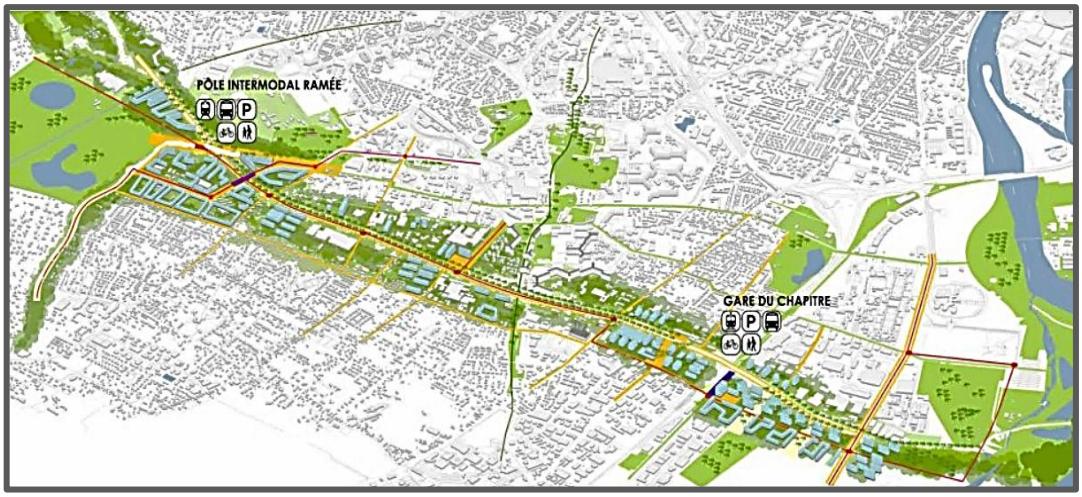



**Figure 35.**Le projet de voie verte Mirail-Garonne. Source : https://metropolitiques.eu/local/cache-vignettes/L970xH389/met_clergeaufig1-445d7.jpg?1681833651

Pour que Marseille puisse surmonter les défis posés par l'urbanisation et la fragmentation écologique, il est essentiel d'adopter une approche plus cohérente et globale de la planification urbaine. En mettant en œuvre des politiques de protection et de promotion des trames vertes, tout

[37] Office Français de la Biodiversité (OFB). (s.d.). Les menaces sur la biodiversité. https://www.ofb.gouv.fr/les-menaces-sur-la-biodiversite

[38] Office Français de la Biodiversité (OFB). (2021). Biodiversité en crise : il est urgent d'amplifier les actions. Bilan 2021 de l'ONB. https://naturefrance.fr/sites/default/files/2021-10/PublicationONB_2021_VF.PDF

[39]DP(Dossier de presse). (2023). Stratégie nationale de biodiversité 2030. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/Dossier-de-presse_SNB2030.pdf

en renforçant la cohésion sociale et en réduisant les inégalités économiques, la ville pourra évoluer vers une cité plus inclusive, résiliente et respectueuse de l'environnement. L'examen de la stratégie de la TVB et de ses implications pour la biodiversité permet d'apporter un éclairage approfondi sur cette problématique, comme l'illustrera l'analyse développée dans la section suivante.

### 2.2.3. Stratégies et Initiatives pour la TVB et le Développement Durable

- **Plan Vert : Cultiver une Ville Plus Verte**

Initié en 2007, le Plan Vert de Marseille constitue une stratégie ambitieuse visant à transformer le paysage urbain en augmentant significativement les espaces verts dans la ville. Ce plan, qui inclut la création de nouveaux parcs et jardins publics ainsi que la rénovation des espaces verts existants, s'inscrit dans une démarche plus large de développement durable et de préservation de la biodiversité[40] .L'un des aspects les plus importants de ce dernier est l'intégration de corridors écologiques, essentiels pour la connectivité des habitats naturels. En reliant les espaces verts fragmentés de la ville, ces infrastructures vertes aident également à atténuer les effets de la fragmentation urbaine, un phénomène souvent responsable de la dégradation des écosystèmes urbains[41] . Le Plan Vert vise également à améliorer la qualité de vie des citoyens en fournissant des espaces de loisirs accessibles à tous. En plus de favoriser la biodiversité, ces espaces verts participent à la régulation du climat urbain, à la réduction des îlots de chaleur, et à la création de lieux propices au bien-être des habitants[42]. Cette approche intégrée permet de cultiver une ville plus verte et plus résiliente, en phase avec les objectifs de développement durable poursuivis par Marseille.

- **Charte de l'Environnement et du Cadre de Vie : Engagements Clés**

La Charte de l'Environnement et du Cadre de Vie, adoptée par la ville de Marseille en 2005, s'inscrit dans une démarche pionnière pour préserver l'environnement urbain et assurer un développement durable. Cette charte repose sur des engagements fondamentaux pour protéger les espaces naturels et réduire la pollution atmosphérique, sonore et visuelle dans la ville. Elle vise également une gestion durable des ressources, comme l'eau et l'énergie, tout en mettant en place des normes environnementales dans les projets de construction et d'aménagement urbain[43]. Elle souligne l'importance de la biodiversité en milieu urbain, favorisant la création d'espaces verts et de corridors écologiques pour maintenir les équilibres naturels dans un environnement de plus en plus urbain. Elle constitue un cadre de référence pour les futures politiques environnementales de la ville, renforçant ainsi la responsabilité des acteurs locaux dans la lutte contre les changements climatiques et la dégradation des écosystèmes. En adoptant une approche intégrée, la charte

[40]AGAM (Agence d'urbanisme de l'agglomération marseillaise). (2020). Ville végétale, ville désirable. Quand la nature prend racine. https://www.agam.org/wp-content/uploads/2020/12/99-Nature-en-ville-BR.pdf
[41]Ville de Marseille, 2023.Un Plan Arbres pour une Ville plus verte, https://www.marseille.fr/environnement/plan-arbres
[42]ARBE Région Sud. (s.d.). Le "Visa Vert" de la ville de Marseille. https://www.arbe-regionsud.org/7541-le-visa-vert-de-la-ville-de-marseille.html?parentId=1006
[43]Ville de Marseille (2013). La collectivité s'engage. Charte qualité Marseille pour l'art de construire et d'aménager. https://www.marseille.fr/sites/default/files/contenu/logement/charte_qualite_marseille.pdf

ambitionne de faire de Marseille une ville durable, où la qualité de vie des habitants et la préservation de l'environnement coexistent harmonieusement.

Ce texte fondateur a ouvert la voie à plusieurs initiatives locales, telles que la gestion responsable des déchets, la limitation de l'étalement urbain, et la promotion de l'efficacité énergétique des bâtiments[44] [45].

- **Intégration Environnementale dans le PLU : Une Planification Durable**

Le PLU de Marseille intègre des mesures spécifiques pour la conservation des espaces naturels et la promotion de la biodiversité urbaine[46]. En définissant des zones de protection, en maintenant des corridors écologiques et en limitant l'artificialisation des sols, il montre comment la planification urbaine peut coexister avec les objectifs écologiques. Ces directives aident à orienter le développement urbain de manière à minimiser son impact sur l'environnement naturel, tout en répondant aux besoins de croissance de la ville.

- **Gestion Dynamique des Espaces Naturels et Partenariats pour la Durabilité**

Marseille mène une politique active en matière de gestion de ses espaces naturels, illustrée par des initiatives telles que la création de réserves naturelles et la restauration d'habitats dégradés. Le Parc National des Calanques, exemple emblématique, illustre cet effort pour protéger des écosystèmes sensibles menacés par l'urbanisation. Il joue un rôle important dans la préservation de la biodiversité locale et des services écosystémiques essentiels. La ville met également en œuvre des mesures spécifiques pour protéger les espèces en danger, tout en luttant contre l'artificialisation des sols et en promouvant la résilience écologique de ses écosystèmes. La démarche de Marseille va au-delà de la protection environnementale en intégrant des objectifs de développement durable dans la gestion des espaces naturels, cela permet de préserver les écosystèmes tout en améliorant la qualité de vie des citoyens, notamment par l'accès aux espaces verts urbains. Ces initiatives démontrent l'engagement concret de la ville pour la préservation de son patrimoine naturel, soulignant l'importance de concilier développement urbain et protection de la biodiversité. Marseille cherche ainsi à maintenir les services écosystémiques essentiels à son bien-être écologique et économique. Elle s'engage activement dans des collaborations avec une multitude d'acteurs locaux, notamment des ONG environnementales, des entreprises, des citoyens et des institutions académiques, afin de promouvoir des solutions durables.

À travers des projets comme Marseille 2030 Objectif Climat, la ville met en œuvre une approche collective pour réduire son empreinte carbone et répondre aux défis climatiques. Ce projet pilote, qui mobilise divers acteurs autour de la logistique bas-carbone, de l'économie circulaire dans le secteur de la construction et de l'agriculture urbaine, vise à intégrer les besoins locaux tout en accélérant l'adoption de solutions écologiques[47]. Elle a franchi plusieurs étapes

[44]Légifrance,(2005).Loi constitutionnelle n° 2005-205 du 1 mars 2005 relative à la Charte de l'environnement. https://www.legifrance.gouv.fr/dossierlegislatif/JORFDOLE000017758953/

[45] Idem . https://www.marseille.fr/sites/default/files/contenu/logement/charte_qualite_marseille.pdf

[46]PLU Marseille. (2019). Plan Local d'Urbanisme de Marseille. Ville de Marseille. https://www.marseille.fr/logement-urbanisme/plan-local-durbanisme/le-plan-local-durbanisme-plu

[47]Ville de Marseille. Marseille plus verte :MARSEILLE 2030 OBJECTIF CLIMAT. https://www.marseille.fr/sites/default/files/contenu/environnement/PDF/plaquette-vf.pdf

décisives dans son parcours vers la neutralité carbone, intégrant un large éventail d'acteurs locaux dans une dynamique collaborative.

Après avoir monté une candidature ambitieuse en 2021, soutenue par plus de 100 partenaires, Marseille a été sélectionnée en avril 2022 parmi 370 villes pour rejoindre le programme européen des ***"100 Villes neutres en carbone en 2030"***. Cette sélection a marqué le début d'un travail intensif de collaboration, impliquant plus de 50 acteurs locaux de septembre 2022 à mars 2023, pour établir un plan d'action institutionnel. En avril 2023, une première version du Contrat Ville Climat (CVC) a été déposée, intégrant les contributions de plus de 200 projets portés par des acteurs locaux. Ce plan d'action institutionnel vise non seulement à réduire les émissions de carbone, mais aussi à mobiliser activement l'écosystème marseillais pour une transformation écologique ambitieuse. La phase actuelle de mise en action servira à évaluer et adapter les stratégies avant de développer un deuxième plan d'action en 2025, en vue d'atteindre les objectifs de neutralité carbone d'ici 2030. Cette initiative de mobilisation à grande échelle reflète l'engagement de Marseille à s'appuyer sur les collaborations multiples pour transformer durablement la ville et en faire un modèle de résilience environnementale et de gouvernance collaborative. (**Figure 36**)

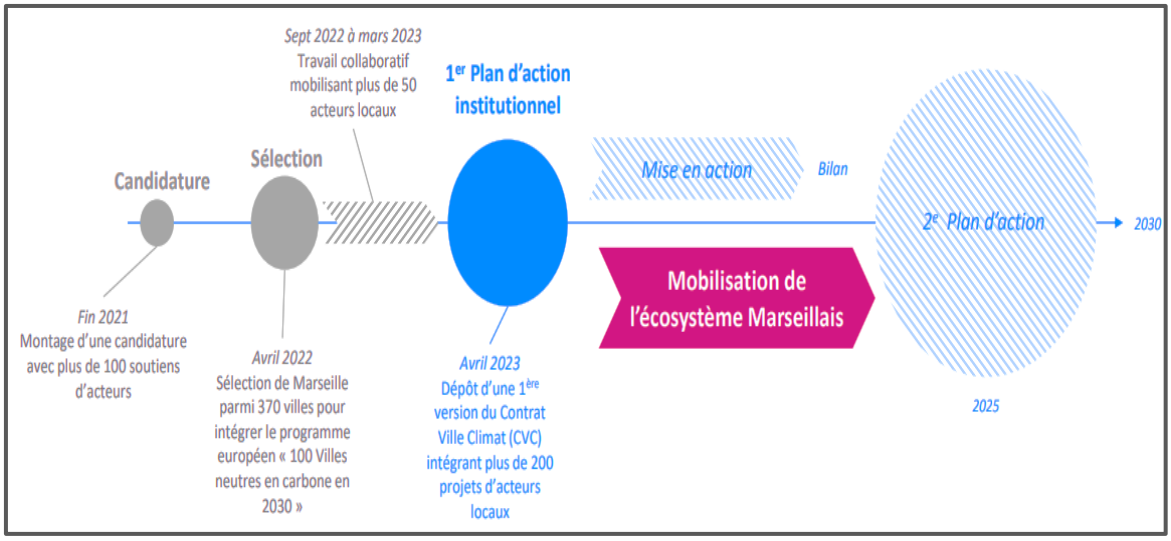



**Figure 36.** Les Étapes Clés de l'Engagement de Marseille vers la Neutralité Carbone d'Ici 2030. Source: https://www.debatpublic.fr/sites/default/files/2024-02/DSF-MED-20231214-Presention-Ville-de-Marseille.pdf

Par ailleurs, Marseille soutient le développement de **communautés énergétiques** qui permettent aux citoyens de produire et consommer de l'énergie renouvelable localement. Des organisations comme "***Marseille Sun System et Enercoop"*** sont au cœur de cette initiative, contribuant à l'installation de panneaux solaires sur des bâtiments publics et culturels. Ces projets montrent l'importance des partenariats public-privé dans la création d'une ville durable, en offrant

des solutions énergétiques accessibles et en engageant activement la communauté locale[48] [49]. Ces initiatives démontrent que les collaborations locales et internationales jouent un rôle central dans la transition vers une ville résiliente et durable.

En unissant les forces des citoyens, des entreprises et des institutions publiques, Marseille se positionne comme un modèle de durabilité en Méditerranée, en innovant dans les domaines de la gestion environnementale, de l'énergie renouvelable et de la participation citoyenne.

### 2.2.4. Cadre Législatif et Impact sur le Renforcement des TVB à Marseille

Le cadre législatif joue un rôle essentiel dans la mise en œuvre et le renforcement des trames vertes et bleues à Marseille, fournissant une base juridique solide pour la protection de la biodiversité et la promotion d'une urbanisation respectueuse de l'environnement. Les lois nationales et européennes sont des outils fondamentaux dans la conservation des espaces naturels et la gestion durable de l'urbanisme.

- **Conservation des Espaces Naturels par la Législation**

La protection des zones naturelles à Marseille est fortement influencée par des cadres juridiques tels que la loi sur l'eau, la loi sur la biodiversité en France, et la directive habitats de l'Union européenne. Ces lois imposent des obligations strictes pour la sauvegarde des habitats et la conservation des espèces menacées, facilitant ainsi l'élaboration de politiques locales de gestion environnementale[50] .Par exemple, ces réglementations ont conduit à la création de zones protégées où les activités humaines sont régulées pour minimiser les impacts écologiques.[51]

- **Principes de Planification Urbaine Durable**

La législation française, notamment la loi SRU et la loi ALUR, définit des principes clés pour encourager une urbanisation durable[52] [53].Ces lois promeuvent la densification urbaine, réduisent l'expansion spatiale non contrôlée et encouragent des constructions respectueuses de l'environnement. À Marseille, ces principes se traduisent par des initiatives visant à intégrer des espaces verts dans les projets de développement et à limiter la consommation des espaces naturels, soutenant ainsi le maintien et le développement des trames vertes et bleues.

---

[48]Massilia Sun System .L'énergie photovoltaïque par les citoyens et pour les citoyens Source : https://massiliasunsystem.org/wp-content/uploads/2022/03/Flyer_MSS_A5_SansTraitsCoupe.pdf

[49] ENERCOOP PACA. COOPÉRATIVE D'ÉNERGIE RENOUVELABLE CITOYENNE ET SOLIDAIRE. https://valavoire.fr/wp-content/uploads/2024/08/2024.07_Presentation.Enercoop-Valavoire.pdf

[50]Directive Habitats, UE. (1992). Directive 92/43/CEE du Conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels et de la faune et de la flore sauvages. Union européenne. Disponible sur : https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A31992L0043

[51]République française. (2016, 8 août). Loi no 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages. Journal officiel de la République française, n°184 du 9 août 2016. https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000033016237

[52]République française. (2000, 13 décembre). Loi n° 2000-1208 du 13 décembre 2000 relative à la solidarité et au renouvellement urbains. Journal officiel de la République française. https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000005630252

[53]Loi ALUR. (2014). Loi n° 2014-366 du 24 mars 2014 pour l'accès au logement et un urbanisme rénové. Paris : Gouvernement français. https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000028601882/

- **Importance des Évaluations Environnementales**

Les évaluations environnementales stratégiques et les études d'impact sont obligatoires pour les grands projets d'aménagement à Marseille. Ces évaluations aident à prévoir les effets potentiels sur l'environnement et à intégrer des mesures de mitigation dès les premières phases de la planification. Elles permettent d'ajuster les projets pour mieux respecter les trames vertes et bleues, assurant une cohabitation plus harmonieuse entre développement urbain et conservation de la biodiversité.

- **Réglementation et Zonage Urbain**

Le PLU et le SCoT de Marseille définissent des zones spécifiques où les interventions sont régulées pour protéger les espaces naturels et promouvoir des corridors écologiques[54] [55]. Ces documents stratégiques fixent des règles strictes concernant l'occupation du sol, en veillant à ce que les nouvelles constructions et les rénovations urbaines respectent les impératifs de durabilité et de protection environnementale. À travers des zonages différenciés, le PLU et le SCoT identifient des secteurs à protéger pour préserver la biodiversité, favoriser la perméabilité des sols et atténuer les effets du changement climatique. Ainsi, certaines zones font l'objet de restrictions particulières afin de limiter l'étalement urbain et d'empêcher la fragmentation des habitats naturels.

Par ailleurs, la réglementation impose la mise en œuvre de compensations écologiques pour les projets d'aménagement impactant les continuités écologiques. Ces mesures, encadrées par la séquence Éviter-Réduire-Compenser (ERC), visent à limiter la perte de biodiversité en imposant des actions de restauration ou de création de corridors verts en cas de destruction d'habitats existants.

En intégrant des principes de gestion durable des espaces naturels, ces outils réglementaires permettent non seulement d'assurer une urbanisation maîtrisée, mais aussi de renforcer la résilience écologique du territoire marseillais face aux pressions anthropiques et aux changements climatiques. Dans ce cadre, le PLU et le SCoT apparaissent comme des instruments stratégiques pour concilier développement urbain et conservation de TVB, tout en inscrivant Marseille dans une trajectoire de durabilité environnementale et d'adaptation aux défis écologiques contemporains.

- **Encouragement de la Participation Citoyenne**

Les lois encouragent également la participation active des citoyens dans les processus décisionnels liés à l'urbanisme et à l'environnement à Marseille. Cette approche participative est essentielle pour sensibiliser les habitants aux enjeux écologiques et les impliquer dans la conservation des trames vertes et bleues. Elle permet de renforcer les initiatives locales par le biais de consultations publiques et de contributions directes des résidents à la planification urbaine[56]. La Charte de l'Environnement de Marseille de 2005 constitue un cadre de référence en matière de

[54] PLU Marseille, Op.cit.
[55]SCoT Marseille. (2019). Schéma de Cohérence Territoriale de Marseille. Ville de Marseille. https://www.mrae.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/avis_mrae_2019apaca24.pdf
[56]Marseille. (2005). Charte de l'Environnement de Marseille. Marseille : Ville de Marseille. https://www.marseille.fr/environnement/charte-de-l-environnement.

participation citoyenne, mettant en avant le principe d'une concertation publique pour toutes les décisions affectant les écosystèmes urbains. Des consultations publiques et des ateliers participatifs sont régulièrement organisés afin de permettre aux habitants de contribuer aux orientations d'aménagement, en proposant des solutions adaptées aux réalités locales. Ces démarches favorisent une meilleure acceptabilité des projets d'aménagement tout en assurant une prise en compte des besoins et des préoccupations des résidents.

Outre ces dispositifs institutionnels, la participation citoyenne se manifeste également à travers des initiatives locales, telles que les projets de jardins partagés, les programmes de plantation d'arbres ou encore les actions de restauration écologique pilotées par des associations de quartier. Ces initiatives renforcent le lien entre les habitants et leur environnement, tout en favorisant une culture de la gestion collective des espaces verts. Marseille s'inscrit ainsi dans une approche de gouvernance environnementale ouverte et collaborative, où la préservation des TVB ne repose pas uniquement sur des décisions institutionnelles, mais aussi sur l'engagement actif de la société civile. Cet investissement citoyen représente un levier essentiel pour assurer la pérennité des espaces naturels en milieu urbain et favoriser une transition écologique concertée et durable.

### 2.2.5. Évaluation des Initiatives pour les TVB à Marseille : Succès, Défis et Perspectives

L'évaluation des initiatives déployées pour renforcer les Trames Vertes et Bleues (TVB) à Marseille met en lumière les avancées significatives réalisées, mais également les défis persistants qui entravent leur mise en œuvre optimale. Ces stratégies, visant à intégrer la connectivité écologique dans l'aménagement urbain, ont favorisé la préservation et l'expansion des espaces verts, contribuant ainsi à l'amélioration de la biodiversité et à l'offre d'espaces récréatifs accessibles aux habitants. L'engagement croissant des autorités locales pour un développement urbain durable se traduit par l'intégration progressive des principes écologiques dans la planification urbaine. En effet, des documents stratégiques tels que le PLU et le SCoT ont renforcé la prise en compte des corridors écologiques et des continuités paysagères, limitant ainsi l'artificialisation des sols et préservant les milieux naturels.

Par ailleurs, la mise en place de partenariats entre la municipalité, les ONG et les habitants a facilité l'optimisation des ressources et des compétences, permettant ainsi une meilleure articulation entre croissance urbaine et conservation des écosystèmes fragiles. L'exemple du Parc National des Calanques illustre cette dynamique, où la gestion concertée des espaces naturels a permis de concilier enjeux écologiques et attractivité territoriale.

Cependant, plusieurs défis freinent encore l'essor des TVB à Marseille. Les contraintes budgétaires restent un frein majeur, limitant non seulement l'expansion des infrastructures écologiques, mais aussi leur entretien à long terme. De plus, les spécificités topographiques de la ville, marquées par un relief accidenté et une forte pression foncière, compliquent l'intégration harmonieuse des TVB dans certaines zones du territoire. Par ailleurs, la fragmentation des habitats naturels demeure un obstacle à la continuité écologique, impactant la mobilité des espèces et la résilience des écosystèmes urbains face aux changements climatiques.

Un autre enjeu de taille concerne la sensibilisation et l'engagement citoyen. Malgré la mise en place de politiques environnementales ambitieuses, leur efficacité reste limitée par une implication insuffisante des habitants dans les processus de décision. L'absence de concertation

approfondie entre les citoyens et les autorités locales ainsi qu'un déficit d'information sur les enjeux écologiques freinent l'adhésion aux initiatives mises en place. Dès lors, si les TVB marseillaises ont permis des avancées notables en matière d'amélioration du cadre de vie et de préservation de la biodiversité, leur pérennité repose sur une approche intégrée et inclusive, garantissant une convergence entre les politiques environnementales, les attentes des citoyens et les réalités territoriales. Au final, l'avenir des TVB à Marseille repose sur une approche multisectorielle combinant financement structuré, gouvernance participative et intégration territoriale optimisée. En adoptant des stratégies innovantes et en consolidant les acquis des politiques environnementales existantes, Marseille pourrait non seulement renforcer son réseau de Trames Vertes et Bleues, mais également s'imposer comme une référence en matière de résilience urbaine et de durabilité environnementale (Pinson, 2009 ; Serrano et al., 2014 ; Herat,2012 ; Gauthier & Suslova, 2019).

- **Renforcement des TVB à Marseille : Stratégies pour un Développement Durable**

Dans l'optique de s'aligner avec les principes du Développement Urbain Durable (DUD), Marseille se trouve à un carrefour stratégique, offrant l'opportunité d'adopter des stratégies innovantes pour renforcer et valoriser ses Trames Vertes et Bleues (TVB). Ces initiatives visent à concilier croissance urbaine et préservation environnementale, générant ainsi des bénéfices pour la biodiversité et la qualité de vie des habitants. L'intégration des TVB dans les cadres de planification urbaine est un levier essentiel pour garantir une urbanisation durable. Il est impératif que les plans directeurs intègrent à la fois la protection des zones naturelles existantes et la restauration des milieux dégradés. L'expérience de l'agglomération marseillaise montre que la connectivité écologique est un facteur clé du maintien de la biodiversité urbaine, une nécessité également démontrée soulignant que l'inclusion des TVB dans la planification urbaine favorise la résilience écologique des villes.

Parallèlement, le développement de modes de transport verts constitue une stratégie clé pour améliorer la qualité de l'air et limiter la dépendance à l'automobile. L'expansion des infrastructures cyclables à Marseille s'inscrit dans cette dynamique, comme le démontre une étude locale, qui révèle que ces infrastructures permettent de réduire la pollution atmosphérique tout en promouvant un mode de vie plus sain, Ces conclusions s'alignent avec les recommandations du Programme des Nations Unies pour l'Environnement[57]. En parallèle, la mise en œuvre de pratiques de gestion durable des espaces naturels demeure un pilier central pour préserver la biodiversité en milieu urbain. Des recherches menées sur la région PACA montrent que la surveillance régulière et la gestion adaptative des espaces verts sont essentielles à leur résilience écologique. À Marseille, cette approche se traduit par des initiatives locales de bio-ingénierie, telles que la réintroduction d'espèces indigènes dans le Parc National des Calanques, contribuant ainsi aux objectifs de durabilité urbaine.

[57]PNUE, 2021 https://www.unep.org/fr/resources/emissions-gap-report-2021#:~:text=Le%20Programme%20des%20Nations%20unies,en%20ligne%20de%20haut%20niveau.

Le financement de ces initiatives repose en grande partie sur des partenariats public-privé (PPP), qui permettent de mobiliser des ressources financières importantes tout en alignant les intérêts économiques et environnementaux. L'analyse des PPP dans le sud de la France met en évidence leur rôle structurant dans le financement de projets de verdissement urbain, comme la transformation d'espaces industriels désaffectés en parcs publics. À Marseille, ces mécanismes ont déjà soutenu des projets majeurs de réhabilitation urbaine, confirmant leur pertinence en tant qu'outil de développement durable. Toutefois, la réussite des TVB repose également sur la stimulation de la participation citoyenne, élément déterminant pour l'adhésion et l'efficacité des politiques environnementales. Des études sur la gouvernance environnementale dans les métropoles françaises indiquent que l'implication des citoyens renforce la légitimité des politiques publiques et améliore leur mise en œuvre.

À Marseille, cet engagement communautaire se traduit par des projets de conscience participative et des consultations publiques, soutenus par des programmes municipaux dédiés à la gestion des espaces verts. En développant ces stratégies, Marseille peut se positionner comme un modèle de ville durable, où développement urbain et préservation environnementale s'harmonisent. Toutefois, cette ambition nécessitera une vision à long terme, un engagement politique fort, et une collaboration accrue entre les acteurs publics, privés et citoyens. En renforçant ses politiques environnementales et en les intégrant aux besoins sociétaux, Marseille peut ainsi devenir une métropole résiliente, verte et accueillante pour les générations futures.

**En guise de conclusion,** l'intégration des Trames Vertes et Bleues dans la planification urbaine de Marseille démontre l'engagement de la ville à poursuivre un développement urbain durable, capable de répondre aux défis posés par l'urbanisation rapide, la fragmentation des habitats naturels, et les pressions écologiques. Marseille, riche de son histoire et de sa diversité culturelle, se trouve à un carrefour stratégique où la nécessité de concilier croissance économique, conservation de la biodiversité, et amélioration de la qualité de vie urbaine est devenue primordiale. Les initiatives mises en œuvre, telles que la création de parcs urbains, la restauration des zones humides et le développement de corridors verts, témoignent d'une approche engagée visant à intégrer la nature au sein du tissu urbain. Ces efforts ont permis de renforcer la connectivité écologique, de créer des espaces de récréation et de détente pour les citoyens et de contribuer à la régulation climatique en milieu urbain. Toutefois, la réussite de ces initiatives dépend de la capacité de la ville à surmonter les contraintes d'espace, de financement et de régulation, tout en mobilisant efficacement l'engagement communautaire.

La planification urbaine à Marseille, soutenue par un cadre législatif robuste, vise à équilibrer les besoins de développement avec les impératifs de durabilité environnementale. Malgré les défis rencontrés, tels que les obstacles réglementaires et les pressions de l'urbanisation, les stratégies adoptées montrent un potentiel significatif pour faire de Marseille une ville résiliente, où la nature et l'urbanité coexistent de manière harmonieuse. L'intégration des TVB dans l'urbanisme marseillais n'est pas seulement un moyen de préserver la biodiversité, mais aussi un catalyseur pour une ville plus inclusive et respectueuse de son environnement. Pour assurer le succès à long terme de ces initiatives, il est essentiel que Marseille continue de développer des stratégies innovantes, de renforcer la collaboration entre les parties prenantes, et d'adapter ses politiques aux réalités changeantes du développement urbain et des défis environnementaux. La ville est ainsi en bonne voie pour devenir un modèle de durabilité urbaine en Méditerranée, offrant un cadre de vie amélioré pour ses habitants tout en protégeant son précieux patrimoine naturel.

### 2.2.6. Synthèse des Initiatives de Trames Vertes à Paris et Marseille

L'intégration des Trames Vertes et Bleues dans les environnements urbains densément peuplés de Paris et de Marseille représente un défi complexe, nécessitant une gestion stratégique et innovante. Ces deux métropoles sont confrontées à des contraintes similaires, notamment en termes d'espace, de financement, de régulation, et d'engagement communautaire, qui doivent être surmontées pour garantir le succès de ces initiatives.

La mise en œuvre des Trames Vertes et Bleues à Paris et Marseille requiert une approche intégrée qui conjugue innovation, régulation cohérente, et engagement communautaire (**Figure 37**). L'équilibre entre les objectifs écologiques et les besoins de développement urbain est essentiel pour ancrer durablement ces initiatives dans le tissu urbain des deux villes, tout en améliorant la qualité de vie et la résilience environnementale de ces métropoles dynamiques.

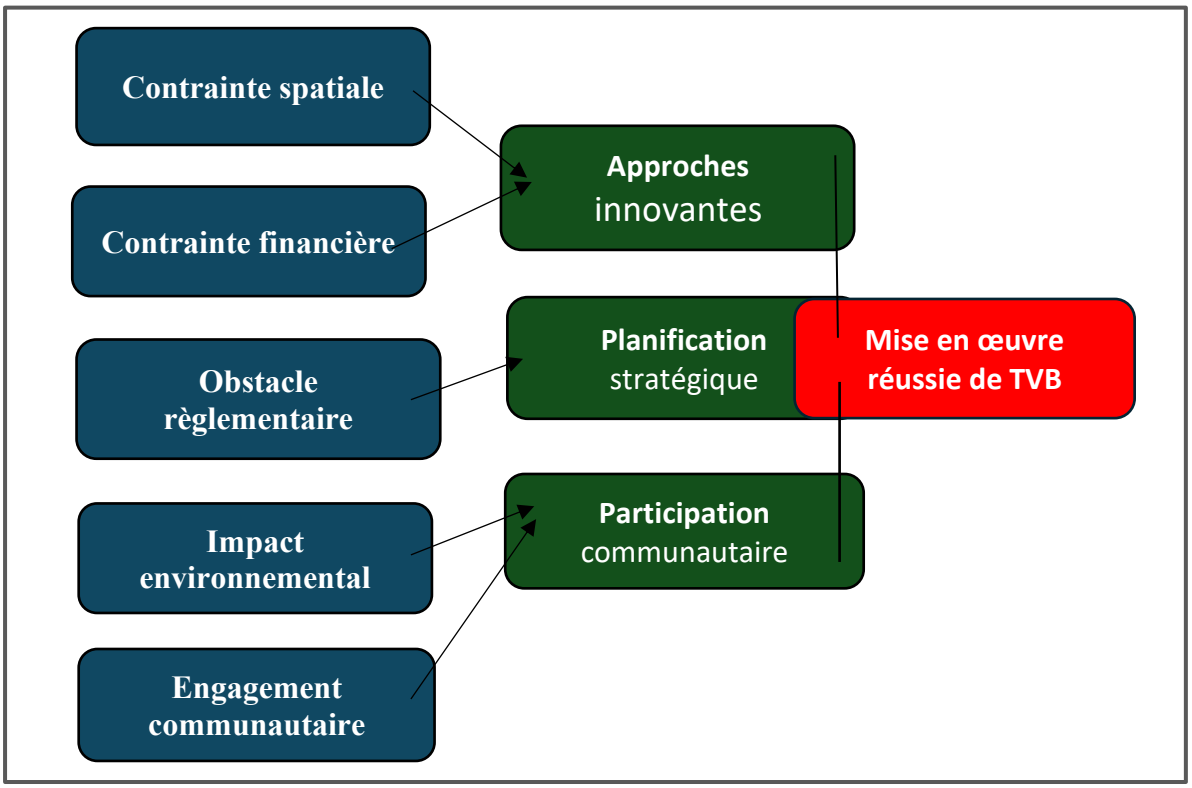



**Figure 37.**Schéma des contraintes et conditions de réussite des initiatives de TVB. Conception Auteure 2023

## 2.3. La Trame Verte en Méditerranée : l'Expérience Tunisienne

Dans la région méditerranéenne, caractérisée par une biodiversité exceptionnelle et un riche patrimoine naturel, les trames vertes se révèlent essentielles pour répondre aux défis environnementaux actuels. Face aux pressions anthropiques croissantes, telles que l'urbanisation rapide, le changement climatique et la dégradation des écosystèmes, la trame verte apparaît comme une solution stratégique pour promouvoir un développement territorial durable. Les pays méditerranéens, avec leurs conditions climatiques spécifiques et leur richesse culturelle, sont à l'avant-garde de cette transition vers un urbanisme plus respectueux de l'environnement. La Tunisie, en particulier, se distingue par ses initiatives en matière de trame verte, intégrant des solutions écologiques dans le processus de planification urbaine.

Ces efforts visent non seulement à protéger la biodiversité, mais également à renforcer la qualité de vie des populations et à atténuer les effets des changements climatiques[58].Cette partie se concentre sur l'expérience tunisienne en matière de trame verte, en soulignant les aspects clés de son développement et de son intégration dans les politiques urbaines. Contrairement à d'autres régions où la trame verte est souvent perçue comme un luxe, en Tunisie, elle est considérée comme une nécessité vitale pour assurer la durabilité des environnements urbains ; une volonté souvent exprimé dans les stratégies de développement urbain. L'adoption de ces infrastructures écologiques de par la politique tunisienne, répond à un besoin pressant de créer des villes plus résilientes, où la nature occupe une place centrale et non périphérique.

En Tunisie, ces infrastructures vertes permettent de gérer efficacement les ressources en eau, de restaurer les terres dégradées et de créer des corridors écologiques qui facilitent la mobilité des espèces, tout en améliorant la qualité de vie des citoyens urbains. Par ailleurs, Le ***"Programme de Création d'Espaces de Fraîcheur Urbains pour Lutter Contre les Vagues de Chaleur"*** est une initiative visant à améliorer la résilience de la ville de Tunis face aux vagues de chaleur de plus en plus fréquentes et intenses[59] ,l'expérience tunisienne montre comment une planification écologique engagé peut contribuer à la résilience des villes face aux aléas climatiques, notamment les sécheresses et les inondations (Mhedhbi, 2021). Il s'agit à ce niveau d'explorer les implications plus larges de l'intégration des trames vertes dans les stratégies de développement urbain en Tunisie, tout en tirant des leçons de ces expériences pour inspirer d'autres initiatives à travers la Méditerranée et au-delà.

[58] FTDES (Forum Tunisien pour les Droits Économiques et Sociaux). Département de la Justice Environnementale. (2021). Les changements climatiques en Tunisie : Réalités et pistes d'adaptation pour le secteur des services publics (Étude réalisée par I. LABIADH).

[59] MedCities, Área Metropolitana de Barcelona (AMB), & Ville de Tunis. (2022). Liste des projets du plan d'action : Projet « A'SIMA Tunis : Planification stratégique et gouvernance multiniveau pour une ville métropolitaine résiliente ». Tunis : MedCities, AMB, & Ville de Tunis.

### 2.3.1. Trame Verte et Résilience Urbaine en Tunisie : Stratégies et Impacts

- **Présentation du Contexte**

La Tunisie, située en Afrique du Nord et faisant partie du Maghreb, est un pays aux frontières variées : elle est bordée par la mer Méditerranée au Nord et à l'Est, par l'Algérie à l'Ouest (965 km), et par la Libye au Sud-Est (459 km)(**Figure 38**) . La capitale, Tunis, se trouve dans le Nord-Est du pays, occupant une position stratégique sur le littoral méditerranéen. Avec une superficie de 163 610 km², la Tunisie est le plus petit pays du Maghreb, mais elle présente une grande diversité géographique. Environ 40 % de son territoire est couvert par le désert du Sahara, tandis que le reste est constitué de chaînes de montagnes et de plaines fertiles. La dorsale tunisienne, principale chaîne de montagnes, traverse le pays du Sud-Ouest au Nord-Est, culminant au Djebel Chambi à une altitude de 1 544 mètres et l'altitude moyenne de 700 m. Le Sahara, situé au sud du pays, couvre environ 40 % du territoire[60] .

Le territoire du Grand Tunis, à lui seule, est administrativement structuré en 38 communes, assurant une organisation territoriale adaptée aux dynamiques urbaines et aux enjeux de gouvernance locale (**Figure 39**).

Le climat Tunisien est fortement influencé par la Méditerranée et le Sahara, créant des zones bioclimatiques distinctes qui soutiennent une diversité de pratiques agricoles. La pluviométrie annuelle varie considérablement selon les régions : elle atteint environ 1 000 millimètres dans le nord, 380 millimètres au centre, et 300 millimètres dans le sud, illustrant ainsi la transition du climat méditerranéen au climat désertique (Institut National de la Météorologie, 2023).

[60]Mdptunisie.tn , Présentation Générale Géographie. Source : http://www.mdptunisie.tn/ar/conference/images/pdf/about_tunisia_fr.pdf

**Figure 38.** Situation de la Tunisie

Source : https://wikimonde.com/article/Tunisie

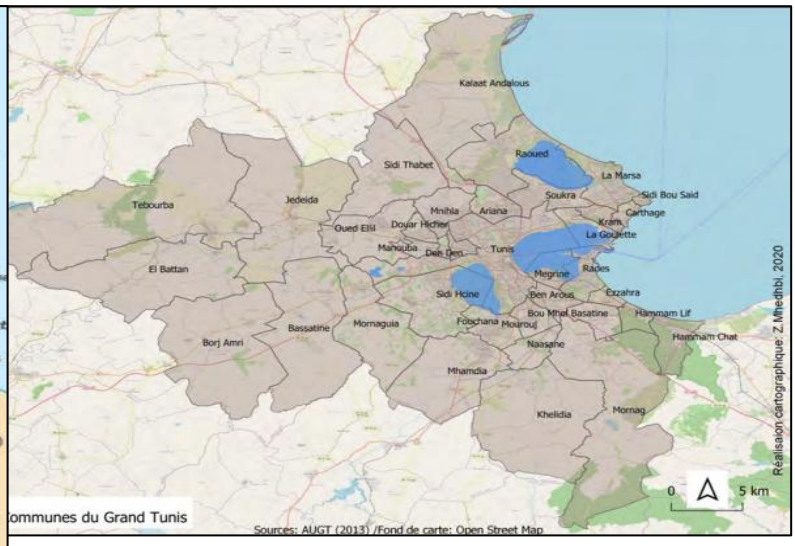



**Figure 39.** Découpage du territoire de l'agglomération Tunisoise en 38 communes. Source : Mhedhbi, 2021

Sur le plan historique, la Tunisie est le berceau de la civilisation carthaginoise, avant d'être intégrée à l'Empire romain. Plus tard, elle a été sous domination ottomane, puis est devenue un protectorat français en 1881. Un État arabophone et musulman d'Afrique du Nord, souverain depuis 1956, dont le territoire, au carrefour de l'Afrique, de l'Europe et du Moyen-Orient, témoigne d'une histoire multimillénaire mêlant influences berbères, phéniciennes, arabes et méditerranéennes[61].

- **Croissance urbaine face à une croissance démographique**

La Tunisie a connu une croissance urbaine soutenue depuis son indépendance en 1956. La population urbaine est passée de 1,4 million d'habitants en 1956 à 6,5 millions en 2006, avec des projections atteignant 9 millions d'habitants d'ici 2010, portant ainsi le taux d'urbanisation à environ 75 % (Zaafrane ,2021). Cette croissance a été particulièrement rapide durant les premières décennies postindépendance, notamment entre 1956 et 1966, avec un taux de croissance urbaine annuel de 4,0 %[62].L'urbanisation en Tunisie s'accompagne d'une différenciation marquée entre les espaces urbains, avec des villes de tailles très diverses.

Les principales villes comme Tunis, Sfax, et Sousse ont vu leur population augmenter de manière significative. Par exemple, Tunis, la capitale, est la municipalité la plus peuplée avec 728 453 habitants en 2004, tandis que Beni M'Tir est la moins peuplée avec seulement 811 habitants.

[61] Idem , http://www.mdptunisie.tn/ar/conference/images/pdf/about_tunisia_fr.pdf

[62]Tecno-science ..net ,Urbanisation de la Tunisie-définition ,croissance urbaine .Source : https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Urbanisation-de-la-Tunisie-page-2.html

L'expansion urbaine en Tunisie , cependant, n'est pas sans défis. Les effets négatifs incluent la consommation excessive de terres agricoles, estimée à plus de 500 hectares par an rien que pour l'agglomération de Tunis.

De plus, le sous-équipement des villes en services publics, le développement de l'habitat spontané, la croissance du chômage, et la congestion urbaine due à l'augmentation des déplacements sont des problèmes persistants liés à cette urbanisation rapide : la croissance estimée à 2,1% en 2024 et 3,2% en 2025[63].

En 2022, environ 71 % de la population tunisienne (**Figure 40**) résidait en milieu urbain, soulignant l'importance continue de l'urbanisation pour le développement économique et social du pays[64], Cependant, cette urbanisation croissante nécessite des stratégies robustes pour gérer efficacement les défis qui l'accompagnent, afin de garantir une qualité de vie améliorée pour les habitants tout en préservant les ressources naturelles limitées du pays. La Tunisie, comme de nombreux pays en développement, est confrontée à une croissance urbaine rapide qui transforme ses paysages et pose des défis considérables en matière de planification urbaine, de densité de population et de pression environnementale.

Cette expansion urbaine est particulièrement visible dans les zones métropolitaines comme Tunis, où l'urbanisation galopante est alimentée par une migration interne soutenue. Les populations rurales affluent vers les villes en quête d'opportunités économiques et de meilleurs services, entraînant une augmentation significative de la densité urbaine. La gestion de cette densité croissante, comme illustré dans la **Figure 41** ci-dessous, est indispensable pour assurer un développement urbain harmonieux. Cependant, la Tunisie doit faire face à des défis considérables, tels que la congestion des transports, la surcharge des infrastructures et des services publics, ainsi qu'une pollution accrue. Cette croissance urbaine exerce une pression croissante sur l'environnement, accentuant les défis liés à la gestion durable des ressources naturelles.

[63]Tayssir Benmiled (2024) ,Tunisie : Croissance estimée à 2,1% en 2024 et 3,2% en 2025 par la BAD. Source : https://tunibusiness.tn/previsions-croissance-tunisie-2024-2025-bad/

[64]Statista , https://fr.statista.com/statistiques/990527/urbanisation-en-tunisie/#:~:text=Cette%20statistique%20pr%C3%A9sente%20le%20taux,habitait%20dans%20des%20zones%20urbaines.

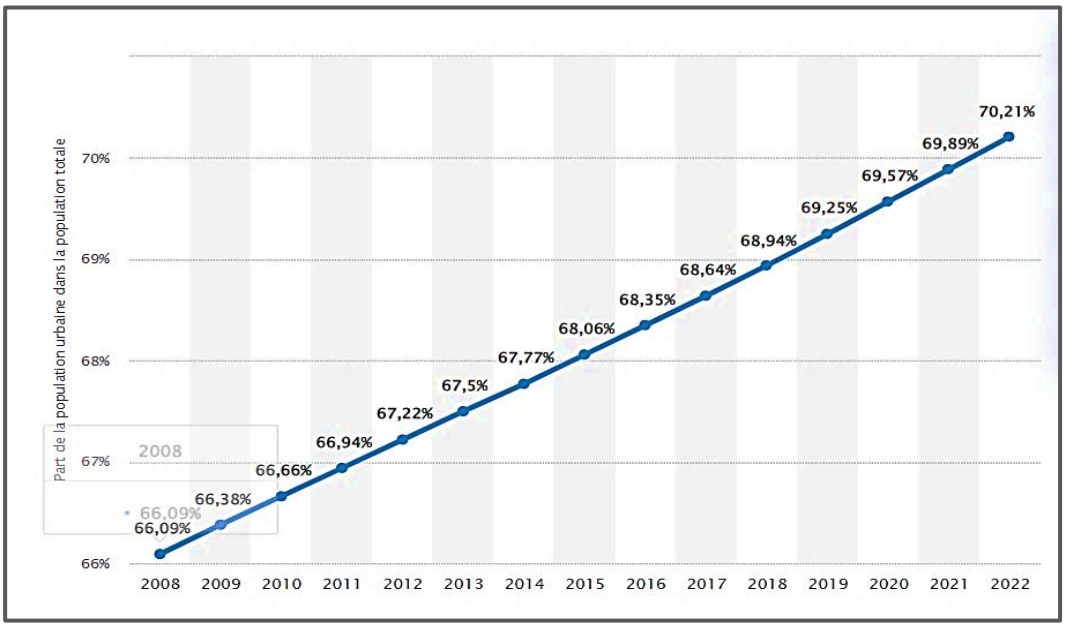



**Figure 40.**Taux d'urbanisation en Tunisie de 2008 à 2022.

Source : Statista Research Department, ,2024.
https://fr.statista.com/statistiques/990527/urbanisation-en-tunisie/

L'urbanisation rapide, caractérisée par une demande accrue en ressources naturelles, l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre, et la gestion inefficace des déchets, engendre des perturbations significatives sur l'équilibre écologique du pays. Cette expansion urbaine empiète souvent sur les terres agricoles et les zones naturelles, menaçant la biodiversité et contribuant à la dégradation des écosystèmes.

**Figure 41.** Vue panoramique sur la densification urbaine de Tunis .Source : https://www.webmanagercenter.com/2014/02/15/146351/tunisie-urbanisme-l-etat-doit-revoir-la-planification-urbaine-du-pays/

L'exploitation intensive des ressources naturelles, notamment l'eau, le sol et le littoral, constitue une faille majeure dans la dynamique du développement durable en Tunisie. Le pays figure parmi les 17 nations les plus exposées à une situation de « rareté absolue » en eau d'ici 2025, ce qui représente un défi critique pour satisfaire les besoins croissants en eau potable, industrielle, agricole et écologique. Cette vulnérabilité hydrique, exacerbée par les variations climatiques, risque de compromettre la pérennité de la production agricole irriguée, menaçant ainsi la sécurité alimentaire et la stabilité économique. Par ailleurs, la dégradation de 3 millions d'hectares de sols illustre les limites des politiques agricoles qui, bien qu'orientées vers la sécurité alimentaire, n'ont pas systématiquement intégré les principes de durabilité environnementale. Cette pression croissante sur les écosystèmes, amplifiée par l'urbanisation accélérée et les changements climatiques, fragilise davantage la performance environnementale du pays[65].

Face à ces défis, une refonte stratégique du modèle de développement s'impose, privilégiant une gestion intégrée et durable des ressources naturelles. Cela nécessite la promotion de l'efficacité énergétique, l'adoption de pratiques de construction durable et la mise en place de politiques de gestion des ressources fondées sur la durabilité, telles que la réutilisation de l'eau et le recyclage des matériaux. Une telle approche permettrait à la Tunisie de concilier croissance urbaine et préservation environnementale, garantissant ainsi un développement résilient et durable. Depuis le milieu des années 1970, la Tunisie a connu d'importantes mutations de ses paysages naturels, agricoles et urbanisés, sous l'effet de transformations démographiques, de l'émergence de nouvelles dynamiques économiques et de l'exode rural (Chouari & Belarem, 2017). Ces changements soulignent l'urgence d'une planification territoriale adaptée, capable d'articuler croissance économique et préservation écologique dans un contexte de pressions croissantes sur les ressources naturelles.

### 2.3.2. Urbanisation et Enjeux : Le Rôle Stratégique de la Trame Verte en Tunisie

L'expansion urbaine en Tunisie entraîne une artificialisation croissante des sols, limitant ainsi la capacité des écosystèmes à assurer leurs fonctions écologiques essentielles. Cette dynamique s'accompagne d'une érosion des espaces naturels et agricoles, réduisant leur résilience face aux perturbations climatiques et compromettant les services écosystémiques qu'ils procurent. Dans ce contexte, l'intégration d'une trame verte dans la planification urbaine apparaît comme un levier stratégique permettant de réconcilier croissance urbaine et conservation des ressources naturelles (Mohamed, Farah, & Mohamed, 2015). L'un des enjeux majeurs réside dans la perte de continuité écologique, accentuée par une urbanisation non maîtrisée, qui fragmente les habitats naturels et altère la biodiversité. Par ailleurs, la pression foncière et l'expansion des infrastructures réduisent considérablement les surfaces végétalisées, accentuant les phénomènes de désertification et d'érosion des sols.

[65] Banque mondiale. (2004). Tunisie : Analyse de la performance environnementale (Country Environmental Analysis) Rapport final. Département Eau, Environnement, Développement Social et Rural, Région du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord. https://documents1.worldbank.org/curated/pt/108851468121135429/pdf/259660FRENCH0T1English0from0Eboard1.pdf.

La dégradation des terres, aggravée par des pratiques agricoles non durables et la déforestation, entraîne une érosion accélérée et limite la fertilité des sols, mettant en péril la sécurité alimentaire en Tunisie. L'intégration de corridors écologiques et d'espaces verts multifonctionnels permettrait de renforcer la connectivité écologique, favorisant ainsi la dispersion des espèces et la régénération des milieux naturels. En outre, la rareté des ressources en eau, aggravée par la baisse des précipitations et l'augmentation des besoins en eau pour les usages domestiques et agricoles, souligne l'urgence d'une gestion plus durable des écosystèmes urbains.

Loin d'être une simple composante paysagère, la trame verte constitue une solution d'adaptation aux changements environnementaux, en agissant sur plusieurs fronts : régulation du microclimat urbain, amélioration de la qualité de l'air et préservation des espaces naturels. Pour assurer son efficacité, son intégration dans les politiques d'aménagement doit s'accompagner d'une approche transversale, associant gouvernance territoriale, participation citoyenne et innovations écologiques.

### a. Initiatives et Projets de la Trame Verte en Tunisie

Dans le cadre de la stratégie nationale pour la trame verte, la Tunisie a lancé plusieurs initiatives visant à aborder les défis environnementaux tout en promouvant un développement urbain durable. Ces initiatives comprennent la création de forêts, de parcs urbains et la restauration de zones humides, chacune jouant un rôle clé dans l'amélioration de la résilience écologique et la qualité de vie des citadins.

- **Un plan vert pour la capitale de Tunisie**

La capitale Tunis dispose d'un patrimoine écologique notable, avec plus de 300 hectares d'espaces verts et naturels comprenant des parcs, jardins, squares, forêts périurbaines, et plus de 25 000 arbres d'alignement. Ce réseau d'espaces verts inclut également 60 jardins, dont les superficies varient entre 100 m² et plus de 20 000 m². Parmi les sites majeurs figurent le parc d'El Mourouj (30 hectares), la forêt d'El Ouardia (120 hectares), le parc du Belvédère (110 hectares) et le jardin Méditerranéen (8,5 hectares). Deux pépinières, situées à El Agba et dans la ville, s'étendent respectivement sur 22 et 8 hectares. Malgré ce potentiel, le ratio actuel des espaces verts, estimé à 17 m² par habitant, reste insuffisant face aux enjeux urbains et climatiques. Le ***"Plan Vert"*** vise à porter ce ratio à 19 m² par habitant à travers la création de 200 hectares de nouveaux espaces verts et la plantation de 10 000 arbres d'alignement. Parmi les initiatives phares, trois grands projets d'aménagement sont prévus : le réaménagement de la carrière de Jebel Jelloud (50 hectares), la création d'un espace vert à Kabaria près d'El Mourouj 2 (30 hectares) et un projet autour d'Oued El Sebai à El Omrane (20 hectares). Ces mesures s'inscrivent dans une stratégie globale visant à renforcer la résilience urbaine et à améliorer la qualité de vie des habitants.[66]

[66] Ben Abdallah, M. (2022). Changement climatique & Plan vert de la commune de Tunis. Consulté le 27 novembre 2024, sur https://fr.slideshare.net/slideshow/prsentation-du-changement-climatique-plan-vert-de-tunismbapdf/261997013

- **Forêt urbaine d'El Agba : renforcer les liens avec la nature**

La capitale tunisienne, Tunis, accueille sa première forêt urbaine, El Agba, un espace boisé de 3 hectares aménagé avec des infrastructures de repos en bois et un point de vente de produits locaux. Ce projet, réalisé par la direction des forêts du Commissariat régional au développement agricole de Tunis (CRDA), s'est concrétisé en un an avec un budget de 200 000 dinars, selon Mouldi Ben Mohamed, commissaire régional au développement agricole. Cette initiative constitue un modèle de développement vert, intégrant les espaces naturels dans une stratégie de planification urbaine durable. Située en périphérie, la forêt urbaine d'El Agba (**Figure 42**) répond aux besoins croissants de détente et de lien avec la nature, tout en renforçant la résilience environnementale. Elle illustre un choix écologique pertinent pour les villes en pleine expansion, offrant des solutions aux défis de l'urbanisation tout en améliorant la qualité de vie urbaine[67].

**Figure 42.**Forêt urbaine d'El Agba.Source : https://cdn2.webmanagercenter.com/wmc/wp-content/uploads/2019/04/for%C3%AAt-urbain-elagba-1.jpg

- **Restauration ou réhabilitation de Parcs Urbains et jardins**

La mise en œuvre de ces initiatives vise à garantir l'accessibilité des espaces verts tout en contribuant à l'amélioration de la qualité de l'air en milieu urbain et à la préservation de la biodiversité. Conçus selon des principes d'aménagement écologique, ces parcs intègrent à la fois la plantation d'espèces végétales locales adaptées aux conditions climatiques et l'intégration de dispositifs de bio-rétention pour la gestion des eaux pluviales. Parmi les priorités patrimoniales figure la restauration et la préservation du Parc du Belvédère, un élément paysager emblématique de Tunis (**Figure 43**), conçu en 1892 par Joseph Lafourcade. Face aux menaces liées à l'urbanisation et à la dégradation environnementale, des interventions de réhabilitation s'imposent pour assurer sa conservation. Depuis les années 1960, des efforts de reforestation ont été entrepris autour de Djebel Lahmar afin de limiter l'expansion urbaine, mais ces initiatives n'ont pas suffi à enrayer les processus de détérioration écologique et patrimoniale du parc.

[67] Tunisie : Forêt urbaine d'El Agba, ou quand Tunis renforce l'esprit de proximité avec la nature. 22 avril 2019. WMC avec TAP. https://www.webmanagercenter.com/

Dans cette optique, en 2015, la municipalité, en collaboration avec l'Association des Amis du Belvédère, a initié une demande de classement du parc en jardin historique. Cette reconnaissance permettrait d'accéder à des ressources et financements dédiés pour assurer sa protection et son développement durable. Ce statut permettrait de mobiliser des moyens pour :

-Restaurer les infrastructures paysagères et hydrauliques (allées, plans d'eau, aménagements).

-Revitaliser la végétation en remplaçant les espèces dégradées par des plantations adaptées au climat.

-Réhabiliter les zones dégradées pour mieux intégrer le parc à son environnement urbain.

**Figure 43.** Le parc Belvédère . https://www.tripadvisor.fr/Attraction_Review-g293758-d9758158-Reviews-Belvedere_Park-Tunis_Tunis_Governorate.html

Le Bureau d'études chargé du projet devra établir un diagnostic précis, identifier les menaces et proposer une stratégie durable. Ces efforts visent à renforcer la fonction écologique et le rôle culturel du parc, tout en garantissant sa transmission aux générations futures[68].

Le Jardin de la Méditerranée représente un projet emblématique mené par la Municipalité de Tunis, avec le soutien de l'Association Internationale des Maires Francophones (AIMF). Sa première phase, s'étendant sur 8,5 hectares, a nécessité un investissement de 1,5 million de dinars et comprend une oasis, un vaste espace vert de 61 000 m², des allées aménager, un réseau d'irrigation ainsi que des équipements modernes. La seconde phase, couvrant 7 hectares, vise à élargir les espaces végétalisés, à réduire la pollution urbaine et à offrir davantage d'espaces de loisirs, avec un financement estimé à 500 000 dinars. Le Jardin des Plantes du Belvédère, initié en 2001 sur une superficie de 101 850 m², reflète l'engagement en faveur de la conservation de la flore locale. Ce projet, bénéficiant d'un budget de 480 000 dinars, intègre des jardins thématiques (roses, plantes aquatiques et médicinales), un musée environnemental et une pépinière dédiée à la préservation et à la reproduction des espèces végétales.

Enfin, le Jardin Gorjéni a fait l'objet de travaux de réaménagement, notamment l'installation de réseaux d'irrigation et d'électrification, pour un coût de 250 000 dinars. Ces efforts

[68] Ministère de l'Environnement. (2022). Biodiversité urbaine. Consulté le 27 novembre 2024, sur https://www.environnement.gov.tn/tunisie-environnement/lenvironnement-urbain/biodiversite-urbaine

témoignent de la volonté des autorités locales d'améliorer la qualité des espaces verts, d'assurer leur durabilité et de renforcer leur rôle dans l'embellissement du cadre de vie urbain. Ces projets reflètent la volonté de Tunis de renforcer son patrimoine écologique tout en améliorant la qualité de vie urbaine[69].

- **État des Zones Humides et projets de restauration**

Les zones humides autour de Tunis jouent un rôle important dans la régulation des cycles hydrologiques et la purification de l'eau. Les projets de restauration de ces zones humides visent à réhabiliter ces écosystèmes essentiels qui ont été dégradés par le développement urbain et les pratiques agricoles intensives. Il a été constaté une diminution de 10 % des habitats humides naturels, soit une perte de 1 329 km², principalement convertis en terres agricoles (71 % des pertes). Parallèlement, les habitats humides artificiels ont augmenté de 105 %, représentant un gain de 854 km². L'urbanisation, bien que moins impactante directement, a contribué à la conversion des terres agricoles périurbaines, exerçant une pression supplémentaire sur les habitats naturels. On met en évidence la convergence des enjeux écologiques, sociaux et économiques dans les zones humides littorales méditerranéennes, soumises à des pressions croissantes dues à l'urbanisation, au tourisme et au développement d'infrastructures industrielles et de transport. (Beltrame et al,2015).

L'étude des structures de végétation et les enjeux de conservation des zones humides temporaires à l'exemple de la région des Mogods, au nord de la Tunisie, a mené des inventaires floristiques et des relevés phytosociologiques sur 36 de ces zones, révélant une diversité spécifique et biocénotique notable, influencée principalement par la nature du substrat et les conditions hydrologiques. Parmi les 128 espèces hydrophytiques recensées, 38 sont actuellement en situation précaire et 6 sont présumées disparues. La région abrite également des habitats rares, tels que des tourbières et des lacs semi-permanents, ainsi qu'une vaste plaine, la Garâa Sejenane, riche en milieux humides temporaires. Ces résultats soulignent l'urgence d'une gestion conservatoire adaptée, fondée sur des études approfondies de la structure et du fonctionnement des communautés hydrophytiques locales (Jamaa,2010).

Les efforts de restauration incluent donc la réintroduction de végétation native, la reconstruction de berges naturelles, et l'amélioration des systèmes d'hydrologie pour restaurer leur fonction écologique originale Ces zones humides restaurées fournissent des services écosystémiques vitaux, ce qui contribue non seulement à la santé environnementale, mais aussi à la protection contre les inondations et les sécheresses. De plus, elles offrent des habitats précieux pour une grande diversité d'espèces aquatiques et terrestres, renforçant ainsi la biodiversité locale.

- **Développement de Corridors Verts**

Le développement de corridors verts à Tunis est stratégique pour connecter les espaces verts existants, permettant la libre circulation des espèces et renforçant la connectivité écologique surtout pour ceux ayant connu des fragmentations. Ces corridors facilitent aussi la mobilité humaine, encourageant des modes de transport doux comme la marche et le vélo, et jouent un rôle déterminant dans la création d'un réseau écologique intégré. Ces initiatives bénéficient du soutien

[69] Commune de Tunis .Les espaces verts . ;Projets de création et de maintenance des jardins. http://www.commune-tunis.gov.tn/publish/content/article.asp?ID=767

de politiques nationales de conservation qui reconnaissent l'importance de la biodiversité et des services écosystémiques pour le bien-être humain et le développement durable. Toutefois, elles sont confrontées à des défis tels que le financement insuffisant et les pressions de l'urbanisation continue.

### b. Cadre Législatif et Réglementation Environnementale de la Trame Verte en Tunisie

La Tunisie dispose d'un cadre législatif solide qui soutient la protection de l'environnement et la conservation de la biodiversité, constituant un fondement légal essentiel pour l'implémentation de la trame verte. Cet engagement est ancré dans une série de textes juridiques et principes adoptés à l'échelle nationale et internationale. Le Code de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme (CATU), à travers ses articles 9, 11, 12[70] et 20[71] de la Loi n°94-122 du 28 Novembre 1994, Code d'aménagement du territoire et de l'urbanisme, régit la planification et la gestion des espaces verts dans une perspective de développement urbain durable. Ces dispositions encadrent la création, la protection et l'intégration des espaces verts dans les projets d'urbanisme, soulignant leur rôle dans l'amélioration de la qualité de vie. Au-delà des textes législatifs nationaux, la Tunisie exprime également un engagement moral et international à travers l'adoption des principes du développement durable dans la Déclaration de Rio (1992), qui place la durabilité au cœur des politiques publiques. En 2014, cet engagement s'est renforcé avec la reconnaissance officielle des espaces verts comme indicateur de qualité de vie par l'Observatoire Tunisien de l'Environnement et du Développement Durable (OTEDD) (Fatmi & Rejeb, 2016) . Ce cadre législatif et moral témoigne d'une volonté claire de concilier développement urbain et durabilité environnementale, positionnant les espaces verts comme des éléments centraux dans les politiques d'aménagement et de protection des écosystèmes urbains en Tunisie.

- **Code de l'Environnement**

Le Code de l'Environnement, adopté en 1993, constitue le socle de la politique environnementale en Tunisie. Il établit les principes fondamentaux pour la gestion environnementale, incluant la conservation des habitats naturels et la promotion du développement durable. Ce code vise à intégrer la protection de l'environnement dans tous les aspects de la gouvernance nationale, tels que l'agriculture, l'industrie et l'aménagement urbain, favorisant ainsi une approche globale qui soutient les initiatives de trame verte. En 2022, un projet de révision du Code de l'Environnement a été élaboré pour harmoniser et renforcer le cadre juridique existant. Ce projet propose de rassembler, en 400 articles, le corpus juridique environnemental autour de plusieurs titres, notamment les dispositions générales, la gouvernance environnementale, la

[70] L'article 12:Les plans d'aménagement urbain (PAU) fixent notamment les règles et servitudes d'utilisation des sols et déterminent [...] les emplacements réservés aux ouvrages, aux équipements collectifs, aux équipements d'utilité publique, aux espaces verts et aux places publiques; et ce conformément à une grille d'équipement fixée par décret »

[71] L'article 20 du CATU: "un espace vert ayant acquis cette vocation par l'effet d'un plan d'aménagement, ne peut la perdre que par décret pris sur proposition du Ministre chargé de l'Urbanisme, après avis du Ministre chargé de l'Environnement et de l'aménagement du territoire."

protection des écosystèmes, la lutte contre les effets des changements climatiques, et le financement de la protection de l'environnement dans le contexte de la transition écologique[72].

- **Loi sur les Aires Protégées en Tunisie : Cadre Juridique et Enjeux**

La Tunisie a mis en place un cadre législatif structuré pour la protection et la gestion des aires naturelles protégées, s'appuyant sur plusieurs dispositifs juridiques. Parmi eux, la loi n° 2009-49 du 20 juillet 2009, relative aux aires marines et côtières protégées, vise à préserver la biodiversité et les écosystèmes marins tout en garantissant leur utilisation durable dans une perspective de développement équilibré[73] . En parallèle, le cadre réglementaire des aires protégées terrestres est principalement régi par le Code forestier, qui définit les modalités de création et de gestion des parcs nationaux et réserves naturelles. Actuellement, la Tunisie compte 17 parcs nationaux et 27 réserves naturelles, couvrant environ 7 % du territoire national[74]. Ce réseau joue un rôle clé dans la conservation des espèces et la résilience écologique face aux pressions anthropiques et climatiques. Cependant, des défis persistent, notamment en matière de financement, de fragmentation des habitats naturels et d'application effective des plans de gestion[75] . Le Plan d'Action pour l'Application du Programme de Travail sur les Aires Protégées, élaboré en collaboration avec le Ministère de l'Agriculture et le Ministère de l'Environnement, met en avant des recommandations pour améliorer l'efficacité de gestion et la représentativité écologique des aires protégées tunisiennes[76] .Il propose des ajustements stratégiques afin de combler les lacunes actuelles et d'optimiser la connectivité écologique entre les habitats naturels. Ces instruments législatifs et stratégiques s'inscrivent dans une approche globale visant à intégrer les trames vertes et bleues comme outils essentiels d'aménagement durable du territoire. Ils permettent ainsi de favoriser la conservation de la biodiversité tout en accompagnant le développement urbain et économique du pays.

- **Cadre Juridique de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme en Tunisie**

Le Code de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme, promulgué par la Loi n°94-122 du 28 novembre 1994, constitue la référence législative principale régissant l'organisation spatiale en Tunisie. Cette législation vise à intégrer des principes de développement durable dans la planification urbaine et territoriale en imposant l'adoption de stratégies environnementales, notamment à travers la préservation des espaces verts et des corridors écologiques. Cette loi exige également que les nouvelles constructions et projets de réhabilitation urbaine incluent des espaces verts afin de renforcer la qualité environnementale et de garantir une meilleure qualité de vie en

[72] République Tunisienne, Ministère de l'Environnement. (2022). Projet de Code de l'Environnement. Consulté sur https://www.environnement.gov.tn/fileadmin/Bibliotheque/Projet_Code_Environnement/projet_code_environnement_fr.pdf.

[73] République Tunisienne. (1994). Loi n°94-122 du 28 novembre 1994, portant promulgation du Code de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme. Journal Officiel de la République Tunisienne. Disponible sur : https://www.fao.org/faolex/results/details/fr/c/LEX-FAOC016294/

[74] Ministère des Affaires Locales et de l'Environnement. (2022). Les Aires Protégées en Tunisie : État des lieux et perspectives. Disponible sur : https://www.environnement.gov.tn/fileadmin/Bibliotheque/Projets_en_cours/Ecotourisme_en_Tunisie/Documentation_projet_ecotourisme/les_aires_proteges.pdf

[75] RAC/SPA (Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées). (2010). Fiche descriptive sur les Aires Marines Protégées en Tunisie. Disponible sur : https://www.rac-spa.org

[76] CBD – Convention sur la Diversité Biologique. (2012). Plan d'Action pour l'Application du Programme de Travail sur les Aires Protégées (PdTAP). Disponible sur : https://www.cbd.int/doc/world/tn/tn-nbsap-powpa-fr.pdf

milieu urbain[77] . Sa mise en œuvre est assurée en partie par l'Agence Foncière d'Habitation (AFH), un organisme public chargé de planifier et d'encadrer l'urbanisation, en veillant notamment à la réduction de la pression foncière et à la promotion d'un développement urbain harmonieux. L'AFH joue un rôle clé dans la lutte contre l'expansion anarchique des villes et s'assure que l'aménagement du territoire réponde aux impératifs sociaux et environnementaux[78].

Le cadre législatif tunisien offre une base solide pour l'implémentation des trames vertes. Toutefois, des défis persistent, notamment en termes de cohérence entre les différentes législations et de manque de ressources pour l'application effective des lois. De plus, la sensibilisation et l'engagement des acteurs locaux et de la population restent décisifs pour la réussite de ces initiatives. Le renforcement et l'harmonisation des cadres législatifs et réglementaires, accompagnés d'un engagement politique et communautaire fort, sont essentiels pour que la Tunisie puisse exploiter pleinement le potentiel des trames vertes pour répondre aux défis environnementaux et climatiques actuels et futurs.

### 2.3.3. Politiques et Stratégies de Développement de la Trame Verte en Tunisie

Au-delà de la législation, la Tunisie a établi des politiques et des stratégies pour soutenir le développement des trames vertes, s'alignant sur les enjeux environnementaux contemporains et les objectifs de développement durable.

#### a-Stratégie Nationale de DD (2015-2020) : Un Cadre Intégré pour la Résilience Environnementale

La Stratégie Nationale de Développement Durable (SNDD) 2015-2020 de la Tunisie s'inscrit dans une dynamique de transition écologique visant à renforcer la résilience environnementale et à promouvoir un développement équilibré et durable sur l'ensemble du territoire. Cette stratégie met particulièrement l'accent sur l'expansion des espaces verts urbains et l'amélioration de la connectivité écologique entre les zones naturelles, favorisant ainsi une meilleure adaptation aux changements climatiques et la préservation de la biodiversité. L'un des objectifs majeurs de cette stratégie est de réduire la fragmentation des écosystèmes, en intégrant des infrastructures vertes au sein des milieux urbanisés et périurbains. Cela permet d'optimiser les services écosystémiques, notamment en matière de régulation climatique, d'amélioration de la qualité de l'air et de gestion des ressources hydriques. En outre, la SNDD encourage l'adoption de pratiques écologiquement responsables dans l'aménagement du territoire, en promouvant des politiques publiques intégrées qui associent préservation de l'environnement et développement socio-économique[79] .

[77]République Tunisienne. (1994). Loi n°94-122 du 28 novembre 1994, portant promulgation du Code de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme. Journal Officiel de la République Tunisienne. Disponible sur : https://www.fao.org/faolex/results/details/fr/c/LEX-FAOC016294/

[78]Agence Foncière d'Habitation. (s.d.). Présentation de l'AFH. Disponible sur : https://www.facebook.com/AFHofficiel/

[79] République Tunisienne. (2015). Stratégie Nationale de Développement Durable 2015-2020. Ministère des Affaires Locales et de l'Environnement. Disponible sur : https://www.environnement.gov.tn/fileadmin/Bibliotheque/Developpement_durable/SNDD_Rapport_final.pdf

Enfin, cette stratégie vise également à renforcer les capacités écologiques des régions urbaines et rurales, afin d'accroître leur résistance aux pressions environnementales et climatiques. En encourageant une gouvernance durable, elle favorise la mise en place de mesures concrètes pour une gestion plus efficace des espaces naturels et une harmonisation entre urbanisation et conservation écologique.

**b-Plan National d'Adaptation au Changement Climatique : Intégration des TV**

Face aux défis posés par le changement climatique, la Tunisie a adopté une Stratégie Nationale sur le Changement Climatique, qui promeut des solutions fondées sur la nature afin de renforcer la résilience environnementale des territoires urbains et ruraux[80] . Parmi ces stratégies, l'expansion des trames vertes joue un rôle central en permettant une régulation thermique locale, une meilleure gestion des eaux pluviales, ainsi que la création de corridors écologiques facilitant la migration des espèces et le maintien des écosystèmes[81]. Ces mesures visent à intégrer les infrastructures vertes dans les politiques d'aménagement du territoire et à encourager des pratiques respectueuses de l'environnement pour garantir une durabilité à long terme. L'objectif est de favoriser un développement urbain équilibré tout en assurant la protection et la restauration des milieux naturels menacés par l'urbanisation et le changement climatique.

**c-Conventions Internationales : Engagements de la Tunisie en Faveur des TV**

La Tunisie est partie prenante de plusieurs conventions internationales qui influencent la mise en œuvre des trames vertes et bleues en intégrant les principes de conservation de la biodiversité et d'adaptation climatique dans les stratégies nationales :

- **Convention sur la Diversité Biologique (CDB) :** En adhérant à cette convention, la Tunisie s'engage à préserver sa diversité biologique et à garantir une gestion durable des ressources naturelles[82] . La mise en place de réseaux écologiques interconnectés constitue ainsi une priorité afin de maintenir les habitats naturels et de renforcer la résilience des écosystèmes.

- **Convention de Ramsar sur les zones humides :** Ce traité engage la Tunisie à protéger et gérer durablement ses zones humides, qui jouent un rôle essentiel dans la régulation des cycles hydrologiques et la purification des eaux[83] . Ces espaces sont souvent intégrés dans les trames vertes urbaines, participant ainsi à l'atténuation des îlots de chaleur et à la préservation des habitats aquatiques et terrestres.

**d-Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) : Un Levier pour le Développement des Trames Vertes en Tunisie**

Ratifiée par la Tunisie en 1993, la Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) constitue le cadre international de référence pour la mise en œuvre des politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'adaptation aux

[80]République Tunisienne. (2012). Stratégie Nationale sur le Changement Climatique. Disponible sur : https://cc-tunisie.com/wp-content/uploads/2022/04/Strategie-Nationale-CC-2012.pdf

[81] République Tunisienne. (2018). Stratégie et Plan d'Action Nationaux pour la Biodiversité 2018-2030. Disponible sur : https://dev-chm.cbd.int/doc/world/tn/tn-nbsap-oth-fr.pdf

[82] Idem

[83] Ramsar. (s.d.). Profil de la Tunisie et Engagements Internationaux sur les Zones Humides. Disponible sur : https://www.ramsar.org/fr/country-profile/tunisie

impacts climatiques[84] . Dans cette dynamique, la Tunisie a intégré des stratégies visant à renforcer la résilience de ses territoires face aux risques climatiques, en favorisant des approches territoriales et écologiques adaptées[85].

L'intégration des trames vertes dans les politiques d'adaptation s'inscrit dans cette vision, offrant une réponse efficace aux défis environnementaux. Ces infrastructures permettent de limiter les îlots de chaleur urbains, de renforcer la connectivité écologique et d'améliorer la gestion des ressources naturelles. En outre, elles contribuent à une planification urbaine durable, alignée sur les engagements internationaux du pays en matière de lutte contre la vulnérabilité climatique[86] (Ministère de l'Environnement, 2012). En s'appuyant sur les principes de la CCNUCC, la Tunisie développe des solutions intégrées visant à réduire les pressions environnementales et à assurer une gestion optimale des espaces naturels. Cette démarche favorise une cohérence entre le développement territorial et la préservation de l'environnement, tout en intégrant pleinement les enjeux climatiques dans la planification nationale.

### 2.3.4. Synthèse de l'expérience Tunisienne de TV

L'expérience tunisienne en matière de trames vertes s'inscrit dans une dynamique où les engagements internationaux et les stratégies nationales convergent vers une gestion intégrée des écosystèmes et une urbanisation durable. En tant que pays méditerranéen confronté à des défis environnementaux majeurs – urbanisation rapide, dégradation des écosystèmes et vulnérabilité climatique – la Tunisie a progressivement intégré la trame verte comme un levier stratégique pour répondre aux enjeux de résilience urbaine et d'aménagement écologique. Cette approche repose sur une planification territoriale durable, articulée autour de la conservation de la biodiversité, la restauration des écosystèmes, et l'amélioration du cadre de vie urbain. La mise en place de trames vertes en Tunisie ne se limite pas à une réponse environnementale, mais s'inscrit dans une vision globale de développement territorial, favorisant à la fois la réduction des îlots de chaleur urbains, la gestion optimisée des ressources en eau, et la création d'espaces de bien-être pour les populations.

Toutefois, cette ambition se heurte à plusieurs défis, notamment le manque de financements dédiés, l'articulation entre les politiques sectorielles, et les pressions démographiques croissantes qui intensifient l'étalement urbain. Malgré ces contraintes, la Tunisie démontre que les trames vertes peuvent constituer un outil structurant pour la résilience urbaine et la transition écologique, en adoptant des solutions fondées sur la nature adaptée à ses spécificités territoriales. Au-delà d'une simple mesure d'aménagement, la trame verte s'impose comme une philosophie de l'urbanisme durable, réinventant la ville comme un espace écosystémique intégré, où la nature et l'humain coexistent de manière harmonieuse. À travers cette approche, la Tunisie tente d'esquisser une feuille de route adaptable aux contextes méditerranéens, offrant un modèle

[84] CCNUCC (1992). Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques. Nations Unies. Disponible sur : https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convfr.pdf

[85] République Tunisienne. (2012). Stratégie Nationale sur le Changement Climatique. Ministère de l'Environnement. Disponible sur : https://cc-tunisie.com/wp-content/uploads/2022/04/Strategie-Nationale-CC-2012.pdf

[86] Ministère de l'Environnement. (2012). A'sima – Rapport Plan d'Action. République Tunisienne. https://medcities.org/fr/project/asima-tunis-strategic-plan-of-tunis-7/.

reproductible pour les villes cherchant à concilier développement urbain et préservation environnementale.

## Conclusion

Ce chapitre a permis d'analyser de manière approfondie le déploiement des trames vertes dans différents contextes urbains à Paris, Marseille et en Tunisie. À travers une approche basée sur l'écologie urbaine et le développement durable, il a été possible d'examiner comment chaque région adapte ses trames vertes pour répondre aux défis locaux, tout en améliorant la biodiversité, la qualité de vie et la résilience écologique de ces villes.

Les initiatives de Paris et Marseille illustrent des stratégies élaborées pour intégrer des éléments naturels dans des environnements urbains denses, atténuant ainsi les effets des îlots de chaleur et améliorant la qualité de l'air. À Paris, la mise en place d'une ceinture verte et bleue témoigne d'une approche anticipative de la biodiversité urbaine, grâce à un réseau écologique bien connecté, qui répond aux enjeux environnementaux tout en favorisant la santé publique et la cohésion sociale. À Marseille, la connexion entre les zones urbaines et le Parc national des Calanques met en lumière le double rôle des trames vertes, en tant que services écosystémiques essentiels et espaces de loisirs, renforçant ainsi une interface harmonieuse entre ville et nature.

En Tunisie, les trames vertes jouent un rôle essentiel dans l'adaptation à l'urbanisation rapide et aux effets du changement climatique. Elles sont utilisées comme outils stratégiques dans la planification urbaine pour gérer les ressources en eau, restaurer les terres dégradées et faire face aux fluctuations climatiques. Ces initiatives soulignent l'importance d'une planification écologique non seulement pour répondre aux préoccupations immédiates, mais aussi pour assurer la durabilité à long terme.

L'étude comparative de ces trois régions montre une reconnaissance commune de l'importance des trames vertes dans le développement urbain. Malgré les différences géographiques et socio-économiques, les principes de base – amélioration des écosystèmes urbains, soutien à la biodiversité et amélioration de la qualité de vie grâce à des infrastructures vertes – sont universellement reconnus. Cette analyse met en lumière la nécessité d'un engagement communautaire solide, de modèles financiers durables, d'un soutien réglementaire efficace et de technologies innovantes pour garantir le succès des trames vertes. Cette exploration des trames vertes à Paris, Marseille et en Tunisie enrichit le débat sur l'urbanisme durable. Elle offre des perspectives utiles pour les décideurs et les urbanistes, en insistant sur l'importance d'une planification urbaine intégrée et participative qui met au premier plan les dimensions écologiques et sociales du développement. Les leçons tirées de ces expériences montrent que les trames vertes peuvent devenir des éléments centraux dans la conception des villes de demain, rendant les espaces urbains ou suburbains non seulement plus habitables et résilients, mais aussi des écosystèmes dynamiques à part entière.

Cependant, la structure verte va au-delà d'une simple approche pratique d'aménagement urbain, elle s'inscrit comme une véritable philosophie, une manière de repenser nos villes et leur avenir. En envisageant la structure verte non seulement comme un outil d'aménagement, mais comme un cadre philosophique, nous ouvrons la voie à une transformation radicale des environnements urbains et suburbains. Cette vision ne se contente pas de gérer les défis environnementaux actuels, elle aspire à réinventer entièrement le rapport entre les citoyens, la nature et l'urbanité. C'est dans cet esprit que nous abordons le Chapitre suivant : La Structure Verte comme Approche et Philosophie. Dans ce dernier, nous tenterons d'analyser et de comprendre comment la structure verte, plus qu'une approche technique, peut devenir une philosophie fondatrice capable de transformer le destin de nos villes. Il s'agira d'examiner en quoi cette vision systémique offre non seulement des solutions aux problèmes contemporains, mais propose également une nouvelle manière d'envisager l'urbanisme et la relation entre l'homme et son environnement.

# Chapitre 3
# La structure verte comme approche et philosophie : un essai d'analyse et de compréhension

**CHAPITRE 3 : LA STRUCTURE VERTE COMME APPROCHE ET PHILOSOPHIE : ESSAI D'ANALYSE ET DE COMPREHENSION**

# Introduction

Dans le domaine de l'urbanisme, le terme "structure verte" désigne une stratégie intégrée visant à incorporer des éléments naturels dans les environnements bâtis, favorisant ainsi la création de réseaux écologiques urbains qui supportent à la fois la biodiversité et le bien-être humain. Plus qu'une simple approche fonctionnelle pour la gestion des espaces verts, la structure verte est une philosophie de conception urbaine qui influence de manière fondamentale la manière dont les villes sont planifiées, conçues, et habitées. Face à des enjeux environnementaux pressants et à une urbanisation rapide, cette philosophie émerge comme un principe directeur vital pour le développement de villes durables, résilientes, et inclusives.

Ce chapitre se propose d'explorer en profondeur le concept complexe de structure verte. En adoptant une démarche méthodologique rigoureuse et une perspective conceptuelle, nous analyserons les composantes, les caractéristiques distinctives, et le rôle transformateur de la structure verte dans le remaniement des espaces urbains contemporains. L'analyse se structure autour de trois axes principaux, illustrant la portée et la nécessité d'une approche interdisciplinaire pour appréhender pleinement le concept.

Le premier axe du chapitre initie une exploration transdisciplinaire, examinant comment le concept structure est perçue et mise en application dans divers champs disciplinaires, notamment la philosophie, l'écologie, l'architecture, et l'urbanisme. Cette section vise à établir un cadre théorique pour le concept, révélant la richesse de ses interprétations et la diversité de ses applications, tout en soulignant les convergences et divergences entre les différentes disciplines.

Dans le deuxième segment, nous approfondissons la définition de la structure verte, en identifiant les indicateurs clés et les exigences pour sa mise en œuvre efficace. Cette analyse détaille les dimensions pratiques de la structure verte, depuis son intégration avec les systèmes écologiques locaux jusqu'à son impact sur la promotion de modes de vie urbains durables et sains.

Le dernier axe traite de la structure verte comme une stratégie révolutionnaire pour construire des villes plus résilientes et durables. À travers des études de cas et des exemples concrets, nous explorons les effets tangibles de la mise en œuvre de la structure verte sur la qualité de vie urbaine, la santé environnementale, et la durabilité des écosystèmes urbains.

À travers une analyse minutieuse, des perspectives critiques, et des exemples illustratifs, ce chapitre vise à enrichir notre compréhension de la structure verte et à inspirer des pratiques novatrices dans la planification et la conception urbaine. En adoptant une perspective globale et intégrée, il aspire à ouvrir de nouvelles voies pour le développement de villes qui répondent aux impératifs écologiques et sociaux des temps modernes.

## 3.1. Le Concept Structure : Un Usage Pluridisciplinaire

### 3.1.1. Le Concept de Structure en Philosophie : Approche Structuraliste

Le concept de structure constitue un cadre essentiel dans la réflexion philosophique, permettant d'analyser les principes d'organisation sous-jacents aux réalités ontologiques, épistémologiques et sociales. Depuis l'Antiquité, il est mobilisé pour expliquer comment les éléments constitutifs du réel interagissent et s'articulent en un ensemble cohérent. À travers les siècles, cette notion a évolué et s'est diversifiée selon les champs disciplinaires, s'adaptant aux nouvelles orientations philosophiques. Dans les traditions métaphysique et ontologique, la structure est envisagée comme un mode d'organisation fondamental de l'existence. Aristote, dans la Métaphysique, distingue les substances, formes et accidents, établissant ainsi une hiérarchie ontologique des entités existantes (Aristote, 1953). Cette idée est revisitée plus tard par Heidegger, qui propose une analyse phénoménologique mettant en évidence la configuration existentielle du Dasein, structuré par ses rapports au monde, aux autres et au temps (Heidegger, 1986). Dans ces perspectives, la structure est perçue comme un cadre relationnel stable, définissant les interactions entre les différentes dimensions de l'être.

En philosophie du langage et de la connaissance, la structure est abordée comme un principe organisateur des systèmes de pensée. Kant développe l'idée que la connaissance repose sur des structures a priori, qui façonnent la perception et l'interprétation du monde (Kant, 1986). De même, Wittgenstein explore la structure du langage en mettant en avant l'importance des règles et des conventions dans la construction du sens. Ces analyses montrent que la structure ne se limite pas à une réalité extérieure, mais s'étend également aux modèles de pensée et d'interprétation, qui permettent d'ordonner et d'organiser le savoir (Wittgenstein, 1961).

Dans le domaine des sciences humaines et sociales, le concept de structure prend une dimension méthodologique avec l'émergence du structuralisme. Cette approche postule que les phénomènes sociaux et culturels sont régis par des schémas sous-jacents, indépendants des actions individuelles. Saussure établit les fondements de cette perspective en linguistique, distinguant la langue, perçue comme un système structuré de signes, et la parole, qui en constitue l'usage individuel (Douglas ,1986). Cette conception sera approfondie par Jakobson et Lévi-Strauss, qui appliquent cette méthode à l'analyse des systèmes de communication et des structures mythologiques, révélant ainsi l'existence de schémas universels dans l'organisation des récits et des cultures (Jakobson, 1963 ; Lévi-Strauss, 1958).

Le structuralisme a également marqué la philosophie marxiste, notamment à travers les travaux d'Althusser, qui met en avant la prééminence des structures idéologiques et économiques dans la formation des relations sociales (Althusser, 1965). Cette approche déplace l'attention de l'individu vers les mécanismes sous-jacents régissant les rapports de pouvoir, introduisant ainsi une lecture déterministe des dynamiques sociales. De manière complémentaire, Barthes applique l'analyse structurale aux textes littéraires et aux phénomènes culturels, en mettant en évidence les codes narratifs et sémiotiques qui régissent la production du sens (Barthes, 1964).

Enfin, la question de la structure est revisitée dans les travaux de Michel Foucault, qui bien que rattaché au post-structuralisme, adopte dans ses premières recherches une approche centrée sur les systèmes discursifs et institutionnels. Dans les Mots et les Choses, il démontre comment les épistémès –c'est-à-dire les cadres de pensée dominants à une époque donnée – imposent une

organisation spécifique du savoir (Foucault, 1966). Cette analyse structurelle du pouvoir et du discours permet de mieux comprendre les mécanismes de régulation qui influencent la production et la circulation des connaissances. Ainsi, à travers les multiples domaines philosophiques où elle est mobilisée, la notion de structure se révèle être un outil analytique incontournable, permettant d'examiner aussi bien la réalité ontologique que les systèmes de pensée et d'organisation sociale. Plus qu'un simple modèle explicatif, elle constitue une grille de lecture essentielle pour comprendre la manière dont les éléments constitutifs du monde s'articulent entre eux et influencent les dynamiques du savoir et du pouvoir.

### 3.1.2. Le Concept de Structure en Linguistique : Définitions et Perspectives

Le concept de « **structure** » constitue une notion essentielle en linguistique, où il est abordé à travers une analyse précise et multiscalaire. Les dictionnaires généraux, tels que **l'Oxford English Dictionary** dans sa 2eme édition, (1998), définissent la « **Structure** » comme ***« l'arrangement et l'ordre des mots dans une phrase »*** ou encore comme ***« la manière dont les parties d'un système linguistique sont organisées »***. Ces définitions mettent en lumière une vision générale du terme, qui évoque l'organisation interne d'un système linguistique. Cette conception s'inscrit dans la perspective théorique de Ferdinand de Saussure, pour qui le langage se définit comme un système de signes interdépendants. Selon Saussure, chaque élément linguistique tire son sens des relations structurales qu'il entretient avec les autres éléments du système, soulignant ainsi la centralité des interactions et des relations dans l'analyse linguistique.

Dans une optique plus spécialisée, **The Cambridge Dictionary of Linguistics** (Brown & Miller, 2013) approfondit cette notion en définissant la « **structure** » comme ***« un modèle d'organisation inhérent aux divers niveaux de la langue »***. Ces niveaux incluent la phonologie, qui examine la structure des sons, la morphologie, qui s'intéresse à la structure des mots, la syntaxe, qui traite de la structure des phrases, et la sémantique, qui analyse la structure du sens. Une telle approche reflète une systématicité qui s'accorde avec les principes fondateurs des théories structuralistes, notamment ceux de Leonard Bloomfield. Dans son ouvrage majeur Langage (1933), Bloomfield souligne l'importance des règles et des relations hiérarchiques dans l'analyse linguistique. Pour lui, l'étude des structures linguistiques permet d'appréhender l'organisation systématique de la langue, une démarche qui constitue l'un des fondements méthodologiques du structuralisme. Ainsi, les définitions issues de ces différentes sources convergent vers une compréhension approfondie de la « **structure** » comme outil analytique central en linguistique.

Les dictionnaires spécialisés en linguistique appliquée, tels que **The Routledge Dictionary of Language and Linguistics** (Bussmann, 1996), définissent souvent la « **structure**» en termes pratiques, la décrivant comme un cadre essentiel pour l'enseignement de la grammaire. Ces ouvrages caractérisent la structure comme ***« les schémas grammaticaux et syntaxiques qui sous-tendent l'usage correct d'une langue »***. Cette définition rejoint les théories d'Adele E. Goldberg, qui met en avant les constructions grammaticales comme des blocs de construction fondamentaux dans l'acquisition et l'utilisation d'une langue (Goldberg, 1995). Par ailleurs, des ressources encyclopédiques comme **l'Encyclopædia Britannica** décrivent la structure linguistique comme « ***la configuration des éléments linguistiques tels que les sons, les mots et les constructions syntaxiques dans le discours*** ». Une telle conception s'aligne sur les travaux de Noam Chomsky, qui distingue entre la structure de surface et la structure profonde dans l'analyse syntaxique.

Chomsky illustre ainsi comment des phrases partageant une structure superficielle similaire peuvent posséder des structures profondes distinctes (Chomsky, 1965).

Le concept de structure en linguistique, bien qu'exploré sous différents angles, se définit globalement comme **un principe d'organisation systémique** qui régit les éléments constitutifs du langage. Les définitions issues des diverses sources convergent sur l'idée que la structure linguistique repose sur **un mode d'organisation hiérarchisé des unités** de la langue, qu'il s'agisse des sons en phonologie, des mots en morphologie, des phrases en syntaxe ou du sens en sémantique. Cette approche systématique reflète la nécessité d'un cadre structurant qui permet d'analyser la langue dans sa cohérence interne et ses multiples niveaux d'articulation. La structure est également pensée comme **un réseau de relations interdépendantes** entre les éléments linguistiques. Cette vision met en avant l'idée que chaque unité tire son sens et sa fonction des liens qu'elle entretient avec les autres composantes du système, ce qui inscrit l'analyse linguistique dans une approche relationnelle. Cette conception est particulièrement prégnante dans les courants structuralistes et génératives, qui placent la structure au cœur des mécanismes de fonctionnement de la langue. Dans cette perspective, l'organisation linguistique ne se limite pas à une simple addition d'éléments, mais repose sur des principes d'interaction et de dépendance qui assurent la cohérence et la stabilité du système. Ainsi, au-delà des variations terminologiques et des spécificités disciplinaires, la structure en linguistique se présente comme un cadre d'organisation rigoureux, relationnel et hiérarchisé. Son étude permet d'appréhender les mécanismes internes du langage dans leur complexité, en mettant en évidence les régularités qui sous-tendent la production et l'interprétation des énoncés.

### 3.1.3. Le Concept de Structure à Travers les Disciplines : Trame, Système et Réseau

**-La Structure en Biologie :** En biologie, le concept de structure est central et s'applique à différentes échelles, allant des molécules aux écosystèmes. Il ne s'agit pas uniquement d'une organisation statique, mais d'une trame dynamique qui régule les fonctions biologiques et les interactions entre les composants du vivant. À l'échelle moléculaire, les protéines illustrent bien cette notion. Alberts et al. (2014), dans Molecular Biology of the Cell, montrent que leur structure tridimensionnelle détermine leur rôle et leur capacité à interagir avec d'autres molécules. Ces interactions, basées sur des principes de complémentarité structurale, influencent des processus biologiques essentiels tels que la régulation de l'expression des gènes, la signalisation cellulaire ou encore le métabolisme. Un exemple emblématique est l'interaction enzyme-substrat, qui fonctionne selon un modèle d'ajustement précis, comparable à un système de « clé-serrure ». C'est cette organisation structurale qui permet la catalyse des réactions biochimiques et le bon déroulement des fonctions cellulaires. Un autre exemple majeur de structure biologique est l'ADN, dont la double hélice a été décrite par Watson et Crick, (1953). Cette organisation n'est pas qu'une simple architecture moléculaire ; elle est un véritable système d'information génétique, indispensable à la transmission de l'hérédité et au fonctionnement des cellules. Sa structure permet la réplication fidèle du matériel génétique, tout en offrant une flexibilité dans l'expression des gènes grâce à des mécanismes comme l'épissage alternatif ou les modifications post-transcriptionnelles. Ces processus démontrent que la structure de l'ADN (**Figure 44**) ne se limite pas à un support physique, mais qu'elle est aussi un mécanisme dynamique et adaptatif, influençant directement la diversité et l'évolution biologique.

À une échelle plus large, la structure biologique se retrouve également dans l'organisation des tissus, des organes et des organismes. Chaque cellule et chaque organe s'intègrent dans un système cohérent, où les interactions sont essentielles pour assurer la stabilité et la survie des individus. Cette structuration atteint son paroxysme au niveau des écosystèmes, où l'ensemble des interactions entre espèces forme un réseau interconnecté.

Les travaux de Margalef (1968) mettent en évidence la structure des chaînes trophiques et des réseaux écologiques, montrant comment l'énergie et les nutriments circulent entre les producteurs primaires, consommateurs et décomposeurs. Ce maillage relationnel assure l'équilibre et la résilience des écosystèmes face aux perturbations. Ainsi, la structure biologique est bien plus qu'un simple agencement des éléments du vivant. Elle est à la fois une organisation moléculaire, un système fonctionnel et une trame d'interactions, qui permettent aux organismes et aux écosystèmes de s'adapter, de se régénérer et d'évoluer. Qu'il s'agisse d'une cellule, d'un organisme ou d'un biotope, la structure est un principe fondamental qui gouverne la complexité et la cohésion du vivant. Elle permet de comprendre comment les différents niveaux d'organisation interagissent, illustrant ainsi la capacité du vivant à s'adapter et à maintenir son équilibre face aux variations de son environnement.

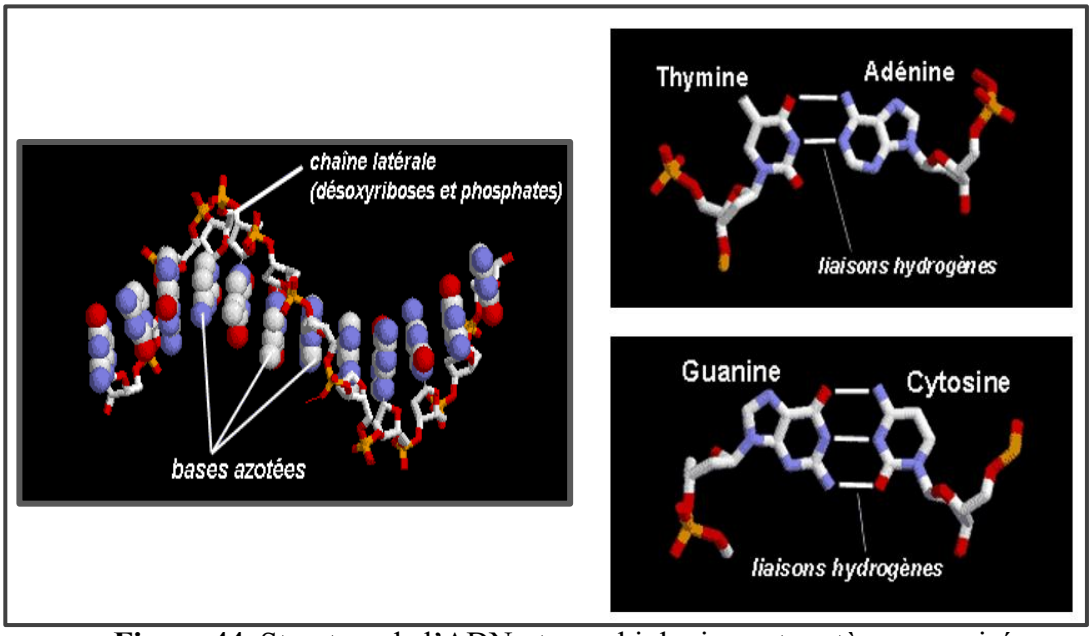



**Figure 44.** Structure de l'ADN : trame biologique et système organisé.
Source : Planet-vie. La découverte de la structure de l'ADN l Planet-vie, https://serach.app/oTvmW63MVDCdjGa78

**-En Sciences Médicales et Moléculaires :** Dans les sciences médicales et moléculaires, la structure est essentielle pour comprendre le fonctionnement des systèmes biologiques, depuis les molécules jusqu'aux réseaux complexes qui régulent le corps humain. Contrairement à une simple organisation figée, elle est dynamique et évolutive, jouant un rôle clé dans le bon déroulement des processus biologiques et la survenue de certaines maladies. À l'échelle moléculaire, la structure des protéines et des macromolécules est déterminante pour leur fonction. La cristallographie aux

rayons X, développée notamment par Kühlbrandt (2014), a permis de visualiser la manière dont les atomes s'agencent dans les molécules, apportant une compréhension approfondie des interactions biologiques. Cette technique a révélé la complexité de structures essentielles comme les ribosomes, responsables de la fabrication des protéines et les canaux ioniques, qui assurent le passage des molécules dans les cellules.

L'exemple de l'hémoglobine illustre bien le lien entre structure et fonction. Cette protéine, qui transporte l'oxygène dans le sang, change de forme pour mieux capter et libérer l'oxygène selon les besoins de l'organisme. Une altération de cette structure, comme dans la drépanocytose, peut entraîner des maladies graves (Perutz et al., 1960). À un niveau plus large, la structure joue aussi un rôle dans les réseaux métaboliques, où des réactions chimiques en chaîne assurent le bon fonctionnement des cellules. Ces réseaux sont adaptatifs, ajustant leur activité en fonction des besoins du corps et des conditions extérieures. L'étude de ces mécanismes à travers la biologie systémique (Kitano, 2002) montre comment un dysfonctionnement structurel à un niveau moléculaire peut perturber l'ensemble du système biologique, contribuant à l'apparition de maladies (**Figure 45**). Ainsi, dans les sciences médicales et biologiques**, la structure** ne se limite pas à une simple organisation des éléments, elle est un **élément clé du fonctionnement et de l'équilibre du vivant.** Son analyse permet non seulement de mieux comprendre les mécanismes biologiques fondamentaux, mais aussi d'améliorer la prise en charge des maladies grâce à des approches thérapeutiques ciblées.

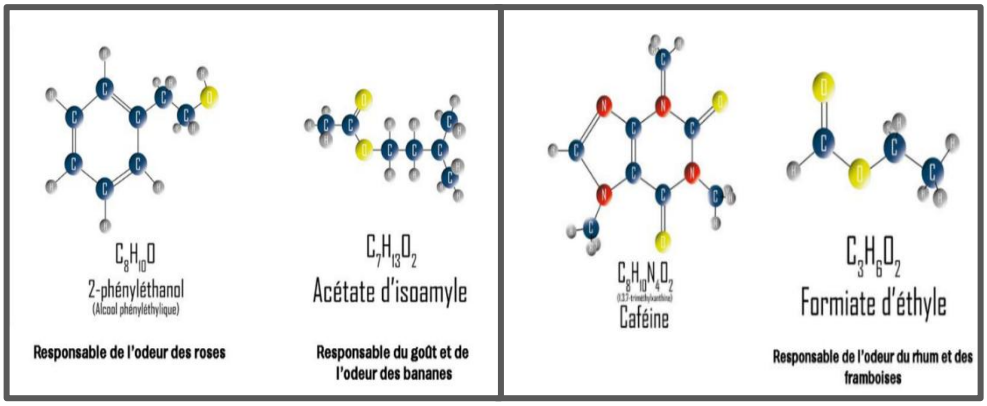



**Figure 45.** Structures moléculaires et effets des modifications sur le système..
Source: http://sciencesfacts.over-blog.com/25 novembre 2017

La structure joue un rôle fondamental dans le bon fonctionnement du corps humain. Toute altération de cette organisation peut entraîner des dysfonctionnements majeurs, comme c'est le cas dans certaines maladies. Un exemple frappant est la maladie d'Alzheimer, où une modification de la structure des protéines amyloïdes entraîne la formation de plaques toxiques dans le cerveau. Cette maladie illustre parfaitement comment une structure biologique anormale peut avoir des conséquences graves sur la santé. Les molécules biologiques, comme les protéines et les enzymes, ne sont pas simplement assemblées au hasard : leur forme détermine leur fonction. De la même manière, les enzymes, qui accélèrent les réactions chimiques du corps, doivent avoir une forme précise pour interagir efficacement avec leurs partenaires biologiques. Lorsqu'une enzyme est défectueuse, son action est perturbée, ce qui peut conduire à des troubles métaboliques. Grâce aux avancées scientifiques, des techniques comme la cristallographie aux rayons X permettent d'observer en détail la structure des molécules. Cette technologie a révolutionné la compréhension

des interactions biologiques et permis de développer des médicaments capables de corriger certaines anomalies structurelles. Par exemple, en étudiant la forme des enzymes, il devient possible de concevoir des molécules qui bloquent leur activité en cas de surproduction, ou au contraire, qui la stimulent lorsqu'elle est insuffisante (**Figure 46**).

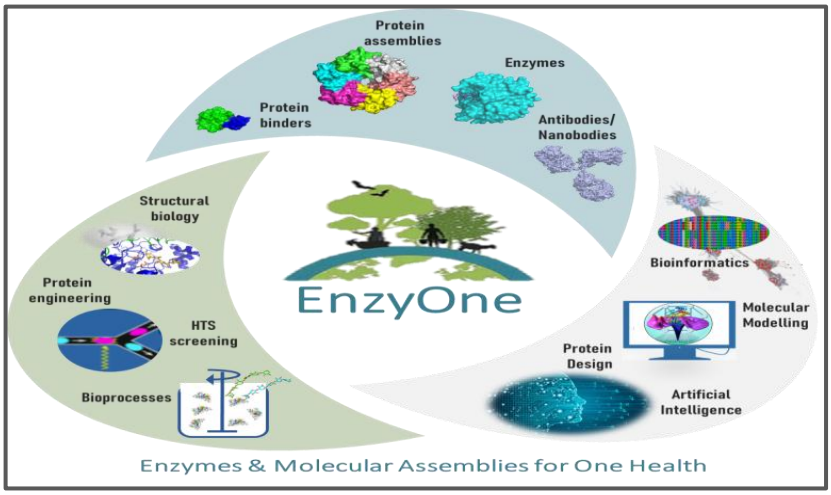



**Figure. 46.** Enzymes et structures moléculaires au service de la santé. Source: https://i0.wp.com/www.toulouse-biotechnology-institute.fr/wp-content/uploads/2023/07/enzyone-2.png?resize=768%2C741&ssl=1

Le concept de structure, tel qu'il se manifeste dans les différents domaines scientifiques, repose sur une organisation hiérarchique et fonctionnelle des éléments qui le composent. Comme l'illustre la **Figure 47** du schéma de nuage ci-dessous, la structure en biologie et en sciences médicales est intimement liée aux notions **de réseau, de régulation, d'équilibre et de résilience**. Que ce soit au niveau des macromolécules, des systèmes génétiques, ou des interactions cellulaires, **la structure n'est jamais statique** : elle **s'adapte, se transforme et se répare** en réponse aux signaux internes et externes. Cette dynamique se retrouve également dans d'autres disciplines, où **la stabilité structurelle est essentielle à la fonctionnalité** des systèmes. Ainsi, **la structure** peut être comprise comme une trame organisationnelle, un réseau interconnecté où chaque élément joue un rôle précis dans le maintien de l'ensemble.

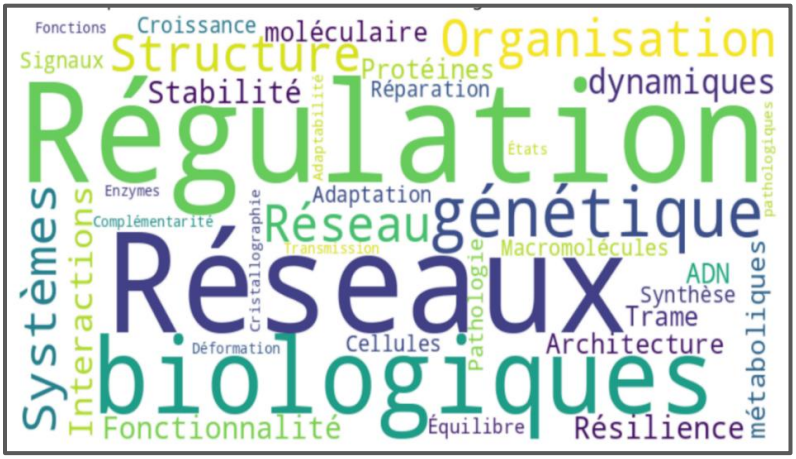



**Figure 47.** Nuage de mots des significations du concept de structure en biologie et en sciences médicales

**-Le concept Structure en Textile :** Dans l'industrie textile, le concept de « **structure** » joue un rôle important , car la structure du tissu dépend de **l'agencement** des fibres et des fils déterminant ainsi ses **propriétés physiques et fonctionnelles**. Cette organisation, réalisée par des techniques telles que le tissage, le tricotage ou d'autres procédés de fabrication, influence des caractéristiques essentielles telles que la résistance, l'élasticité, la perméabilité à l'air et le confort des matériaux. Les propriétés physiques et mécaniques de ces tissus sont intrinsèquement liées à leur structure, ce qui impacte leur performance dans des contextes variés. Ainsi, la structure en sergé, par exemple, confère au tissu une résistance accrue et une durabilité renforcée, caractéristiques essentielles pour les vêtements de travail ou les textiles industriels. En revanche, la structure en maille des tissus tricotés offre une élasticité naturelle et une respirabilité optimale, idéale pour les vêtements de sport et de loisirs.

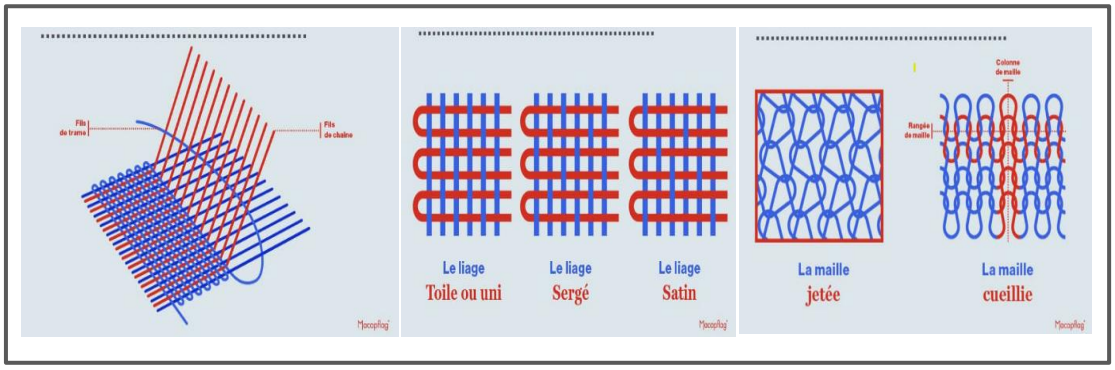



**Figure 48.** Structure en trame d'un tissu :Source:https://www.macapflag.com/blog/wp-content/uploads/2021/03/tissu-chaine-et-trame.jpg

Les avancées dans la conception des structures textiles ont transformé ce secteur en intégrant des matériaux capables d'interagir avec leur environnement. Grâce aux progrès des textiles intelligents et des matériaux composites, il est désormais possible d'incorporer des fibres conductrices et des nanotechnologies, ouvrant ainsi la voie à des innovations majeures. Ces technologies permettent, par exemple, de développer des vêtements dotés de capteurs pour

surveiller la santé, des textiles intégrant des cellules photovoltaïques pour capter l'énergie solaire, ou encore des tissus connectés aux objets intelligents du quotidien (Cherenack & van Pieterson, 2012). Par ailleurs, la recherche explore des solutions textiles encore plus innovantes, notamment à travers les bio textiles, conçus pour interagir avec les systèmes biologiques. Ces matériaux révolutionnent le domaine médical en permettant la régénération tissulaire ou l'administration progressive de traitements. Par exemple, certaines fibres textiles sont aujourd'hui capables de favoriser la croissance cellulaire, facilitant ainsi la cicatrisation des plaies et ouvrant de nouvelles perspectives en médecine régénérative (Gulrajani, 2010). Ainsi, le concept **de structure** dans le textile ne se limite pas à un simple assemblage de fibres ; il est au cœur des propriétés fonctionnelles du matériau, influençant sa **résistance, sa flexibilité, sa perméabilité et son adaptabilité**. Ces significations sont récapitulées et illustrées par le schéma en nuage dans la **Figure 49**. Ceci révèle un dynamisme qui met en évidence l'interconnexion entre la structure textile, la performance et les capacités adaptatives des matériaux, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour des domaines très variés.

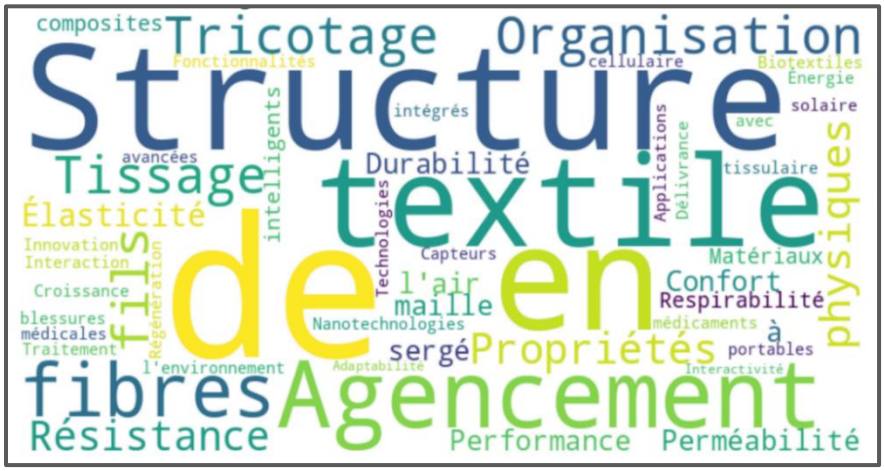



**Figure 49.** Nuage de mots sur la signification de la structure en textile.

**- La Structure en Architecture et urbanisme : Une Trame Complexe :** Dans le domaine de l'architecture, la structure d'un édifice dépasse largement sa simple fonction de soutien physique pour devenir **une trame** complexe qui guide et unit l'ensemble de la conception architecturale. Elle forme un **réseau intégré de composants interconnectés**, agissant ensemble pour garantir la **stabilité, la fonctionnalité et l'esthétique** de l'édifice. Cet essai explore en profondeur cette notion de structure architecturale en la considérant à la fois comme **une trame conceptuelle** et **fonctionnelle**, tout en soulignant son r**ôle essentiel dans l'équilibre, la stabilité et la performance environnementale** des bâtiments contemporains.

Dans le paradigme architectural moderne, la structure est perçue comme bien plus qu'une simple ossature. Elle forme une **trame complexe** (**Figure 50 et 51**) qui sous-tend et guide la conception architecturale, intégrant à la fois des considérations physiques, esthétiques et fonctionnelles. Allen et Iano (2019) décrivent cette structure comme un réseau de composants, incluant poutres, colonnes, murs, et fondations, travaillant de concert pour supporter les charges physiques et garantir la stabilité de l'édifice. Cette trame structurelle est conçue sur mesure pour chaque projet, prenant en compte les contraintes spécifiques tout en offrant une flexibilité créative.

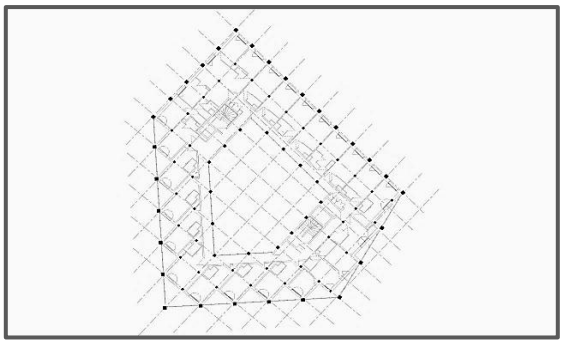


**Figure 50.** Plan avec trame structurelle édifice .Source: inconnue

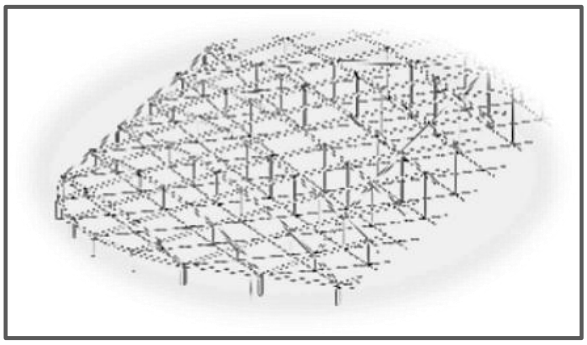


**Figure 51.**Structure tridimensionnelle d'un Source: inconnue

Le concept de structure dans l'architecture et l'urbanisme dépasse la simple organisation physique des espaces pour englober une dimension conceptuelle et fonctionnelle. Des figures majeures comme Le Corbusier ont révolutionné cette approche au XX$^{e}$ siècle en intégrant la trame comme un outil essentiel de rationalisation de l'espace. En utilisant des structures porteuses indépendantes des murs, il a libéré l'espace intérieur et formalisé cette méthode à travers ses ***"Cinq points de l'architecture moderne"*** (Oechslin et Wang, 1987). Ainsi, la trame ne se limite pas à un cadre matériel ; elle devient un système organisationnel, garantissant une continuité esthétique et fonctionnelle à l'échelle du bâtiment et de la ville. Dans ce cadre, la trame architecturale joue un rôle clé dans l'agencement des éléments structurels, en assurant une répartition harmonieuse des espaces et en optimisant les procédés de construction. Le Modulor, développé par Le Corbusier, en est un exemple emblématique : il standardise les dimensions des bâtiments en fonction des proportions humaines par le principe du modulor (Le Corbusier, 1950) , favorisant ainsi une adaptation optimale de l'espace bâti aux besoins des utilisateurs .

**La structure** architecturale peut être donc envisagée comme une **trame dynamique et intégrée, formant un réseau** complexe de composants qui soutiennent et inspirent la création architecturale. À travers une approche qui intègre à la fois des considérations physiques, conceptuelles, et environnementales, la structure architecturale s'affirme comme un domaine innovant et fondamental, symbolisant l'intersection entre l'ingénierie et l'art. Elle représente ainsi bien plus qu'une simple **ossature**, mais plutôt le cœur battant de toute œuvre architecturale, unifiant : **esthétique, fonctionnalité, durabilité et performance environnementale**. Ce principe de structuration ne se limite pas à l'architecture ; il s'étend à l'urbanisme, où la trame urbaine façonne l'organisation des villes en intégrant des axes de circulation, des îlots et des réseaux de services. Selon Panerai, Castex et Depaule (1997), la trame urbaine constitue l'armature fondamentale qui articule les relations entre les différents secteurs de la ville, influençant son développement et sa cohérence fonctionnelle. La structure urbaine, définie comme l'organisation systématique des fonctions et des espaces dans la ville, reflète une logique d'aménagement où les composantes physiques, sociales et économiques interagissent.

D'après Merlin et Choay (1988), elle ne se réduit pas à un simple schéma spatial, mais traduit une planification intégrée, assurant une gestion efficace des ressources et une organisation optimisée des activités urbaines. Cette approche se retrouve dans l'urbanisme romain, où la structuration rigoureuse des villes repose sur un plan orthogonal organisé autour du Cardo maximus (axe Nord-Sud) et du Decumanus maximus (axe Est-Ouest). Cette organisation spatiale, illustrée

dans des villes comme Poreč en Croatie, témoigne de la rationalité de l'urbanisme romain et de sa capacité à structurer l'espace de manière durable[87]. L'ouvrage Villes et structures urbaines dans l'Occident romain (Clavel-Lévêque, 1984) souligne l'impact de cette trame urbaine sur la hiérarchie fonctionnelle des villes antiques, où le forum, les temples et les équipements publics étaient positionnés stratégiquement au croisement des axes principaux, cette organisation spatiale réfléchie garantissait l'interconnexion des quartiers, facilitait la circulation et structurait les fonctions politiques, économiques et sociales de la ville (**Figure 52**).

La trame urbaine influence aussi la forme et la fonction des villes modernes, en facilitant les interactions sociales, le commerce et la mobilité. Spiro Kostof (1991) montre comment les trames historiques et culturelles influencent la structure physique des villes, créant des formes urbaines qui répondent à des besoins fonctionnels tout en reflétant l'identité et l'histoire des sociétés.

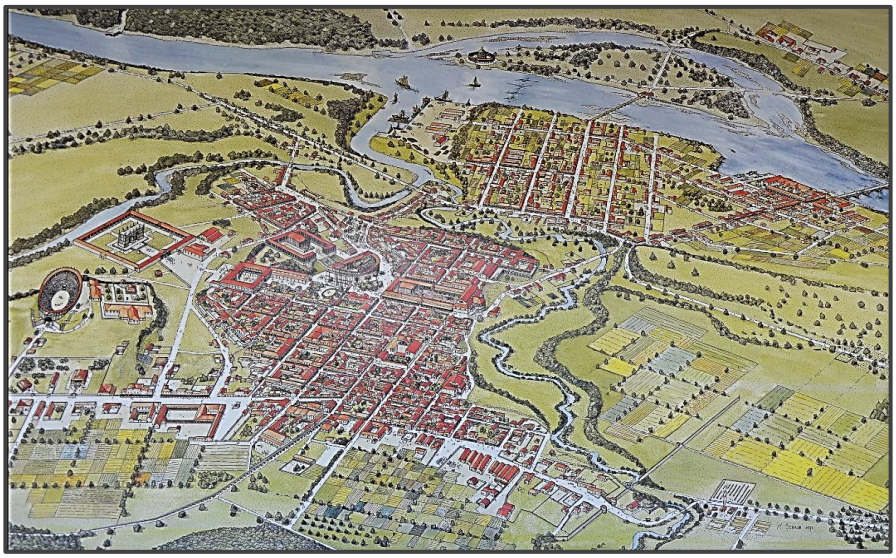


**Figure 52.**Structure d'une ville Rome Antique.
Source: inconnue : https://images.app.goo.gl/8Yre9TUh5SbvFR1y9

Lewis Mumford, (1961), analyse en profondeur l'évolution de la trame et de la structure urbaine au fil du temps, en mettant en lumière leur interaction avec les dynamiques économiques, technologiques et sociales. Il souligne que la performance des villes modernes repose principalement sur leur capacité à adapter leur structure aux exigences du développement économique et à répondre aux défis posés par l'expansion démographique. Pour Mumford, cette adaptabilité est essentielle pour maintenir la vitalité urbaine tout en garantissant un équilibre entre croissance et fonctionnalité. Kevin Lynch (1976) met en avant la lisibilité de la trame urbaine, où la manière dont les espaces sont structurés détermine la perception et l'utilisation des espaces par les habitants. Une trame claire, intégrant des repères et des voies de circulation efficaces, améliore

[87]Istra Culture. ( n .d ). La structure urbaine romaine. Récupéré de https://www.istria-culture.com/fr/la-structure-urbaine-romaine-i106#:~:text=Toutes%20les%20structures%20urbaines%20romaines,formant%20des%20blocs%20rectangulaires%20identiques

la forme, la fonction et la performance de la ville en termes de mobilité, de sécurité et d'interactions sociales.

La performance environnementale repose à son tour sur une structure bien pensée, qui agit comme un réseau de solutions durables et éco-responsables. Les certifications internationales telles que LEED ou BREEAM mettent en avant l'importance de la structure dans l'intégration de considérations environnementales, en démontrant comment elle peut maximiser l'efficacité énergétique et réduire l'empreinte écologique. Dans la conception contemporaine, il devient impératif de concevoir des bâtiments adaptés aux conditions climatiques locales, utilisant des matériaux et des systèmes structurels innovants. Cette approche renforce la nécessité de considérer la structure architecturale comme un élément clé pour répondre aux défis environnementaux actuels.La conception structurelle moderne repose sur une collaboration étroite entre différents acteurs, allant des architectes aux ingénieurs du génie civils, en passant par les spécialistes de la durabilité. Cette approche intégrée, facilitée par des outils de modélisation comme le BIM, permet de concevoir des structures qui répondent non seulement aux exigences techniques, mais aussi aux aspirations esthétiques et fonctionnelles.

En définitive, qu'il s'agisse de l'échelle architecturale ou urbaine, le concept de structure s'impose comme un principe fondateur de la conception spatiale. Il ne se limite pas à un cadre statique, mais constitue un réseau dynamique d'interactions et de relations, garantissant à la fois cohérence, adaptabilité et fonctionnalité dans l'aménagement du territoire. La ville romaine illustre parfaitement cette approche systémique, où la combinaison entre trame et structure permet d'anticiper les besoins urbains tout en assurant une organisation harmonieuse et évolutive de l'espace.

**- La Structure comme fondement de l'Ingénierie et du Génie Civil**

Dans les domaines de l'ingénierie et du génie civil, **la structure** constitue le socle fondamental des systèmes techniques. Elle assure le support des charges et la distribution des forces, permettant de garantir la stabilité et la durabilité des infrastructures. Ce concept central englobe des éléments essentiels tels que les poutres, les colonnes et les fondations, qui sont conçus pour répondre aux sollicitations mécaniques tout en respectant les critères de sécurité et de performance. La compréhension des principes fondamentaux, tels que la résistance des matériaux et les théories liées aux éléments porteurs, permet d'analyser et de concevoir des infrastructures capables de supporter différentes contraintes. Cette approche est ensuite enrichie par l'utilisation d'outils numériques avancés, permettant de modéliser des structures complexes et d'évaluer leur comportement sous des charges variées. Par ailleurs, la question de la maintenance et de la durabilité occupe une place importante dans la conception des infrastructures modernes. Les ingénieurs ne se limitent pas à répondre aux exigences initiales de stabilité, mais anticipent également les effets du vieillissement, de l'usure et des conditions environnementales. Pour y parvenir, des approches telles que la surveillance continue de l'état des structures sont mises en œuvre, contribuant à prolonger leur cycle de vie tout en minimisant les risques.

**CHAPITRE 3 : LA STRUCTURE VERTE COMME APPROCHE ET PHILOSOPHIE : ESSAI D'ANALYSE ET DE COMPREHENSION**

La transition vers une compréhension intégrée du concept de structure dans les disciplines de l'architecture, de l'urbanisme et en particulier l'ingénierie met en évidence des principes communs tels que la stabilité, la fonctionnalité et l'interconnexion. Ces disciplines partagent une vision systémique où la structure ne se limite pas à un agencement physique, mais agit comme un réseau intégré de composants assurant la cohérence, la durabilité et l'adaptabilité des systèmes. Le schéma en nuage des significations communes (**Figure 53**) illustre visuellement ces convergences, en regroupant des notions clés telles que la rationalisation, la planification, et l'organisation, qui forment un socle conceptuel partagé. Cette transversalité du concept de structure montre comment les principes fondamentaux appliqués en ingénierie pour supporter des charges et distribuer des forces trouvent des échos dans l'architecture et l'urbanisme à travers des préoccupations similaires pour l'esthétique, l'efficacité spatiale et la durabilité des infrastructures.

**Figure 53.** Représentation en nuage des notions de structure en architecture, urbanisme et ingénierie

La **Figure 54 .**ci-dessous illustre de manière synthétique le rôle central de la structure dans divers domaines liés à l'aménagement et au développement urbain. Elle met en évidence l'interconnexion entre la structure et des concepts clés tels que la durabilité, la résilience, l'urbanisme, l'architecture, et l'ingénierie. En intégrant des trames fonctionnelles, physiques et conceptuelles, la structure agit comme un socle fondamental pour l'organisation des espaces urbains et la réponse aux défis contemporains. Ce schéma souligne également l'importance des fondements en architecture et urbanisme dans la création de structures urbaines cohérentes et adaptatives, capables de soutenir des systèmes résilients face aux changements sociaux, économiques et environnementaux.

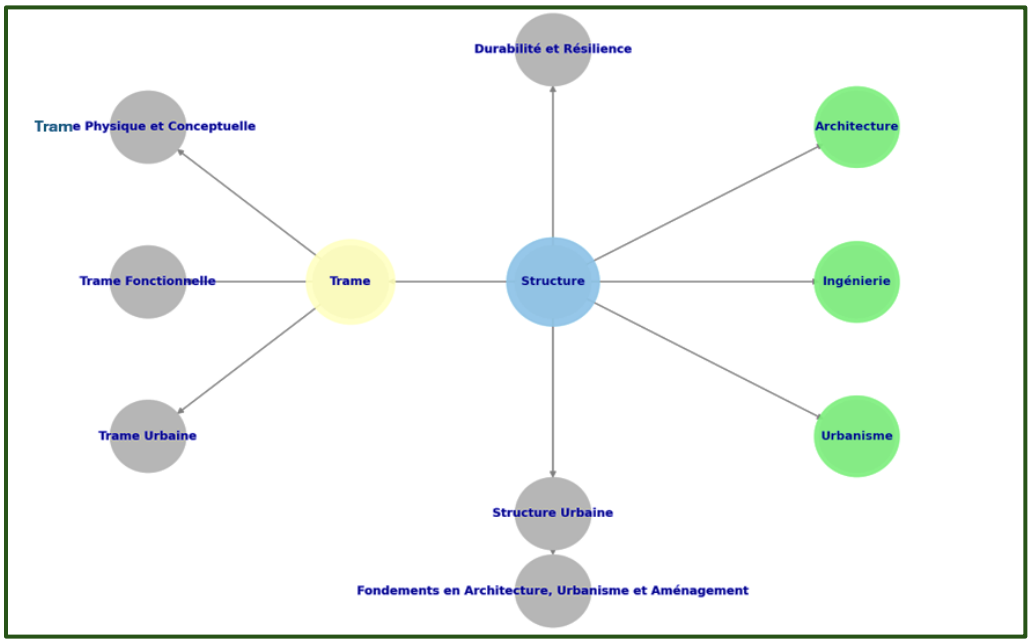



**Figure 54.** Le rôle central de la structure dans l'architecture, l'ingénierie et l'urbanisme. Conception auteure 2023

### -La structure résultat d'une organisation Fonctionnelle et d'une Dynamique Sociale

L'organisation fonctionnelle des villes repose sur une trame d'interactions sociales, économiques et culturelles, qui structure la répartition des activités humaines dans l'espace urbain. Cette trame constitue un réseau d'influences, reliant divers éléments de la ville pour former une structure urbaine cohérente et efficace. Mumford, (1961), analyse comment la structure physique des villes est façonnée par les dynamiques sociales et économiques sous-jacentes, soulignant que l'organisation des espaces reflète les besoins fonctionnels et culturels des sociétés urbaines. Ainsi, la structure physique de la ville n'est pas uniquement un assemblage d'éléments bâtis, mais une expression des dynamiques sociales et économiques sous-jacentes, lesquelles déterminent la localisation des fonctions et activités dans un cadre spatial organisé.

### -La structure : Réseau de Transport et d'hiérarchie Urbaine

Les réseaux de transport sont une trame essentielle qui sous-tend la structure des villes, agissant comme un système nerveux central, qui connecte les différentes parties de l'espace urbain. La manière dont ces réseaux sont organisés a un impact direct sur la structure physique des villes, en façonnant la forme et la fonction des espaces urbains. La disposition des réseaux de transport influe sur la hiérarchie urbaine, déterminant quels quartiers ou espaces bénéficient d'une meilleure accessibilité. Ce processus de structuration urbaine est renforcé par la trame de mobilité, qui relie les différents points d'intérêt et assure l'efficacité des déplacements. L'importance de la planification de cette trame de transport pour garantir que les infrastructures soutiennent l'urbanisation tout en respectant les besoins de mobilité.

### -La structure en tant qu'élément d'identité Culturelle et Sociale

L'identité culturelle et sociale d'une ville façonne **la trame des valeurs** et des priorités qui influencent la conception des espaces urbains. Cette **trame culturelle** se manifeste dans la **structure physique** de la ville, à travers des éléments tels que la disposition des espaces publics, la conception des monuments et la configuration des quartiers. Elle devient ainsi un modèle guidant la manière dont les infrastructures sont construites et agencées. Par exemple, dans certaines villes, la centralité des lieux de culte ou la valorisation des espaces verts reflète les priorités culturelles dominantes de la communauté, ces choix influencent directement la structure urbaine, déterminant la forme des espaces publics et privés en fonction des valeurs sociales (Mahgoub,2021). D'autre part, les dynamiques sociales qui définissent les villes contemporaines sont marquées par des processus de fragmentation urbaine et de ségrégation socio-économique. Les changements sociaux, économiques et politiques ont façonné les villes modernes, souvent en conduisant à une fragmentation de l'espace urbain et à une ségrégation accrue. Les décisions prises dans les politiques urbaines, parfois influencées par des pressions économiques et des intérêts particuliers, peuvent conduire à des environnements urbains qui favorisent certaines classes sociales au détriment d'autres, créant ainsi des divisions profondes au sein de l'espace urbain (Wachsberger,2013). En combinant ces perspectives, on peut voir que l'identité culturelle et sociale n'est pas seulement une empreinte passive sur le paysage urbain, mais une force active qui façonne et façonnée par les politiques urbaines et les stratégies de développement. Cette interaction dynamique entre culture, société et urbanisme offre un cadre riche pour étudier comment les villes évoluent et répondent aux défis contemporains.

### -La structure : Outil de durabilité et Résilience Urbaine

La durabilité et la résilience urbaines sont des notions très utiles pour comprendre comment les villes peuvent s'adapter aux défis environnementaux et sociaux actuels. Ces concepts sont directement liés à la manière dont les structures physiques des villes et les trames sociales, économiques et écologiques interagissent et évoluent pour répondre à des crises telles que les changements climatiques et les catastrophes naturelles.

Dans les villes résilientes, la transition vers des énergies renouvelables et une mobilité urbaine durable repose sur une réorganisation de la trame énergétique et de la structure des infrastructures urbaines. Cette réorganisation vise à diminuer la dépendance aux combustibles fossiles et à réorienter la structure des villes pour intégrer des solutions comme les transports en commun, les pistes cyclables et les espaces verts, éléments qui renforcent non seulement la résilience, mais aussi la qualité de vie urbaine (Thomas, 2017). Par ailleurs, les villes peuvent restructurer leurs trames sociales et économiques pour améliorer leur capacité à résister et s'adapter aux catastrophes. Leur approche de la résilience ne se limite pas à la capacité de structure physique à supporter des chocs, mais inclut la transformation des trames sociales pour créer des villes plus inclusives et équitables (Simonet,2011), notamment le rôle des trames Vertes en relation avec la question de l'adaptation aux changements climatiques.

Le Développement urbain durable met également en lumière l'importance d'une planification durable fondée sur une trame urbaine, qui intègre à la fois les préoccupations écologiques et les exigences sociales et comment une structure urbaine bien conçue peut améliorer la durabilité à long terme, en prenant en compte les cycles naturels, la répartition équitable des

ressources et l'inclusion sociale. Repenser les trames énergétiques, sociales et économiques à travers une transformation structurelle des villes est essentiel pour assurer leur capacité à prospérer dans un monde de plus en plus incertain.

### 3.1.4. L'Usage du Concept de Structure dans les Études et Théories Urbaines

#### -Structure urbaine ou structure de la ville : un aspect morpho fonctionnel

La structure urbaine, ou structure de la ville, est un concept central dans les études urbaines, l'urbanisme et la géographie urbaine, abordé par de nombreux chercheurs renommés. Parmi eux, Kevin Lynch, Jane Jacobs et Richard Florida se distinguent par leurs contributions majeures à la compréhension de la manière dont les villes sont organisées et fonctionnent. Kevin Lynch, (1960), explore comment les habitants perçoivent et se représentent l'environnement urbain, y compris sa structure physique et spatiale. Il met en évidence l'importance de la lisibilité et de la qualité visuelle des espaces urbains dans la création d'une identité urbaine forte, soulignant ainsi le lien entre la perception individuelle et la structure urbaine. Une vision novatrice de la structure urbaine, met en avant des principes comme la diversité fonctionnelle, la densité et la mixité sociale. Elle insiste sur l'importance des quartiers dynamiques et diversifiés pour favoriser un développement urbain équilibré et une qualité de vie élevée, soulignant ainsi le rôle des interactions sociales dans la formation de la structure urbaine (Vivière,2015).

La montée de la classe créative, explore les dimensions socio-économiques de la structure urbaine, en mettant en lumière le rôle des facteurs culturels et de l'innovation dans l'organisation des villes. On identifie les villes attractives pour les talents créatifs comme des moteurs de croissance économique et de développement urbain, soulignant ainsi l'importance des dynamiques économiques dans la structuration des villes contemporaines (Florida, 2002).

En intégrant les perspectives de ces chercheurs et d'autres, il devient possible de comprendre la structure urbaine dans toute sa complexité, en considérant à la fois ses dimensions physiques, fonctionnelles, sociales et économiques. Cette approche globale est essentielle pour guider la planification et la gestion urbaines vers des objectifs de durabilité, d'inclusivité et de vitalité urbaine. Plusieurs villes à travers le monde ont marqué l'urbanisme et les théories urbaines par leur structure spécifique et leur influence sur le développement des villes modernes. Parmi ces villes modèles, on peut citer : Brasilia (Brésil), Barcelone et Copenhague (Danemark), qui illustrent chacune des dynamiques particulières de la structure urbaine. (**Annexe B**)

#### -L'usage du Concept de Structure dans les Modèles de Ville Durable

Dans les modèles de villes durables, la structure urbaine est un élément central de la planification, car elle permet de façonner des environnements qui favorisent la durabilité environnementale, la résilience sociale et l'efficacité économique. La structure d'une ville durable ne se limite pas à l'organisation physique de ses composantes, mais constitue également un outil stratégique visant à réduire l'empreinte écologique, optimiser l'usage des ressources et améliorer la qualité de vie des habitants. L'un des principes fondamentaux des villes durables repose sur une structure urbaine compacte. Ce modèle prône la densification urbaine, favorisant la concentration des activités et des populations dans des zones déjà urbanisées. La compacité permet de limiter l'étalement urbain, de réduire les distances entre les lieux de travail, de résidence et de loisirs, tout en encourageant les transports publics et les modes de transport actifs comme la marche et le vélo.

Ce modèle offre ainsi des bénéfices en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre, d'efficacité dans l'utilisation des infrastructures, et de préservation des espaces naturels.

Un autre aspect clé des villes durables est l'intégration de la mixité fonctionnelle dans la structure urbaine. Ce concept consiste à regrouper dans un même quartier des activités variées telles que les résidences, les commerces, les espaces récréatifs et les zones industrielles. En créant des espaces urbains autosuffisants et dynamiques, la mixité fonctionnelle réduit les besoins de déplacement, favorise l'interaction sociale et renforce l'économie locale. Cette organisation contribue également à une meilleure cohésion sociale en permettant à différentes classes sociales et usages de coexister dans un même environnement.

La connectivité est un autre pilier fondamental de la structure urbaine dans les villes durables. Une bonne connectivité implique de créer des réseaux de transport bien intégrés, tant pour les transports publics que pour les infrastructures piétonnes et cyclables. Dans des villes comme Copenhague, cette connectivité est exemplaire, avec des pistes cyclables et des transports en commun parfaitement intégrés à la trame urbaine. Cette structure permet de réduire la dépendance à la voiture, de diminuer les émissions de carbone et d'améliorer la qualité de vie en limitant les embouteillages et les pollutions associées. En outre, la structure urbaine des villes durables met un fort accent sur la préservation des espaces verts et la gestion des écosystèmes naturels.

Le modèle de la ville écologique favorise l'intégration de la nature dans la ville, notamment à travers des parcs, des corridors écologiques et des toits végétalisés. La nature en ville est perçue comme un vecteur essentiel du développement durable, d'où l'écologisation de la nature urbaine pose des défis aux professionnels de l'urbanisme, notamment en termes de planification et de mise en œuvre. Cependant, elle identifie également de nouvelles perspectives prometteuses, telles que l'urbanisme paysager et les diverses formes d'implication des habitants dans l'aménagement des espaces publics, qui offrent des opportunités pour une meilleure intégration écologique dans les projets urbains (Cormier,2015).La structure écologique des villes durables permet ainsi de renforcer la résilience face aux changements climatiques ,en offrant une meilleure gestion des risques environnementaux, comme les inondations, souci majeur de toute ville.

La résilience urbaine est une dimension essentielle de la structure urbaine durable, elle est définie comme la capacité d'une ville à s'adapter et à se remettre des crises, qu'il s'agisse de catastrophes naturelles, de crises économiques ou de changements climatiques. Dans ce cadre, la structure urbaine doit être conçue de manière flexible, avec des infrastructures capables de résister aux chocs, tout en assurant le bien-être de la population. Cela inclut la création de structures adaptatives, telles que des bâtiments écoénergétiques et des systèmes de gestion durable de l'eau, qui contribuent à la résilience de la ville face aux risques climatiques et aux pressions démographiques.

Enfin, le modèle de la ville intelligente, exploré par Caragliu, Del Bo et Nijkamp (2011) : ils décrivent cette dernière comme un centre urbain où les investissements en capital humain et social ainsi qu'en infrastructures de communication traditionnelles et modernes, favorisent une croissance économique durable et une qualité de vie élevée, grâce à une gestion avisée des ressources naturelles et une gouvernance participative. Leur étude analyse les facteurs déterminant la performance des villes intelligentes dans les 27 pays de l'Union européenne, en utilisant des données récentes de l'Urban Audit. Ils identifient plusieurs éléments positivement corrélés à la richesse urbaine, tels que la présence d'une classe créative, la qualité de l'environnement urbain, le

niveau d'éducation, l'accessibilité multimodale et l'utilisation des technologies de l'information et de la communication dans l'administration publique. Ces résultats suggèrent la nécessité d'une nouvelle stratégie pour les villes européennes, visant à promouvoir un développement urbain durable et à améliorer le paysage urbain.

La structure urbaine dans les modèles de villes durables représente bien plus qu'une simple organisation spatiale ; elle est un mécanisme clé pour répondre aux défis contemporains tout en assurant la durabilité environnementale, sociale et économique. Des modèles tels que la ville compacte, la ville écologique, la ville polycentrique, ou encore la ville intelligente, montrent comment la structure urbaine peut être conçue pour minimiser les impacts environnementaux, maximiser l'efficacité des infrastructures et améliorer la qualité de vie des habitants, tout en renforçant la résilience urbaine face aux défis futurs.

**- Le modèle d'Eberstadt (1910):** Le modèle d'Eberstadt (1910), développé dans le cadre du schéma directeur pour l'agglomération berlinoise, constitue une référence majeure dans le domaine de l'urbanisme. Conçu au début du 20e siècle, ce modèle repose sur une vision systématique et intégrée de la planification urbaine. Rudolf Eberstadt, urbaniste et économiste allemand, a mis l'accent sur la séparation fonctionnelle des espaces, la connectivité des infrastructures et la création de quartiers équilibrés et harmonieux. Ces concepts reflétaient les préoccupations croissantes de l'époque face à la rapide expansion urbaine et à l'industrialisation, et ont contribué à l'élaboration des principes fondamentaux de l'urbanisme moderne. Les travaux d'Eberstadt ont influencé des pratiques d'urbanisme à travers le monde, notamment dans la conception des villes nouvelles et des zones industrielles, et ils continuent d'être étudiés dans la littérature académique et professionnelle en raison de leur pertinence pour les débats contemporains sur la durabilité urbaine. La ville de Berlin illustre de manière complexe l'évolution de l'urbanisme au cours du 20e siècle, sa structure urbaine est façonnée par une combinaison de facteurs historiques, géographiques, socio-économiques et culturels. Géographiquement, elle est traversée par la rivière Spree et son vaste territoire influence son étalement et ses axes de développement.

Les principes d'aménagement du modèle d'Eberstadt, visant à organiser les infrastructures le long des principaux axes, ont marqué durablement la croissance de la ville en créant une trame urbaine où les zones résidentielles, commerciales et industrielles étaient nettement séparées. Historiquement, la division de Berlin entre l'Est et l'Ouest durant la Guerre froide a profondément affecté la structure urbaine de la ville. Ce clivage a laissé une empreinte durable dans le paysage urbain et dans la mentalité des habitants. Le tissu urbain témoigne encore de cette période, avec des disparités visibles en matière d'infrastructures et de développement économique entre l'ancien secteur Est et Ouest.

Les efforts pour unifier et revitaliser la ville après la chute du mur ont redéfini la façon dont Berlin s'organise, tout en respectant les identités et caractéristiques des différents quartiers. Sur le plan socio-économique, Berlin est une ville marquée par une diversité sociale et culturelle, avec des quartiers aux identités distinctes et des populations variées. Cette diversité a des répercussions sur la manière dont les infrastructures et les politiques d'urbanisme sont conçues. Le réseau de transports publics, notamment le métro (U-Bahn) et le tramway, contribue à structurer la ville en reliant efficacement les différentes zones urbaines et en facilitant la mobilité des habitants (Buehler & Pucher, 2011). La connectivité offerte par ces infrastructures est essentielle pour assurer une intégration fluide entre les différentes parties de la ville. En termes d'urbanisme, Berlin

combine des politiques de préservation des zones vertes avec une expansion urbaine le long de ses axes de transport. Cette approche vise à limiter l'étalement tout en maintenant un équilibre entre développement urbain et préservation de la nature. Toutefois, cet équilibre est parfois difficile à maintenir. Si les zones vertes étirent la ville vers la périphérie, elles réduisent également les distances moyennes aux axes de transport. Un plan circulaire augmenterait ces distances moyennes, à moins qu'il ne soit accompagné d'une augmentation du nombre d'axes pour maintenir une bonne accessibilité aux services.

Le plan illustré dans la **Figure 55** qui suit prévoyait la conservation de secteurs verts s'étendant profondément à l'intérieur de la zone bâtie afin d'améliorer la ventilation du centre-ville et de créer des zones de loisirs de proximité pour les quartiers résidentiels situés en périphérie du noyau urbain. De plus, chaque secteur construit serait desservi par une ligne RER, toutes convergeant vers le centre. Le plan s'inspire donc de l'évolution réelle de la croissance radiale le long des axes du RER berlinois, déjà en fonctionnement à cette époque.

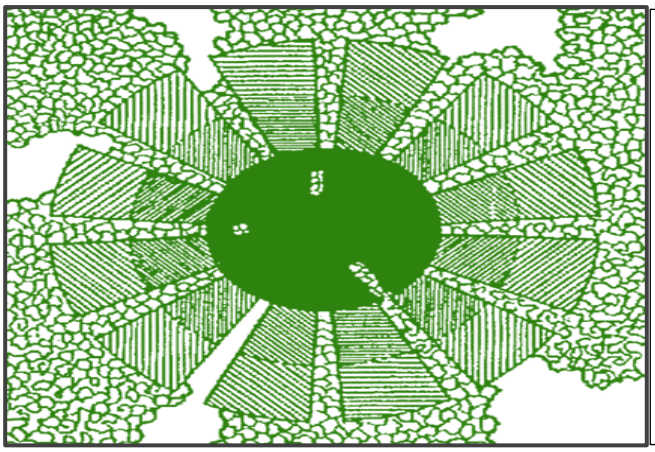


Schéma effectué pour Berlin en 1910 lors d'un concours sur le développement futur de l'agglomération Berlinoise

**Figure 55.** Plan directeur selon Eberstadt, Möhring et Petersen. Source : FRANKHAUSER (1994).

**-Modèle Hilbersmeier (1963) : Structure Urbaine et Résilience dans la Reconstruction de Chicago**

Le modèle Hilbersmeier , élaboré dans le contexte de la reconstruction de Chicago après l'incendie dévastateur de 1871, illustre une approche visionnaire de l'urbanisme. Il repose sur une structuration urbaine hiérarchique visant à combiner efficacité fonctionnelle et résilience environnementale, tout en répondant aux besoins sociaux et économiques des habitants. Ce modèle s'inscrit dans une logique où la planification spatiale ne se limite pas à une reconstruction rapide, mais se concentre également sur la durabilité et l'amélioration à long terme du cadre de vie. En intégrant les principes de zonage, Hilbersmeier cherchait à structurer les quartiers en fonctions distinctes, tout en favorisant une mixité sociale équilibrée. Cette organisation permettait une utilisation optimale des espaces urbains, garantissant un accès équitable aux services essentiels et une répartition stratégique des espaces verts. Ces derniers étaient intégrés non seulement pour améliorer la qualité de vie des habitants, mais aussi pour réguler le climat urbain et renforcer la résilience environnementale de la ville.

Un aspect novateur du modèle était l'intégration des infrastructures de transport comme colonne vertébrale de l'organisation urbaine. Les infrastructures étaient pensées pour promouvoir les modes de déplacement doux, comme la marche et le vélo, tout en réduisant la dépendance à l'automobile. L'objectif était de limiter la congestion urbaine, diminuer les émissions de gaz à effet de serre et favoriser une mobilité plus durable. Les quartiers étaient organisés autour de corridors de transport efficaces, eux-mêmes connectés à des réseaux de zones vertes interconnectées.

Cette double logique, associant mobilité et écologie, s'inscrit dans le concept d'urbanisme des réseaux, tel que défini par Dupuy (2005). Ce modèle met en évidence la manière dont chaque unité urbaine s'intègre à deux systèmes spatiaux complémentaires : un réseau de transport hiérarchisé, structurant les flux de mobilité, et un réseau d'espaces verts intégrés, favorisant la connectivité écologique et le bien-être urbain. Cette approche souligne l'interaction réciproque entre infrastructures et urbanisme, où les réseaux influencent l'organisation de la ville tout en étant modelés par les dynamiques d'aménagement et les politiques urbaines.

Par ailleurs, la répartition des espaces verts dans le modèle de Hilbersmeier jouait un rôle clé dans la gestion des défis environnementaux. Ces espaces, organisés de manière fractale, servaient de zones de loisirs et de régulateurs climatiques tout en offrant des îlots de fraîcheur dans la ville. L'approche fractale adoptée dans la planification permettait de maximiser l'accessibilité tout en minimisant les distances, en maintenant une proximité entre les espaces construits, les zones de transport et les espaces verts (Frankhauser,1998). Cette organisation hiérarchique répondait non seulement aux besoins sociaux, mais anticipait également les concepts contemporains de durabilité urbaine et de résilience face aux changements climatiques. Bien qu'élaboré dans les années 1960, le modèle Hilbersmeier conserve une grande pertinence aujourd'hui, car il propose une vision de l'urbanisme capable de s'adapter aux enjeux actuels tels que l'équité sociale, la durabilité et l'efficacité fonctionnelle des espaces urbains. En revisitant les principes d'intégration spatiale, il démontre comment une catastrophe peut devenir une opportunité pour repenser et restructurer une ville sur des bases plus inclusives et durables. L'analyse fractale met en évidence l'efficacité de cette organisation, en soulignant la rigueur et la cohérence de la hiérarchie spatiale adoptée, comme le montre également le plan présenté dans la **Figure 56.**

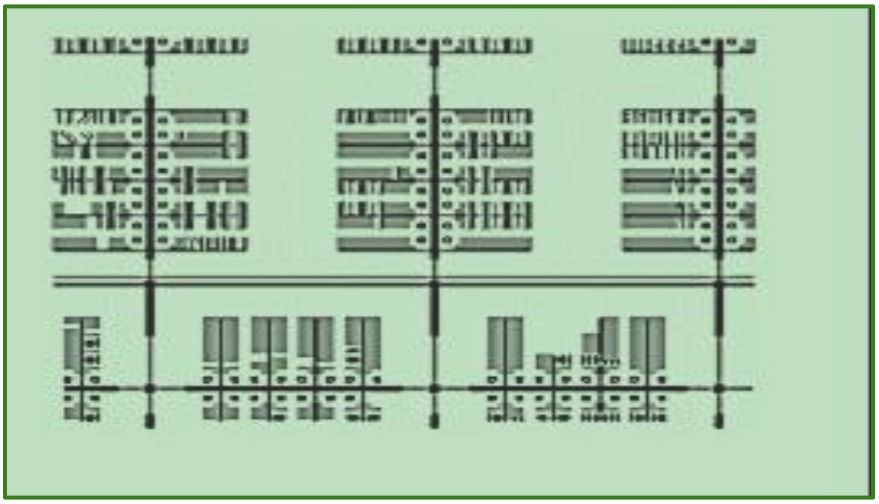


**Figure 56.** Plan de reconstruction de Chicago proposé par Hilberseimer . Source : FRANKHAUSER (1998).

### -Modèle de Shoefl (1968) : Vers une Structure Favorisant la Durabilité Urbaine

Le modèle de Shoefl illustré dans la **Figure 57**, introduit en 1968, adopte une vision globale de la durabilité urbaine, en intégrant les aspects environnementaux, économiques et sociaux dans la structure urbaine et la planification. Shoefl met l'accent sur l'importance de concevoir une structure urbaine qui permet une gestion efficace des ressources naturelles, tout en favorisant une mobilité durable et une participation active de la communauté dans les processus décisionnels. Ce modèle propose une approche intégrée où la structure de la ville ne se limite pas à son organisation physique, mais englobe également les mécanismes sociaux et économiques qui façonnent le développement urbain. L'une des pierres angulaires de ce modèle est l'importance d'un engagement citoyen fort pour assurer la viabilité à long terme des projets urbains. Les résidents doivent être activement impliqués dans la planification urbaine à travers des ateliers participatifs et des consultations publiques.

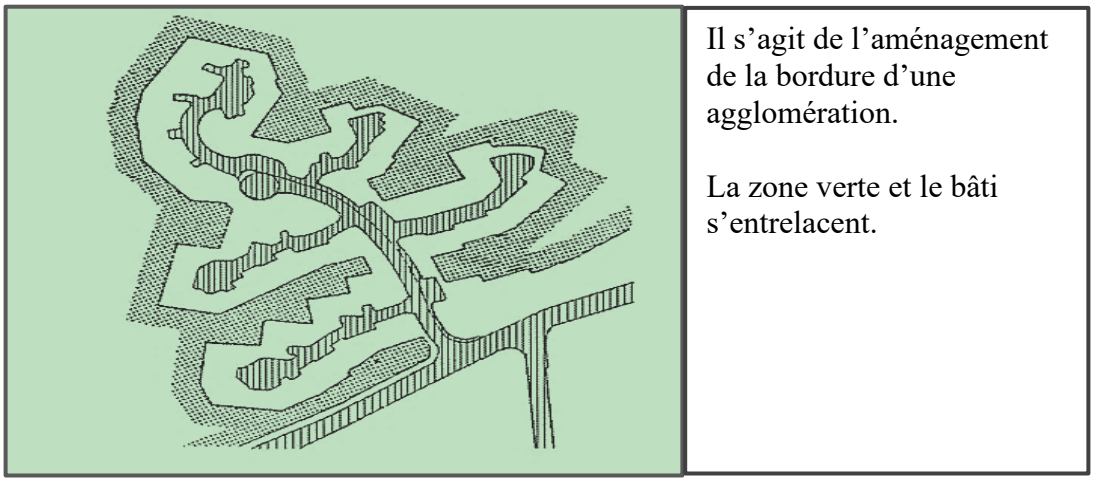



**Figure 57.** Proposition d'aménagement de Schöfl. Source : FRANKHAUSER (1998).

Le modèle de Shoefl met en avant une approche intégrée de la structure urbaine, articulée autour de la gouvernance participative, de la résilience écologique et de l'économie circulaire. Il postule que la création d'une structure sociale inclusive passe par un processus de planification urbaine transparent et participatif, garantissant que les décisions prises reflètent les besoins et aspirations des habitants. Selon cette perspective, une participation citoyenne effective ne peut se limiter à des consultations symboliques, mais doit être accompagnée d'une redistribution réelle du pouvoir décisionnel afin de favoriser un changement social authentique. Cette conception rejoint les principes avancés par Arnstein (1969) à travers son échelle de participation, qui met en évidence l'importance d'une implication citoyenne significative dans une gouvernance démocratique effective. Ainsi, les mécanismes de gouvernance participative qui émergent de cette approche restent un outil fondamental de la planification urbaine contemporaine. Par ailleurs, ce modèle intègre une dimension économique centrale en insistant sur la nécessité d'une économie urbaine résiliente et davantage orientée vers les activités économiques locales. Cette approche prône la mise en place d'une économie circulaire, où les ressources sont gérées de manière plus efficiente et les déchets minimisés, conformément aux principes décrits par Newman & Kenworthy (1999). En renforçant l'indépendance économique des villes, ce modèle favorise l'inclusivité sociale et la

création d'opportunités économiques pour les citoyens, consolidant ainsi la structure économique urbaine.

L'interconnexion entre l'infrastructure urbaine, la structure sociale et la structure économique constitue le socle du modèle de Shoefl. En intégrant ces dimensions, il propose une approche intégrée de la durabilité urbaine, offrant des réponses aux défis contemporains tels que le changement climatique, la justice sociale et la gestion des ressources. Cette vision permet la conception de villes plus résilientes et inclusives, où les principes de durabilité ne se limitent pas à des considérations environnementales, mais englobent également des aspects sociaux et économiques. Bien que développé dans les années 1960, ce modèle demeure d'actualité et continue d'influencer la planification urbaine contemporaine. Son adaptation aux enjeux du XXIe siècle permet aux urbanistes de s'appuyer sur ces fondements pour concevoir des structures urbaines répondant aux exigences écologiques et sociétales actuelles.

Enfin, l'organisation spatiale proposée par Shoefl repose sur un schéma structurant où les voies de desserte locale assurent une accessibilité optimale aux habitations, elles-mêmes entourées de jardins servant d'espaces de transition entre l'environnement bâti et les espaces ouverts ruraux. Ce principe d'aménagement favorise l'intégration progressive de la nature dans la ville, renforçant ainsi le lien entre l'espace urbain et son environnement naturel immédiat.

La structure urbaine joue un rôle déterminant dans la conception des villes durables, en intégrant des principes essentiels qui garantissent un équilibre entre développement urbain et préservation de l'environnement. Comme le montre la **Figure 58** , cette structuration repose sur plusieurs piliers interconnectés : la connectivité, qui favorise les déplacements fluides et réduit la dépendance à la voiture ; la mixité fonctionnelle, qui optimise l'usage de l'espace en intégrant diverses fonctions urbaines ; la résilience urbaine, qui permet aux villes de s'adapter aux défis environnementaux et climatiques ; la préservation des espaces verts, garantissant une meilleure qualité de vie et une biodiversité urbaine renforcée ; la compacité urbaine, qui limite l'étalement urbain et encourage un usage efficace du sol ; et enfin, la ville intelligente, qui intègre des technologies innovantes pour améliorer la gestion des ressources et des infrastructures. Cette approche globale de la structure d'une ville constitue un levier fondamental pour concevoir des espaces urbains plus inclusifs, durables et adaptés aux défis contemporains.

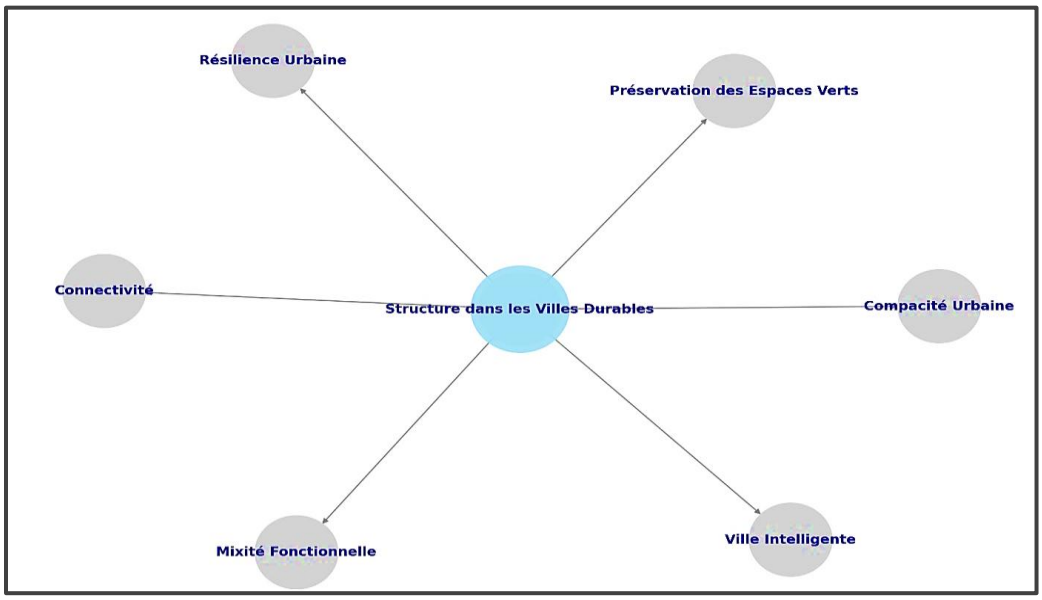



**Figure 58.** Organisation structurelle des villes durables. Conception :auteure 2023

**- Structure urbaine et urbanisme de réseau : une approche intégrée**

La structure urbaine, concept fondamental en urbanisme, désigne l'organisation spatiale et fonctionnelle des villes, englobant la disposition des quartiers, des espaces publics, des infrastructures de transport et des réseaux de communication. L'urbanisme de réseau, quant à lui, met l'accent sur la structuration de la ville à travers les infrastructures qui assurent sa connectivité et son fonctionnement. Plusieurs auteurs influents, tels que Pierre Merlin, Françoise Choay et Alain Remy, ont analysé cette interaction entre structure urbaine et urbanisme de réseau, soulignant leur rôle déterminant dans l'évolution des villes et des dynamiques socio-économiques. Dans Villes, formes et temps : les temps de la ville, les temps sur la ville (1991), Pierre Merlin examine la morphologie urbaine en tant que facteur structurant de l'espace et du quotidien des citadins. Il insiste sur l'impact des réseaux de transport dans l'organisation urbaine, soulignant que les infrastructures – routes, chemins de fer, transports en commun – constituent la colonne vertébrale des agglomérations modernes. Ces réseaux ne se limitent pas à relier des espaces, ils façonnent également les modes de vie et influencent le développement économique des territoires. Dans La ville : art et architecture en Europe, 1400-1600 (1999), Françoise Choay analyse l'évolution historique des structures urbaines, mettant en lumière l'impact des réseaux urbains sur la croissance et la configuration des villes européennes. Elle démontre que la structure urbaine ne relève pas uniquement d'une disposition physique, mais qu'elle est également le reflet des transformations sociales, culturelles et politiques. L'urbanisme de réseau apparaît ainsi comme un élément essentiel de l'organisation urbaine, jouant un rôle déterminant dans la circulation des biens, des personnes et des idées. Alain Remy ,( 2003) approfondit cette réflexion en mettant en évidence la complexité des structures urbaines contemporaines. Il démontre que les villes modernes reposent sur des réseaux interconnectés qui intègrent non seulement le transport, mais aussi les infrastructures d'eau, d'énergie et d'assainissement. Ces réseaux, devenus de plus en plus sophistiqués, sont indispensables à la gestion et à l'adaptation des villes aux nouvelles exigences démographiques et environnementales. Pour Remy, l'urbanisme de réseau constitue ainsi un levier central pour assurer la durabilité et la résilience des espaces urbains face aux défis contemporains.

L'urbanisme de réseau joue un rôle primordial dans la planification urbaine moderne en garantissant une organisation territoriale plus efficace et durable. Il ne se limite pas aux infrastructures de transport, mais englobe également les réseaux d'eau, d'énergie et de télécommunications, essentiels au bon fonctionnement des villes (Bertolini & Spit, 1998). En intégrant ces différentes composantes, l'urbanisme de réseau permet d'assurer une connectivité optimale entre les quartiers et les périphéries, influençant directement la répartition des populations, des services et des activités économiques.

L'intégration de ces réseaux dans la structure urbaine garantit une connectivité optimale entre les différentes zones, ce qui influence directement la distribution des populations, des services et des activités économiques. Le rôle des réseaux de transport dans la structure urbaine est également essentiel pour la création de villes résilientes. L'urbanisme de réseau contribue à réduire la dépendance à la voiture individuelle, en favorisant le développement de transports en commun et en améliorant l'efficacité énergétique des infrastructures. En reliant les différentes parties de la ville, ces réseaux assurent non seulement une meilleure accessibilité, mais aussi une répartition plus équitable des ressources et des services, contribuant ainsi à l'intégration sociale et à la durabilité environnementale. En ce sens, la structure urbaine devient un cadre dynamique, façonné par la capacité des réseaux à adapter les villes aux besoins évolutifs des citadins et aux défis du 21e siècle

## 3.2. La structure verte : comme approche un essai de compréhension

### 3.2.1. Identification et compréhension du concept

La structure verte, telle que définie dans la littérature contemporaine de la planification urbaine, représente bien plus qu'un simple ensemble d'espaces verts isolés. Il s'agit d'un réseau stratégique d'espaces végétalisés, tels que les parcs, les jardins publics, les forêts urbaines, les corridors écologiques, et même des innovations comme les toits végétalisés et les jardins verticaux (Shafqat & Arshad, 2012). Ces espaces verts, planifiés et reliés les uns aux autres, sont intégrés dans le tissu urbain de manière à maximiser leur contribution à la durabilité urbaine en fournissant des services écosystémiques essentiels. Elle répond aussi aux défis posés par l'urbanisation croissante, notamment en offrant des services écologiques tels que la régulation du climat, la purification de l'air, la gestion des eaux pluviales, et la préservation de la biodiversité (Harasimowicz, 2018). Elle joue également un rôle important dans le stockage de carbone et la réduction des îlots de chaleur urbains, contribuant ainsi à atténuer les effets du changement climatique et à améliorer la qualité de vie des citadins :en tant que réseau spatial complexe, elle ne se limite pas aux espaces verts urbains, mais inclut aussi des zones naturelles et semi-naturelles connectées aux milieux ruraux environnants (Tjallingii, (2005).

**Selon la Commission Européenne**, la structure verte peut être définie comme un réseau écologique comprenant des zones naturelles et semi-naturelles, destiné à maximiser les services écosystémiques dans les environnements urbains et ruraux (Farinha-Marques et al., 2014). Ce concept met en évidence l'importance de la connectivité écologique, en créant des corridors pour la faune, des voies vertes pour les piétons et les cyclistes, et en garantissant l'accès des populations urbaines à des espaces de détente et de loisirs. De plus, elle est intrinsèquement liée au concept de développement durable, favorisant un équilibre entre l'expansion urbaine et la préservation des écosystèmes naturels. Son intégration dans les plans d'aménagement urbain ne se limite pas à une

réponse aux défis écologiques mondiaux, mais constitue également un levier essentiel pour améliorer la qualité de vie des citadins.

**Le projet COST C11** a permis de préciser ce concept en le structurant autour de trois grands axes : une approche écologique (biodiversité et services environnementaux), une dimension humaine (bien-être, santé publique, cohésion sociale), et des considérations politiques (planification et gouvernance urbaine) (COST Action C11, (2005). Cette approche intégrée reflète la nature multidimensionnelle de la structure verte, qui englobe des fonctions écologiques, des bénéfices sociaux et des avantages économiques, tous essentiels pour la durabilité des villes modernes. Ainsi, la structure verte dans les villes contemporaines représente un pilier incontournable pour le développement durable. En permettant de maintenir un équilibre entre les besoins des populations urbaines et la protection des ressources naturelles, elle assure un futur urbain plus résilient et écologique. Les urbanistes et décideurs doivent donc prendre en compte cette infrastructure verte dans leurs politiques de planification afin de maximiser les bénéfices écologiques et sociaux qu'elle procure.

- **Structure Verte et Armature Verte : Une Complémentarité Essentielle pour la Planification Urbaine**

La structure verte et l'armature verte sont deux concepts complémentaires essentiels à la planification écologique urbaine. La structure verte se concentre sur les espaces végétalisés au sein de la ville (parcs, jardins, corridors écologiques), améliorant la qualité de vie et atténuant les effets des îlots de chaleur. L'armature verte, en revanche, dépasse l'échelle urbaine pour englober un réseau écologique plus vaste, reliant les espaces verts intra-urbains aux zones naturelles protégées et aux corridors écologiques régionaux. Cette connexion favorise la préservation de la biodiversité et la résilience des écosystèmes face aux pressions anthropiques et climatiques. L'intégration de ces deux approches dans la planification urbaine est essentielle pour garantir un développement équilibré, conciliant urbanisation et conservation écologique. En reliant les espaces verts aux grands réseaux naturels, l'armature verte assure une meilleure continuité écologique et renforce la durabilité des territoires urbains et périurbains.

- **Une organisation selon un gradient d'urbanisation :** La structure verte se développe en fonction de l'intensité de l'urbanisation. Dans les zones fortement urbanisées, elle prend la forme de parcs de proximité et d'espaces verts intégrés aux infrastructures urbaines pour offrir des îlots de verdure au cœur de la ville. À mesure que l'on s'éloigne des centres urbains, la structure verte évolue vers des espaces plus vastes et des corridors écologiques reliant les espaces naturels aux zones résidentielles. Cette gradation permet une adaptation contextuelle de la structure verte aux besoins écologiques et sociaux des différentes zones urbaines.

- **Des formes de vert structurées selon des échelles :** La structure verte s'organise également à différentes échelles, s'adaptant aux besoins locaux tout en maximisant les avantages écologiques. À petite échelle, les toits verts et les jardins plus grande échelle, des parcs régionaux et des réserves naturelles protègent les habitats et fournissent des espaces récréatifs pour les résidents . Cette structuration multi-échelle permet de renforcer la communautaires améliorent la qualité de l'air et réduisent les îlots de chaleur urbains. À une résilience écologique et de diversifier les fonctions des espaces verts dans le cadre urbain.

- **Un réseau hiérarchisé et connecté : Un ensemble de TVB :** La structure verte comprend un réseau hiérarchisé de trames vertes (espaces végétalisés) et trames bleues (zones aquatiques), favorisant la connectivité écologique au sein de la ville. Ce réseau permet de lier les zones naturelles avec les espaces urbains, assurant ainsi la mobilité des espèces et la régénération des écosystèmes, tout en améliorant la qualité de vie des citadins par la présence d'espaces naturels accessibles. Ce concept de trame verte et bleue est essentiel pour la durabilité environnementale, car il combine des solutions basées sur la nature pour résoudre les défis urbains.

- **Une adéquation avec le maillage de la ville :** La structure verte s'adapte harmonieusement au maillage urbain, en intégrant les espaces verts dans les interstices urbains tels que les friches industrielles ou les terrains vacants. Cette intégration optimise l'usage des ressources disponibles et permet de répondre aux besoins écologiques et sociaux des citadins en maximisant l'espace vert par habitant. Une planification minutieuse permet de connecter ces espaces verts aux infrastructures existantes, renforçant ainsi la durabilité de la ville.

- **Une dotation selon le Ratio Habitants-Surface :** La dotation en espaces verts au sein de la structure verte est calculée selon un ratio habitant/superficie, garantissant un accès équitable au vert et à la nature pour tous les résidents. Des indicateurs tels que la superficie verte par habitant sont utilisés pour ajuster les dotations en fonction des spécificités locales. Ce processus permet de maintenir une densité suffisante d'espaces verts dans les zones à forte densité urbaine.

- **Des services écosystémiques rendus :** La structure verte fournit des services écosystémiques essentiels, tels que la régulation climatique, la filtration de l'air et de l'eau, la protection contre les inondations, ainsi que la préservation de la biodiversité. Ces services sont essentiels pour améliorer la résilience des villes face aux défis environnementaux, notamment le changement climatique et la perte de biodiversité. En intégrant ces services dans la planification urbaine, la structure verte permet aux villes de mieux s'adapter aux contraintes écologiques.

- **Une organisation selon une perception paysagère :** L'organisation de la structure verte est également influencée par une perception paysagère soigneusement étudiée. Cette approche prend en compte les préférences esthétiques et culturelles des habitants, ainsi que les caractéristiques morphologiques du paysage urbain. La perception esthétique des espaces verts joue un rôle décisif dans l'acceptation et l'utilisation de ces espaces par les habitants. En intégrant des éléments paysagers inspirés de la nature locale, tels que des motifs végétaux ou des formes naturelles, les concepteurs d'espaces verts enrichissent l'expérience visuelle des citadins et renforcent leur lien avec leur environnement urbain. Meiss (2010) souligne l'importance de la création de points de vue panoramiques dans les espaces verts, permettant aux habitants de profiter de perspectives esthétiques sur la ville. Ces points de vue ne sont pas seulement des éléments visuels ; ils contribuent à améliorer l'appropriation des espaces verts par les résidents, en renforçant leur attachement émotionnel à ces lieux. La mise en valeur des éléments paysagers remarquables, tels que les arbres anciens ou les formations naturelles, contribue également à une meilleure intégration des espaces verts dans le tissu urbain. La beauté et la biodiversité des paysages verts urbains participent à la régulation du climat urbain, mais aussi à l'amélioration du bien-être social en offrant des espaces récréatifs esthétiquement plaisants et fonctionnels. Ces espaces contribuent à renforcer la cohésion sociale en fournissant des lieux de rencontre et d'interaction. La prise en

compte des préférences culturelles et esthétiques locales permet de créer des espaces qui sont non seulement écologiquement fonctionnels, mais aussi adaptés aux besoins et désirs des habitants, ce qui favorise une meilleure appropriation et une utilisation durable des espaces verts.

- **La synergie eau-structure verte pour une structure verte et bleu** La synergie entre l'eau et la structure verte est un aspect central de la planification urbaine durable. Les espaces verts jouent un rôle important dans la gestion des eaux pluviales, en réduisant le ruissellement et en améliorant la qualité des cours d'eau urbains. Les zones humides et les bassins de rétention contribuent à la prévention des inondations et soutiennent la biodiversité aquatique. Cette synergie renforce l'efficacité des infrastructures vertes en matière de gestion des ressources hydriques et de résilience climatique. Des initiatives telles que le concept de "ville éponge" illustrent cette synergie en permettant aux zones urbaines d'absorber et de retenir l'eau de pluie, réduisant ainsi les risques d'inondation et améliorant la résilience urbaine (Hasler & Sicher, (2021). Par ailleurs, les aménagements tels que les "water squares" offrent des espaces publics multifonctionnels qui servent à la fois de lieux de loisirs en période sèche et de zones de rétention d'eau lors de fortes pluies, contribuant ainsi à une gestion efficace des eaux pluviales en milieu urbain. (Januchta, (2015).

### 3.2.2. Les indicateurs d'une structure verte

L'évaluation et la conception d'une structure verte efficace nécessitent une compréhension approfondie de plusieurs aspects clés, chacun a un rôle à jouer dans la fonctionnalité, la durabilité et l'intégration harmonieuse dans l'environnement urbain. Ces indicateurs, fondés sur des principes écologiques et urbanistiques, permettent d'évaluer différents paramètres tels que la connectivité, la hiérarchie, la cohérence, la résilience et l'équilibre des structures vertes.

- **La Hiérarchie :** La hiérarchie des éléments de la structure verte repose sur une différenciation selon leur taille, leur fonction écologique et leur importance dans le réseau écologique urbain. Les parcs régionaux, les zones humides et les corridors écologiques sont souvent considérés comme des éléments de haute priorité, offrant des services écosystémiques essentiels tels que la régulation climatique, la gestion des eaux pluviales et la conservation de la biodiversité. Une hiérarchisation efficace favorise une gestion durable des espaces verts en optimisant l'utilisation des ressources disponibles. Elle permet également de mieux planifier l'aménagement et la gestion des zones de protection en fonction de leur valeur écologique.

- **La connectivité :**La connectivité est essentielle pour le maintien de la biodiversité et la santé des écosystèmes urbains. Elle permet la mobilité des espèces et le flux génétique entre les différents habitats, tout en assurant aux citadins des espaces de loisirs naturels accessibles. L'importance des corridors écologiques, contribue ainsi à la préservation des écosystèmes. La fragmentation des habitats urbains peut avoir des effets dévastateurs sur les populations d'espèces locales, mais une structure verte bien connectée peut en atténuer les impacts en créant un réseau cohérent de zones interconnectées.

- **La Cohérence :** La cohérence de la structure verte est déterminée par l'intégration harmonieuse de ses différents éléments dans le tissu urbain. Une structure verte cohérente garantit que les espaces verts sont planifiés de manière intégrée, reliant les zones naturelles avec les environnements bâtis. On souligne l'importance d'une approche cohérente pour créer des villes durables où les espaces verts ne sont pas isolés, mais bien connectés et fonctionnels. Les efforts de

renaturation urbaine, tels que la restauration des habitats naturels ou la création de corridors écologiques, renforcent la cohérence écologique de ces systèmes en milieu urbain.

- **Résilience : La** résilience est un indicateur clé qui mesure la capacité d'une structure verte à résister aux perturbations telles que le changement climatique, les catastrophes naturelles ou la perte de biodiversité. Une structure verte résiliente doit être capable de s'adapter et de se rétablir rapidement après des événements perturbateurs. L'importance de la diversité des habitats et de la connectivité paysagère renforcent la résilience des espaces verts. En intégrant des stratégies de gestion flexibles et adaptatives, les villes peuvent assurer la pérennité de leurs infrastructures écologiques face aux crises environnementales.

- **Équilibre :** L'équilibre dans la répartition spatiale des espaces verts urbains est un indicateur essentiel de la structure verte, visant à garantir un accès équitable à la nature pour tous les résidents. Cet équilibre permet non seulement de favoriser la justice environnementale, mais aussi de préserver les écosystèmes fragiles et les paysages naturels remarquables. Une structure verte équilibrée répond aux besoins variés des différentes parties prenantes, qu'il s'agisse des résidents, des entreprises ou des organismes de conservation. Des espaces bien répartis et accessibles à tous les groupes socio-économiques renforcent la santé publique, le bien-être, ainsi que la cohésion sociale. L'importance de cet équilibre est nécessaire dans un contexte urbain marqué par des inégalités d'accès aux ressources naturelles. Une répartition équilibrée des espaces verts permet d'éviter une concentration excessive de ces ressources dans certaines zones privilégiées, au détriment des quartiers moins favorisés. Cela favorise une plus grande justice spatiale et environnementale. De plus, cet équilibre joue un rôle fondamental dans la préservation des écosystèmes locaux, en intégrant des mesures de conservation dans les plans de développement urbain, pour minimiser l'impact de l'urbanisation sur la biodiversité et les paysages naturels.

### 3.2.3. Les exigences d'une structure verte

Dans un contexte marqué par l'urgence climatique et l'accélération de la croissance urbaine, l'intégration des structures vertes dans les stratégies d'aménagement urbain est devenue incontournable pour assurer la durabilité des villes, renforcer la résilience des écosystèmes, et améliorer la qualité de vie des populations. Les structures vertes constituent des éléments clés de l'infrastructure verte urbaine. Une approche intégrée est requise pour leur conception et gestion, tenant compte de l'organisation fonctionnelle, de la cohérence formelle, de la cohérence des échelles, de la valeur écosystémique, de l'évolutivité, ainsi que des aspects esthétiques et dynamiques. Ces éléments sont fondamentaux pour garantir que les structures vertes répondent aux besoins écologiques, sociaux et économiques tout en s'adaptant aux défis urbains futurs .Les exigences de ces structures vertes sont développées comme suit :

- **Organisation Fonctionnelle et Cohérence Formelle**

L'organisation fonctionnelle et la cohérence formelle constituent deux fondements primordiaux pour la durabilité et la résilience des espaces verts en milieu urbain. L'organisation fonctionnelle des structures vertes fait référence à leur capacité à offrir une diversité de services écosystémiques, tels que la régulation thermique, la séquestration du carbone, la purification de l'air et de l'eau, ainsi que la préservation de la biodiversité. Ces services ne profitent pas seulement

à l'environnement naturel, mais influencent également de manière directe la santé et le bien-être des habitants des villes. Les recherches en écologie urbaine soulignent la nécessité de concevoir les structures vertes comme des systèmes multifonctionnels, capables de répondre simultanément aux objectifs écologiques tout en prenant en compte les contraintes spatiales et les besoins des communautés locales. La cohérence formelle fait référence à l'intégration harmonieuse des structures vertes dans le paysage urbain, tant sur le plan esthétique que fonctionnel. Elle vise à renforcer l'identité des espaces verts et à améliorer leur accessibilité, favorisant ainsi leur appropriation par les résidents. Une conception réussie doit s'appuyer sur les caractéristiques locales, notamment les contextes historiques et culturels, tout en appliquant des principes de design écologique qui valorisent la biodiversité, l'utilisation de plantes indigènes et la création de paysages dynamiques.

- **Cohérence d'Échelles**

La cohérence d'échelles est nécessaire pour assurer une harmonisation entre les interventions écologiques à différentes échelles, allant du niveau local au niveau régional. L'intégration multiscalaire tient compte des interactions entre les différentes échelles spatiales. Même de petits espaces verts peuvent jouer un rôle significatif dans le maintien de la biodiversité et la fourniture de services écosystémiques, lorsqu'ils sont connectés à un réseau écologique plus vaste. La continuité écologique, permise par des corridors biologiques, est décisive pour faciliter la migration des espèces et maintenir la fonctionnalité des écosystèmes. La mise en place d'une cohérence d'échelles nécessite une coordination entre les acteurs locaux, les urbanistes, et les résidents. Parmi les défis majeurs figurent la fragmentation urbaine et les contraintes liées au développement, qui limitent les possibilités de connectivité écologique. L'utilisation des technologies tel que le SIG et des approches participatives sont essentielles pour optimiser cette connectivité.

- **Valeur Écosystémique et Évolutivité**

Les structures vertes en milieu urbain offrent des services écosystémiques essentiels, allant de la régulation climatique à la conservation de la biodiversité. Leur valorisation économique permet de justifier les investissements dans les infrastructures vertes en démontrant que ces espaces peuvent réduire les coûts associés aux événements climatiques extrêmes et améliorer la santé publique. Quant à l'évolutivité concerne la capacité des structures vertes à s'adapter aux changements environnementaux et sociaux. Une gestion adaptative, fondée sur des processus de suivi et d'ajustement continu, est nécessaire pour maintenir la performance écologique des espaces verts face aux défis climatiques et aux évolutions des besoins des populations urbaines.

- **Dynamique et Permanence**

Les notions de dynamique et de permanence illustrent l'équilibre entre flexibilité et continuité. D'un côté, les structures vertes doivent être capables de s'adapter aux changements écologiques et sociaux. De l'autre, elles doivent maintenir leurs fonctions écologiques et sociales à long terme. L'intégration des principes de dynamique et de permanence dans la planification urbaine repose sur des modèles écologiques prévisionnels et sur l'application de stratégies de gestion adaptative. La dynamique et la permanence constituent des principes clés pour le développement de structures vertes durables et résilientes. En équilibrant ces deux aspects, il est

possible de créer des espaces verts qui s'adaptent et évoluent avec les villes, tout en fournissant de manière continue des bénéfices écologiques et sociaux.

## 3.3.La structure verte :Une stratégie pour une ville résiliente et durable

La structure verte est un élément clé pour garantir la résilience des territoires urbains face aux défis environnementaux, sociaux et économiques. En favorisant une gestion intégrée des ressources naturelles et en améliorant la qualité de vie des habitants, elle permet de développer des villes plus durables et adaptatives. Différents aspects de la structure verte contribuent à cette résilience, notamment par la gestion des eaux pluviales, l'atténuation des îlots de chaleur urbains, le soutien à la biodiversité, l'amélioration du bien-être des citoyens et la création de nouvelles opportunités économiques.

### 3.3.1.La structure verte pour une résilience des territoires

La structure verte constitue une approche stratégique et intégrée pour répondre aux défis multiples auxquels les territoires modernes sont confrontés. En valorisant les espaces verts et bleus, cette stratégie se positionne comme un levier essentiel pour la durabilité environnementale, économique et sociale. La résilience des territoires via la structure verte est en mesure d'assurer :

- **La gestion des Eaux Pluviales et réduction des risques d'inondation**

Les structures vertes jouent un rôle probant dans la gestion des eaux pluviales. Les systèmes tels que les jardins de pluie, les toits végétalisés et les parcs permettent de réduire les risques d'inondation en facilitant l'infiltration de l'eau dans le sol. Ces dispositifs naturels ou semi-naturels agissent comme des solutions alternatives aux infrastructures classiques de drainage, en absorbant l'excès d'eau et en réduisant la charge sur les systèmes de gestion des eaux usées .En outre, ils contribuent à améliorer la qualité de l'eau en filtrant les polluants avant que celle-ci ne rejoigne les rivières et les nappes phréatiques . Les espaces verts agissent comme des infrastructures naturelles de protection, atténuant les effets des catastrophes naturelles telles que les inondations et les glissements de terrain.

- **Atténuation des Îlots de Chaleur Urbains**

Les structures vertes sont essentielles pour atténuer les effets des îlots de chaleur urbains, un phénomène amplifié par l'urbanisation intensive. En apportant de l'ombrage et en utilisant les processus de transpiration des plantes, elles contribuent à abaisser les températures locales. Cette réduction des températures améliore non seulement le confort des habitants, mais permet également de diminuer la consommation d'énergie liée à la climatisation, réduisant ainsi les émissions de gaz à effet de serre.

- **Soutien à la Biodiversité et aux Services Écosystémiques**

Qu'il s'agisse de parcs, de toits végétalisés ou de corridors écologiques, ils jouent un rôle fondamental dans le soutien à la biodiversité. En tant qu'habitats pour la faune et la flore, ils permettent la conservation de la biodiversité dans un environnement souvent hostile aux espèces sauvages . De plus, les corridors écologiques facilitent la migration des espèces à travers la ville, renforçant ainsi la connectivité des habitats et soutenant des services écosystémiques vitaux, tels

que la pollinisation et la séquestration du carbone . Ces fonctions sont capitales pour le maintien des écosystèmes urbains et la résilience des villes face aux pressions environnementales.

### 3.3.2.La structure verte pour la durabilité des territoires

La structure verte représente un levier fondamental pour assurer la durabilité des territoires en intégrant des solutions écologiques dans l'aménagement urbain ,suburbain et même rural. En reliant les espaces naturels et en favorisant une planification urbaine respectueuse des écosystèmes, elle contribue à la résilience environnementale, à la préservation de la biodiversité et à l'amélioration de la qualité de vie des habitants. En tant qu'outil stratégique, elle permet de concilier développement territorial et enjeux écologiques, en optimisant la gestion des ressources et en atténuant les impacts du changement climatique. Ainsi, la structure verte ne se limite pas à un simple aménagement paysager, mais s'inscrit dans une approche systémique visant à harmoniser croissance urbaine et équilibre écologique.

- **Contribution à la Qualité de l'Air et à la Santé Publique**

La structure verte agit comme un régulateur naturel de la qualité de l'air, jouant un rôle important dans la lutte contre la pollution atmosphérique. Les arbres et les espaces végétalisés captent les particules fines, les polluants et les gaz à effet de serre, améliorant ainsi la qualité de l'air que respirent les habitants. De plus, ces espaces permettent une réduction significative des îlots de chaleur urbains, contribuant à un climat local plus tempéré, en particulier dans les zones densément peuplées. Ces bienfaits environnementaux ont un impact direct sur la santé publique, en réduisant les maladies respiratoires et cardiovasculaires liées à la pollution. Par ailleurs, les espaces verts encouragent l'activité physique et le contact avec la nature, favorisant le bien-être mental et physique des citoyens.

- **Optimisation de l'Utilisation des Ressources Naturelles**

La structure verte est également une réponse à la nécessité d'une gestion durable des ressources naturelles. En intégrant des solutions basées sur la nature, elle permet d'optimiser l'utilisation de l'eau, des sols et de l'énergie. Par exemple, les zones humides et les trames bleues facilitent la rétention des eaux pluviales, réduisant les risques d'inondation et permettant une recharge efficace des nappes phréatiques. Les toitures végétalisées et les parcs urbains réduisent la demande en énergie pour la climatisation, en régulant naturellement les températures. Ces approches intégrées permettent de limiter l'exploitation excessive des ressources tout en garantissant leur disponibilité pour les générations futures.

- **Promotion d'une Économie Verte et Circulaire**

La structure verte s'inscrit dans une logique d'économie verte et circulaire, en stimulant des opportunités économiques tout en réduisant l'impact environnemental des activités humaines. Les espaces verts bien gérés peuvent générer des emplois dans les domaines de l'horticulture, de l'aménagement paysager et de la gestion écologique. Les projets de verdissement urbain augmentent également la valeur des biens immobiliers et attirent les investissements dans des quartiers devenus plus attrayants grâce à la présence d'espaces verts (Kremer et al., 2016). De plus, la valorisation des déchets organiques pour la production de compost, ainsi que la réutilisation des matériaux issus des espaces verts, participent à une économie circulaire. Les parcs urbains, forêts périurbaines et corridors écologiques attirent également le tourisme vert, renforçant ainsi

l'économie locale, ces structures peuvent devenir des attractions touristiques, participant ainsi au dynamisme économique des villes ,tout en sensibilisant à l'importance de la biodiversité et de la durabilité.

- **Participation citoyenne**

La réussite de la structure verte repose sur une participation citoyenne active et engagée. Impliquer les habitants dans la planification, la conception et la gestion des espaces verts favorise un sentiment d'appartenance à la communauté et renforce l'engagement envers la protection de l'environnement. L'importance de la collaboration entre les acteurs locaux pour garantir le succès des initiatives de structure verte, en encourageant une gouvernance participative et démocratique.

- **Amélioration de la Cohésion Sociale et du Cadre de Vie**

La structure verte joue un rôle fondamental dans le renforcement de la cohésion sociale et l'amélioration du cadre de vie. Les espaces verts offrent des lieux de rencontre, de détente et de socialisation, favorisant ainsi les interactions sociales entre des individus d'origines diverses. Ces espaces inclusifs réduisent les inégalités sociales en garantissant un accès équitable à des zones de qualité pour tous les habitants, indépendamment de leur statut socio-économique. Par ailleurs, les projets liés à la structure verte, comme la création de jardins communautaires ou d'espaces de loisirs, renforcent le sentiment d'appartenance à la communauté et stimulent des initiatives participatives.

## Conclusion

Le concept de la structure verte, tel qu'exploré dans ce chapitre, s'avère être bien plus qu'un simple agencement physique d'éléments naturels ou aménagés dans les espaces urbains ou suburbains . Il incarne une approche philosophique et méthodologique intégrée, visant à réconcilier les enjeux écologiques, sociaux et économiques dans un cadre urbanistique en perpétuelle transformation. Ce chapitre a montré que la structure verte représente non seulement une stratégie d'aménagement, mais également une trame systémique capable de tisser des liens fonctionnels et symboliques entre les différentes composantes d'une ville, tout en renforçant sa résilience face aux crises contemporaines telles que le changement climatique, l'urbanisation incontrôlée, et la perte de biodiversité.

L'analyse a été conduite selon une approche transdisciplinaire, mettant en lumière les multiples ancrages du concept structure de façon globale dans des disciplines aussi variées que la philosophie, l'écologie, l'architecture et l'urbanisme. Cette articulation conceptuelle élargie révèle que la structure verte ne constitue pas une innovation isolée, mais s'inscrit dans une évolution logique et nécessaire du cadre de la planification urbaine contemporaine. L'interconnexion entre ces différents domaines souligne son rôle stratégique en tant que levier d'amélioration de la qualité de vie urbaine, de préservation de la santé environnementale et de réponse aux enjeux sociaux. Par cette intégration dynamique et fonctionnelle de la nature dans l'espace urbain, la structure verte se positionne comme un élément structurant des politiques de résilience et de durabilité urbaine.

## CHAPITRE 3 : LA STRUCTURE VERTE COMME APPROCHE ET PHILOSOPHIE : ESSAI D'ANALYSE ET DE COMPREHENSION

Dans sa dimension appliquée, la structure verte se caractérise par plusieurs indicateurs fondamentaux, notamment la hiérarchisation, la connectivité, la cohérence et la résilience. Ces paramètres permettent d'organiser les espaces verts de manière à répondre aux exigences écologiques locales tout en renforçant les dynamiques sociales. L'approche systémique et hiérarchisée des espaces verts, illustrée par divers modèles d'urbanisme durable, démontre que leur intégration ne relève pas uniquement d'une considération esthétique, mais s'inscrit dans une démarche plus large visant la cohésion sociale, la gestion optimisée des ressources et l'amélioration du cadre de vie urbain. Par ailleurs, l'étude a mis en évidence les conditions essentielles à l'élaboration d'une structure verte efficiente, reposant sur son organisation fonctionnelle, sa cohérence morphologique, sa valeur écosystémique et sa capacité d'adaptation. Ces principes soulignent la nécessité d'une flexibilité permettant à la structure verte de s'ajuster aux mutations urbaines, tout en assurant son rôle écologique fondamental. En outre, sa contribution aux services écosystémiques – tels que la régulation thermique, la gestion des eaux pluviales et la préservation de la biodiversité – en fait un levier stratégique incontournable dans les politiques de résilience urbaine et d'aménagement durable.

Ce chapitre a mis en évidence que la structure verte ne se limite pas à ses bénéfices environnementaux, mais constitue également un levier stratégique pour renforcer la résilience territoriale. Ses contributions s'étendent aux dimensions sociales et économiques, en favorisant le bien-être des citoyens, en stimulant l'économie verte et en jouant un rôle central dans la gestion des risques naturels. Par ailleurs, l'implication des habitants dans la conception et la gestion des espaces verts a été identifiée comme un élément déterminant pour garantir leur pérennité. Cette participation citoyenne favorise l'appropriation des espaces par la population et contribue à leur intégration durable dans le tissu urbain.

Ainsi, la structure verte dépasse le cadre d'un simple outil d'aménagement pour s'affirmer comme une véritable philosophie de la planification urbaine, répondant aux défis contemporains de manière intégrée et adaptative. Elle permet de reconfigurer la ville en un espace où la nature et l'urbanité coexistent de manière complémentaire et harmonieuse. En ce sens, elle ne se limite pas à une réponse aux enjeux écologiques et sociaux actuels, mais s'inscrit comme un modèle prospectif pour des villes plus résilientes, durables et inclusives, capables de s'adapter aux mutations du XXIe siècle.

# Chapitre 4
# Villes et performance environnementale : entre souci ancien et DUD, quelle importance pour la structure verte ?

# Introduction

L'urbanisation croissante et les pressions environnementales contemporaines imposent aux villes une transformation profonde de leurs modes de développement. Face aux défis liés au changement climatique, à l'effondrement de la biodiversité et aux impacts de la pollution, la performance environnementale des villes devient un enjeu central des politiques d'aménagement urbain. Parmi les solutions durables mises en avant, l'intégration des structures vertes apparaît comme une approche essentielle pour concilier croissance urbaine et résilience environnementale.

Ce chapitre s'attache à explorer le rôle des structures vertes dans l'amélioration de la performance environnementale urbaine, en examinant leur contribution à la régulation du microclimat, à la gestion des ressources naturelles, et à la qualité de vie des citadins. Plus qu'un simple élément esthétique, la structure verte s'impose comme une infrastructure écologique de premier plan, capable d'atténuer les îlots de chaleur urbains, de favoriser l'infiltration des eaux pluviales et de servir de refuge à la biodiversité. En outre, elle constitue un levier stratégique pour la mise en œuvre des principes du DUD , en intégrant des solutions fondées sur la nature dans la planification urbaine.

Dans un premier temps, ce chapitre retrace l'évolution historique du rapport entre ville et nature, mettant en évidence la manière dont la question environnementale a progressivement gagné en importance dans l'urbanisme. Il explore ensuite les concepts de performance environnementale, en détaillant leur évolution depuis la recherche du confort jusqu'à l'émergence des stratégies durables et résilientes. Enfin, une analyse approfondie des bénéfices socio-environnementaux des structures vertes permettra de démontrer comment elles participent à une meilleure qualité de vie urbaine, tout en renforçant l'attractivité économique des territoires.

L'objectif de cette réflexion est de souligner que la prise en compte des structures vertes ne constitue plus un simple choix urbanistique, mais une nécessité impérative pour assurer un développement équilibré et durable des villes du XXI$^{e}$ siècle. En proposant une approche systémique intégrant urbanisme, écologie et gouvernance, ce chapitre ambitionne de fournir une compréhension approfondie des leviers d'action disponibles pour faire des structures vertes un pilier incontournable de la ville durable de demain.

## 4.1. Performance et concepts connexes

La notion de performance en urbanisme a connu une évolution significative au fil des décennies, passant d'une focalisation sur le confort des habitants à une attention croissante pour l'efficacité énergétique, jusqu'à aboutir à une approche centrée sur la performance environnementale. Cette dernière s'inscrit dans le cadre plus large des principes du développement urbain durable (DUD). Cette transition conceptuelle souligne le rôle croissant de la structure verte dans l'élaboration des stratégies urbaines durables, en réponse aux défis contemporains liés au climat et à la dégradation des ressources naturelles.

### 4.1.1. De la quête du confort à l'efficacité

Historiquement, la planification urbaine a été largement orientée vers l'amélioration du confort et du bien-être des habitants, visant à structurer des espaces adaptés aux besoins sociaux et physiques des populations. Cependant, avec l'essor des métropoles et l'intensification des pressions environnementales et économiques, l'urbanisme a progressivement intégré des critères d'efficacité dans la gestion des infrastructures, en particulier dans les domaines de l'énergie, de l'eau et des déchets. Cette transformation traduit un changement de paradigme où l'optimisation des ressources devient un enjeu central, conditionnant l'organisation spatiale et la durabilité des systèmes urbains (Bulkeley et al., 2014).

L'évolution des politiques urbaines témoigne d'une volonté d'adopter une approche plus rationnelle et durable, visant à concilier qualité de vie et performance environnementale. L'efficacité énergétique, autrefois perçue comme un objectif technique, est désormais un principe fondamental structurant l'aménagement des villes. Cette transition a influencé non seulement la conception des bâtiments, avec l'essor de l'architecture bioclimatique et des matériaux à haute performance énergétique, mais aussi la planification des infrastructures urbaines, favorisant le développement de réseaux intelligents et de modes de transport durables. Ainsi, cette évolution traduit un tournant majeur dans l'histoire de l'urbanisme, où l'efficacité n'est plus simplement une contrainte ,mais un levier stratégique permettant d'assurer la résilience et la soutenabilité des espaces urbains. Cette dynamique impulse une approche intégrée du développement urbain, dans laquelle les logiques de confort et d'efficacité s'articulent pour concevoir des villes capables de répondre aux défis du XXIe siècle.

### 4.1.2. De l'efficacité à la performance environnementale

Si l'efficacité énergétique a constitué une étape clé dans l'évolution des politiques urbaines, elle a progressivement laissé place à une approche plus globale de la performance environnementale des villes. Celle-ci ne se limite plus à la seule optimisation des consommations énergétiques, mais englobe également la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la gestion durable des ressources naturelles et la préservation de la biodiversité. Cette évolution conceptuelle s'inscrit dans une dynamique où les villes sont perçues non seulement comme des centres de vie et d'activité, mais aussi comme des écosystèmes urbains interconnectés, nécessitant une gestion intégrée et durable . Dans cette perspective, Jenks & Jones (2010) mettent en évidence le rôle central de la performance environnementale comme indicateur clé de la durabilité urbaine. Leur analyse souligne que la transition vers des villes plus durables repose sur une planification stratégique qui prend en compte l'impact des formes urbaines, l'intégration des infrastructures écologiques et la résilience des territoires face aux changements climatiques. Newman & Jennings (2008) insistent également sur le fait que cette transition implique une vision systémique, où les interactions entre l'environnement naturel et les dynamiques urbaines doivent être prises en compte pour assurer un développement durable et résilient. Ainsi, les villes ne sont plus seulement des ensembles bâtis optimisant l'efficacité énergétique, mais des systèmes complexes dont la structuration repose sur une gestion écologique intégrée, garantissant leur capacité à répondre aux défis environnementaux contemporains.

La structure verte s'impose aujourd'hui comme un élément central dans la quête de performance environnementale des villes. En intégrant des espaces verts, des corridors écologiques et des solutions basées sur la nature, les environnements urbains peuvent non seulement améliorer la qualité de vie des habitants, mais aussi renforcer leur résilience face aux événements climatiques extrêmes et aux pressions exercées sur la biodiversité. L'approche écologique de la ville, telle que développée par Goddard, Dougill et Benton (2010), met en évidence le rôle essentiel des réseaux d'espaces verts urbains en particulier les jardins pour préserver la biodiversité, en connectant les habitats fragmentés et en favorisant la dispersion des espèces. Ainsi, au-delà de leur fonction esthétique et récréative, ces structures écologiques jouent un rôle stratégique dans l'atténuation des effets du changement climatique et dans l'adaptation des villes aux nouveaux enjeux environnementaux. En somme, l'évolution de la notion de performance, de l'efficacité énergétique à une performance environnementale plus large, reflète un changement paradigmatique dans la manière dont les villes sont conçues et gérées. Cette évolution met en lumière l'importance de penser les villes non seulement comme des entités fonctionnelles, mais aussi comme des systèmes vivants, où la gestion des ressources naturelles et la préservation des écosystèmes jouent un rôle central dans la définition de la durabilité urbaine.

### 4.1.3.La performance environnementale et le DUD

L'évolution du concept de performance en urbanisme, passée du confort à l'efficacité puis à la performance environnementale, traduit une prise de conscience croissante des enjeux écologiques. Désormais, la planification urbaine ne se limite plus à l'optimisation énergétique ou au bien-être des habitants, mais vise à intégrer des stratégies durables fondées sur la résilience écologique. Ainsi, la performance environnementale devient un indicateur clé du développement urbain, englobant la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la gestion durable des ressources, la préservation de la biodiversité et l'amélioration de la qualité de vie. Cette évolution positionne les structures vertes comme un pilier essentiel du Développement Urbain Durable (DUD). La relation entre performance environnementale et DUD est incontournable, imposant une approche qui harmonise milieu bâti et écosystèmes. Timothy Beatley (2011) souligne l'impact des infrastructures vertes—espaces verts, corridors écologiques—dans l'amélioration de la qualité de vie et la résilience urbaine. Ces dispositifs, en plus d'atténuer les effets du changement climatique, jouent un rôle clé dans la régulation thermique, la gestion des eaux pluviales et la réduction des îlots de chaleur. Ils favorisent également la cohésion sociale et la santé publique, tout en renforçant la durabilité économique des villes.

Cette transition conceptuelle marque un changement de paradigme : l'urbanisme ne peut plus dissocier efficacité et durabilité. L'intégration des structures vertes incarne une réponse pragmatique aux défis du DUD, alliant fonctionnalité, esthétique et résilience. La performance urbaine contemporaine dépasse ainsi la simple efficacité énergétique pour inclure des critères environnementaux essentiels, redéfinissant les stratégies de développement urbain. L'avenir des villes repose sur un équilibre entre confort, efficacité et performance environnementale, où les infrastructures vertes deviennent un levier incontournable de la durabilité urbaine.

### 4.1.4. De la Quête du Confort à l'Exigence de Performance Environnementale et de Durabilité : Un Souci Ancien dans l'Évolution du Développement Urbain

Historiquement, la performance urbaine a toujours été une préoccupation majeure dans l'aménagement des villes, bien que son interprétation ait évolué au fil du temps. D'abord centrée sur des impératifs pragmatiques comme la défense et la gestion des ressources, elle s'est progressivement transformée en une quête de durabilité et de résilience écologique. Dès l'Antiquité, la gestion efficiente de l'eau constituait un critère essentiel de performance, comme en témoignent les aqueducs romains, véritables prouesses d'ingénierie permettant un approvisionnement durable en eau potable. Ces infrastructures démontrent que les civilisations anciennes, bien que limitées par leur technologie, intégraient déjà des préoccupations liées à la gestion durable des ressources naturelles.

Au Moyen Âge, la notion de performance urbaine s'oriente vers la sécurité. Les fortifications massives qui ceinturaient les cités répondaient à une nécessité de protection, influençant durablement l'organisation spatiale et les dynamiques de développement urbain. Toutefois, ces structures, en délimitant strictement l'espace urbain, freinaient également son expansion harmonieuse. La Renaissance marque une transition vers une approche plus esthétique et fonctionnelle. L'aménagement urbain intègre alors des préoccupations d'ordre architectural et social, avec l'essor des places publiques et des jardins qui renforcent la cohésion sociale et l'habitabilité des villes. Avec l'industrialisation, la performance urbaine prend une nouvelle dimension, dictée par la nécessité de répondre à une urbanisation rapide et aux défis sanitaires posés par la pollution et la surpopulation. Ce tournant amorce un questionnement sur la qualité de vie en ville et la gestion des impacts environnementaux, ouvrant la voie à une planification urbaine plus soucieuse de durabilité. Douglas Farr

(2008) met en avant une approche intégrée de l'urbanisme durable, soulignant l'importance de développer des quartiers compacts et accessibles, favorisant la marche et réduisant l'empreinte écologique des villes. À travers son engagement dans le programme LEED-Neighborhood Development, il promeut des stratégies visant à intégrer des infrastructures à haute performance environnementale au sein de communautés résilientes et socialement dynamiques.

L'évolution de la performance urbaine illustre ainsi un glissement progressif d'une logique fonctionnelle et défensive vers une vision systémique où la durabilité constitue le socle du développement urbain contemporain. Il ne s'agit plus seulement d'assurer l'efficacité des infrastructures, mais de concevoir des villes capables de répondre aux enjeux écologiques et sociaux de demain. Cette transformation consacre la performance environnementale comme un élément central de l'urbanisme, orientant la conception des villes vers des espaces plus résilients, intégrant pleinement la gestion des ressources, la préservation de l'environnement et le bien-être des habitants.

## 4.2.Les formes urbaines et l'avènement de la révolution industrielle : quelle performance ?

La Révolution industrielle a marqué un tournant majeur dans l'évolution des formes urbaines, redéfinissant les critères de performance en matière d'aménagement. Dès la fin du XVIII$^{e}$ siècle, l'essor des usines, des infrastructures de transport et des quartiers ouvriers a profondément remodelé la morphologie des villes, accentuant densification, ségrégation sociale et pression environnementale. Si cette transformation a renforcé l'efficacité économique et industrielle, elle a également généré de nouveaux défis liés à la pollution, à la surpopulation et aux inégalités sociales.

Face à ces mutations, l'aménagement urbain a dû s'adapter rapidement aux exigences croissantes de production, souvent au détriment des considérations environnementales et sociales. Cette période a révélé les limites d'un urbanisme centré sur l'expansion industrielle, posant ainsi les prémices des débats contemporains sur la durabilité et la qualité de vie en ville. L'analyse des répercussions de cette ère met en lumière les tensions entre croissance économique et performance environnementale, soulignant l'importance d'une approche équilibrée.

En revisitant ces dynamiques, il apparaît que nombre des problématiques actuelles – pollution, gestion des ressources, équité sociale – trouvent leurs racines dans cette période de transformation. Les leçons tirées de l'industrialisation peuvent ainsi éclairer les stratégies futures pour concevoir des villes plus résilientes et durables, conciliant développement économique, bien-être des habitants et préservation de l'environnement.

- **L'ère industrielle et la cite ouvrière**

L'ère industrielle a introduit des changements profonds dans la structure des sociétés et dans l'aménagement des espaces urbains, entraînant l'émergence de la cité ouvrière et du mouvement hygiéniste, ce dernier cherchant à répondre aux défis sanitaires et sociaux posés par la concentration industrielle et la densification urbaine. Ces transformations ont conduit à des réalisations significatives dans le domaine de l'urbanisme et de la santé publique. L'industrialisation a entraîné une urbanisation massive, avec la création de cités ouvrières conçues pour loger la main-d'œuvre des usines. Ces quartiers étaient souvent caractérisés par des conditions de vie précaires, avec des logements insalubres et surpeuplés. Friedrich Engels (1845), offre une analyse détaillée de ces conditions, mettant en lumière les effets délétères de l'industrialisation sur les travailleurs et leurs familles. Basé sur ses observations à Manchester entre 1842 et 1844, il décrit en détail la pauvreté, les maladies et les conditions de travail dangereuses auxquelles la classe ouvrière est confrontée. Il soutient que l'industrialisation a exacerbé les inégalités sociales, entraînant une détérioration significative des conditions de vie des travailleurs. Il introduit également le concept de "meurtre social" pour qualifier les décès prématurés résultant de ces conditions imposées par la société. Sa recherche est considéré comme une analyse pionnière des effets sociaux du capitalisme industriel et a influencé la pensée marxiste ultérieure.

- **L'Apparition du Mouvement Hygiéniste**

Face aux crises sanitaires engendrées par l'industrialisation et l'urbanisation au XIX$^{e}$ siècle, le mouvement hygiéniste émerge comme une réponse structurée visant à améliorer la santé publique à travers des réformes urbaines, l'assainissement et l'accès aux services essentiels. Ce courant marque une prise de conscience des liens entre conditions de vie insalubres et propagation des maladies, menant à des initiatives majeures qui ont transformé l'aménagement urbain et renforcé les standards de vie en milieu urbain. Parmi ces avancées, on compte la mise en place de systèmes d'égouts pour l'évacuation des eaux usées, l'introduction de réseaux d'eau potable pour assurer une distribution saine, ainsi que la création de parcs et d'espaces verts destinés à améliorer la qualité de l'air et offrir des espaces de loisirs. Ces réalisations sont étroitement associées à des figures comme Edwin Chadwick en Angleterre, dont les travaux ont influencé l'adoption de politiques sanitaires pionnières.

Dans son Rapport sur l'état sanitaire de la population laborieuse de la Grande-Bretagne (1842), Chadwick démontre, à travers une analyse des infrastructures urbaines et des données épidémiologiques, que l'absence de systèmes d'assainissement efficaces et la mauvaise qualité de l'eau potable sont des facteurs déterminants de la forte mortalité dans les quartiers industriels. Il recommande alors la mise en place de réseaux de drainage performants et une distribution généralisée d'eau potable, propositions qui influenceront l'adoption du Public Health Act de 1848, première grande loi de santé publique au Royaume-Uni.

L'influence du mouvement hygiéniste ne se limite pas aux infrastructures sanitaires, mais s'étend également à la planification urbaine, comme en témoigne le concept des cités-jardins développé par Ebenezer Howard dans Garden Cities of To-Morrow (1902). Howard propose des villes autosuffisantes, entourées de ceintures vertes et combinant les avantages de la ville et de la campagne, afin de répondre aux crises sanitaires et sociales liées à l'industrialisation rapide. Ce modèle, visant à offrir un cadre de vie plus équilibré, inspire la création de villes comme Letchworth et Welwyn Garden City au Royaume-Uni, ainsi que des cités-jardins en France, notamment en Île-de-France, destinées à fournir des logements salubres et accessibles aux classes populaires. Toutefois, l'ampleur des transformations impulsées par le mouvement hygiéniste se manifeste également dans les interventions urbaines de grande envergure menées par Haussmann à Paris et Cerdà à Barcelone. Bien que répondant à des contextes distincts, ces réformes poursuivaient un objectif commun : améliorer la salubrité et la qualité de vie urbaine en restructurant en profondeur les espaces bâtis. À travers ces diverses initiatives, le mouvement hygiéniste s'est imposé comme un catalyseur majeur des transformations urbaines, influençant durablement les principes d'aménagement et jetant les bases des préoccupations contemporaines en matière d'urbanisme durable.

- **Haussmann et la transformation de paris**

Sous le Second Empire (1853-1870), Paris connut une transformation radicale orchestrée par Georges-Eugène Haussmann, préfet de la Seine, sous la direction de Napoléon III. Ce vaste projet d'urbanisme visait à moderniser la capitale française, alors confrontée à des défis majeurs liés à la surpopulation, l'insalubrité et les difficultés de circulation. Au milieu du XIX$^{e}$ siècle, Paris était une ville surpeuplée, où les rues étroites et insalubres favorisaient la propagation de maladies,

notamment le choléra. La capitale, au cœur des échanges commerciaux et culturels de la France, souffrait également d'une congestion importante due à un réseau de circulation inefficace. Napoléon III, inspiré par les transformations de Londres, souhaitait moderniser Paris pour répondre aux besoins de la population croissante tout en consolidant son image de ville impériale. Les objectifs étaient multiples : améliorer les conditions sanitaires, fluidifier les déplacements, embellir la ville et renforcer son attractivité internationale. Les travaux d'Haussmann se distinguèrent par leur ampleur et leur diversité, couvrant plusieurs aspects fondamentaux de l'urbanisme et changeant ainsi le paysage de la ville (**Figure 59**).

Haussmann fit percer 64 kilomètres de nouvelles voies, notamment le boulevard de Sébastopol, l'avenue de l'Opéra et le boulevard Saint-Michel. Ces axes, rectilignes et bordés d'arbres, facilitèrent la circulation et offrirent des perspectives visuelles nouvelles, tout en permettant une meilleure aération des quartiers densément peuplés. Les immeubles haussmanniens, construits en pierre de taille, furent conçus selon des règles strictes : hauteur standardisée, balcons continus et toits en ardoise.

Ce style conféra une harmonie visuelle unique à Paris, encore visible aujourd'hui. Un système d'égouts performant fut construit pour évacuer les eaux usées, contribuant à une nette amélioration de l'hygiène publique.

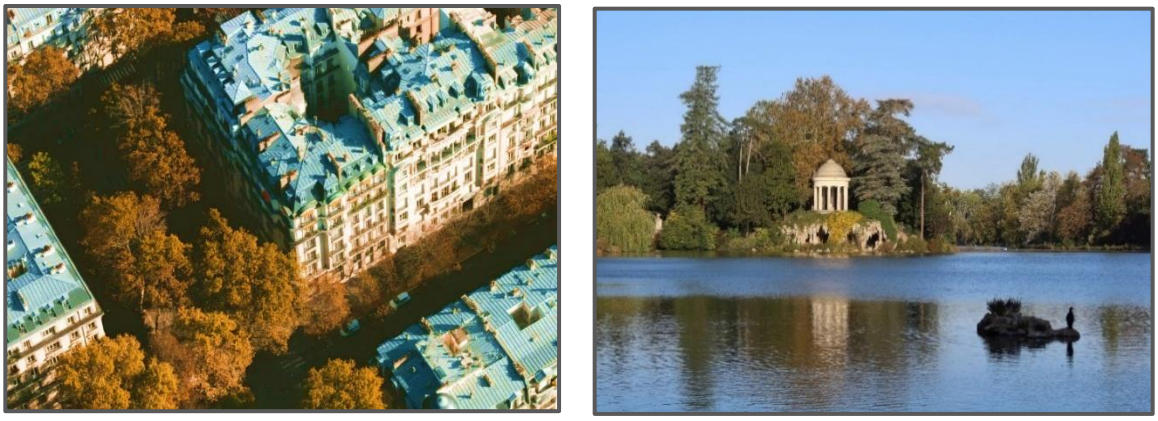


**Figure 59.**. Évolution du paysage urbain de Paris. Source: https://parissecret.com/pourquoi-et-comment-le-baron-haussmann-a-transforme-paris/

En parallèle, l'approvisionnement en eau potable fut renforcé grâce à la construction d'aqueducs et de réservoirs, comme celui de Montsouris. Haussmann souhaitait également offrir aux Parisiens des espaces de détente. Il fit aménager de grands parcs, tels que le parc Monceau, les Buttes-Chaumont et le parc Montsouris, ainsi que de nombreux squares dans les quartiers résidentiels. Ces travaux s'accompagnèrent de la construction d'équipements publics emblématiques, comme l'Opéra Garnier et les gares du Nord et de Lyon.

Les transformations haussmanniennes eurent des répercussions majeures sur la ville et ses habitants. Les nouveaux boulevards et infrastructures réduisirent les risques sanitaires et facilitèrent les déplacements, tandis que les espaces verts augmentèrent la qualité de vie.. Malgré les critiques, l'œuvre d'Haussmann a durablement marqué Paris. Son plan de modernisation fit de la capitale un modèle pour les grandes villes européennes, symbolisant un urbanisme à la fois fonctionnel et esthétique.

- **Cerda et l'extension de Barcelone**

À la même époque, Ildefonse Cerdà entreprit l'expansion de Barcelone avec son célèbre plan de l'Eixample, fondé sur des principes d'hygiène publique et d'accessibilité. Ce plan, caractérisé par un réseau de rues en grille avec des blocs octogonaux, visait à optimiser la circulation de l'air et à maximiser l'exposition à la lumière solaire dans les espaces urbains, contribuant ainsi à améliorer les conditions de vie et à réduire les risques sanitaires. Cerdà mettait également l'accent sur l'importance des espaces verts, des services publics et de l'accessibilité, anticipant les principes du mouvement hygiéniste. Son travail est exploré dans Teoría General de la Urbanización (1867), où il présente des principes d'urbanisme visant à répondre aux défis posés par la croissance rapide des villes industrielles ( Cerdà ,1867)

## 4.3. Les villes « idéales » et la question de l'hygiène au XIXème siècle

Le XIXe siècle a marqué une période de transformation radicale dans l'aménagement urbain, en grande partie motivée par des préoccupations liées à l'hygiène et à la santé publique. Face à l'industrialisation rapide et à l'urbanisation croissante, les modèles de villes « idéales » ont émergé en réponse aux défis posés par la surpopulation, la pollution et les conditions de vie insalubres. Des figures comme Charles Fourier, Ebenezer Howard et Le Corbusier ont proposé des visions novatrices d'une organisation urbaine où l'hygiène et le bien-être des habitants seraient au centre des préoccupations. Parmi ces modèles, le Phalanstère, les cités-jardins, et la ville fonctionnaliste se distinguent par leur influence sur l'évolution de l'urbanisme moderne.

- **Le Phalanstère et Familistère**

Le concept du Phalanstère, développé par le philosophe utopique Charles Fourier au début du XIXe siècle, incarne une vision de la communauté idéale où l'organisation sociale et spatiale était pensée pour favoriser l'harmonie et le bien-être collectif. Le Phalanstère était conçu comme un ensemble résidentiel autonome où le travail, la vie sociale et les loisirs seraient intégrés dans un cadre harmonieux et hygiénique. Bien que le modèle n'ait jamais été pleinement réalisé, ses principes ont influencé les réflexions sur la conception d'environnements urbains sains. Comme l'explique Fourier dans Le Nouveau Monde industriel et sociétaire (1829), "l'organisation spatiale joue un rôle crucial dans l'épanouissement personnel et le bonheur collectif" .

Jean-Baptiste André Godin, influencé par Fourier, s'inspire du modèle du Phalanstère pour créer sa propre vision communautaire, qu'il nomme Familistère(**Figure 60**). Cependant, Godin apporte des modifications importantes à ce modèle en l'adaptant à un contexte industriel. Contrairement au Phalanstère(**Figure 61**), conçu pour être situé en milieu rural, le Familistère est construit dans les faubourgs d'une ville, à proximité immédiate de la manufacture qui emploie les

travailleurs. Le Familistère de Godin, composé de 500 appartements et hébergeant entre 1500 et 2000 personnes, se distingue également par ses innovations architecturales. Godin s'inspire des atriums vitrés des grands hôtels parisiens pour créer des espaces collectifs lumineux et fonctionnels. Comme le souligne Godin dans son livre Solution sociale (1871), ***"ces espaces communs sont pensés pour favoriser la vie communautaire tout en améliorant la qualité de vie des ouvriers".*** Le Familistère se distingue par certains éléments uniques, tels que le belvédère du pavillon central et la place du Familistère, qui font écho à la tour d'ordre et à la place du Phalanstère. Toutefois, des innovations significatives sont également présentes, comme l'inclusion d'écoles et d'un théâtre, absents du modèle de Fourier, mais qui jouent un rôle essentiel dans la vision de Godin d'une communauté autosuffisante et éduquée (Fourier, 1829 ; Godin, 1871).

- **Les Cités-Jardins**

En réponse aux problèmes d'hygiène et de densité excessive des villes industrielles, Ebenezer Howard a conçu les cités-jardins à la fin du XIXe siècle. Ce modèle visait à créer des communautés autosuffisantes, combinant harmonieusement zones résidentielles, industrielles, agricoles et espaces verts. Contrairement aux villes surpeuplées et polluées de l'époque, les cités-jardins offraient un environnement équilibré, avec des espaces verts pour améliorer la qualité de l'air et la santé des habitants. Howard présente sa vision dans les cites jardins , où il écrit : ***"le développement des cités doit permettre à l'homme de vivre en symbiose avec la nature, en s'assurant que l'air et l'eau sont purs, et que les espaces verts favorisent le bien-être physique et moral".*** Cette approche a inspiré de nombreux projets urbains à travers le monde, notamment la création de Letchworth et Welwyn en Angleterre. Ces cités-jardins sont devenues des exemples emblématiques d'une approche d'urbanisme visant à concilier développement urbain et bien-être.

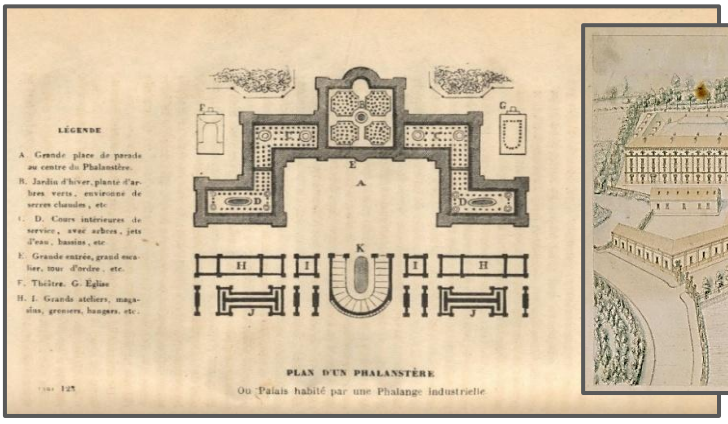



**Figure 60.**Vue du Familistère projeté. (Aquarelle anonyme, vers 1859.)

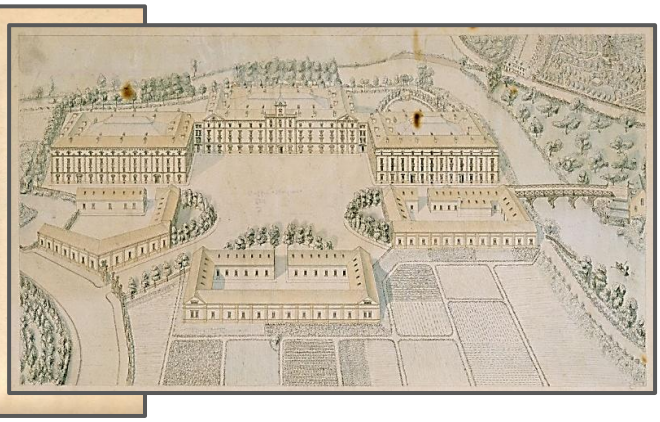


**Figure 61.**Plan d'un Phalanstère ou Palais habité( par une phalange industrielle.)

Source: https://www.familistere.com/uploads/cache/image_huge_jpg/uploads/media/5aa7bb8a39647/phalanstere-architecture-plan-fourier.jpg

- **La Ville Fonctionnaliste**

Le mouvement moderne du début du XXe siècle a marqué une rupture décisive avec les modèles urbains traditionnels, introduisant un urbanisme centré sur l'efficacité, la fonctionnalité et la rationalisation des espaces. Ce modèle, connu sous le nom de ville fonctionnaliste, prônait une séparation claire des fonctions urbaines — habitation, travail, loisirs et circulation — pour améliorer la qualité de vie et répondre aux besoins croissants des populations urbaines. Peter Hall, dans son ouvrage "Cities of Tomorrow: An Intellectual History of Urban Planning and Design in the Twentieth Century" (4e éd., 2014), analyse cette approche en soulignant que les urbanistes modernistes du début du XXe siècle visaient une distinction nette entre les zones résidentielles, commerciales, industrielles et récréatives, promouvant ainsi une organisation rationnelle et hygiénique de la vie urbaine. L'un des acteurs les plus emblématiques de ce mouvement, Le Corbusier. Il a proposé des concepts novateurs tels que la ***« Ville Radieuse »***, qui mettait l'accent sur la santé publique et la fonctionnalité. Dans "Vers une architecture" (1923) , Le Corbusier présente une vision d'une ville moderne organisée de manière à maximiser l'efficacité tout en favorisant des conditions de vie saines pour ses habitants. Selon Anthony Sutcliffe (1984), ***« les conceptions urbaines de Le Corbusier étaient profondément influencées par son désir de créer un environnement urbain plus sain et plus efficace, une ville qui réponde aux besoins du monde moderne »*** .Cette approche visait à organiser l'espace de manière à favoriser l'aération et la lumière, tout en assurant des infrastructures modernes. Jean-Louis Cohen souligne également l'importance de la santé publique dans cette approche, en expliquant que ***« la vision de la ville selon Le Corbusier mettait l'accent non seulement sur l'efficacité et l'infrastructure moderne, mais aussi sur une ville capable de promouvoir la santé publique en organisant l'environnement urbain de manière rationnelle et hygiénique »*** (Cohen, 1992).

Ces modèles de villes idéales, allant du Phalanstère de Charles Fourier aux cités-jardins d'Ebenezer Howard, en passant par la ville fonctionnaliste de Le Corbusier, représentent chacun des réponses distinctes aux défis sociaux et sanitaires du XIXe siècle. David Harvey (1989), rappelle que les visions utopiques de villes comme le Phalanstère, les cités-jardins et la ville fonctionnaliste continuent de façonner la manière dont les urbanistes envisagent la relation entre santé, bien-être et environnement bâti .Ces concepts ont contribué à l'évolution des théories de l'urbanisme moderne, posant les bases de la conception des villes contemporaines. Ces concepts ont contribué à l'évolution des théories de l'urbanisme moderne, posant les bases de la conception des villes contemporaines. Le modèle fonctionnaliste, en particulier, a laissé un héritage durable dans la manière dont les villes actuelles sont organisées, mettant l'accent sur la séparation des espaces de vie, de travail et de loisirs, tout en accordant une place centrale à la santé publique.

Marshall Berman (1982), souligne que ***« en séparant les espaces de vie, de travail et de loisirs, l'urbanisme fonctionnaliste a laissé une empreinte durable sur la planification urbaine contemporaine, notamment dans la conception des villes modernes qui priorisent la santé publique et l'ordre »*** Ainsi, ces différentes visions de la ville idéale, bien qu'utopiques, continuent d'influencer les stratégies actuelles d'urbanisation, particulièrement dans la recherche d'un équilibre entre le bien-être des habitants et les exigences d'un développement urbain durable.

## 4.4. Les nouvelles formes de l'urbanisme moderne

Le XXe siècle marque une période de transformation significative dans la conception et la planification urbaine, un moment où l'urbanisme moderne se développe pour répondre aux défis croissants posés par l'industrialisation, l'urbanisation rapide, et les nouvelles exigences sociales. Cette époque voit l'émergence de théories et de pratiques novatrices qui réinventent la ville et sa relation avec ses habitants. L'une des figures les plus marquantes de cette période est Le Corbusier, dont l'influence sur l'urbanisme et l'architecture modernes demeure incontestée.

- **Le Corbusier et la Cité Radieuse**

Le Corbusier, architecte, urbaniste et théoricien suisse-français, a été l'un des pionniers du mouvement moderne. Ses théories ont profondément influencé l'architecture et l'urbanisme tout au long du XXe siècle. Son projet emblématique, la Cité Radieuse, inaugurée en 1952 à Marseille, incarne ses idées novatrices sur l'organisation des espaces urbains. Ce bâtiment, également connu sous le nom d'Unité d'Habitation, traduit sa vision d'une « ville verticale », dans laquelle les fonctions de la ville (habitat, services, commerces et loisirs) sont intégrées dans une structure unique(**Figure 62**). Dans La Charte d'Athènes , Le Corbusier décrit les principes fondamentaux de l'urbanisme moderne, défendant une approche où l'organisation rationnelle des espaces est conçue pour maximiser la fonctionnalité tout en assurant le bien-être des habitants. Selon lui,la ville moderne doit être pensée comme une machine à habiter, où la fonctionnalité prime et où l'organisation spatiale est conçue pour améliorer la qualité de vie des habitants (Le Corbusier, 1943).

La Cité Radieuse met en pratique cette philosophie en offrant non seulement des logements, mais aussi des services communautaires (crèche, commerces, école) au sein d'un seul bâtiment. Ce concept de **"village vertical"(Figure 63** ) incarne l'idéal de Le Corbusier : une réponse aux désordres urbains causés par l'urbanisation rapide et incontrôlée après la Seconde Guerre mondiale. La Cité Radieuse n'était pas seulement un projet architectural, mais une vision complète de l'organisation urbaine, visant à réconcilier la ville avec la nature tout en garantissant le confort et la santé des habitants. L'influence de la Cité Radieuse et des idées de Le Corbusier a été déterminante dans la transformation de l'urbanisme moderne.

Dans son ouvrage, Françoise Choay(1965) analyse en profondeur l'impact de l'architecture fonctionnaliste promue par Le Corbusier sur la conception de la ville moderne. Elle souligne que son approche, fondée sur la séparation des fonctions urbaines — habitation, travail, loisirs et circulation — a profondément influencé la planification urbaine du XX$^{e}$ siècle. Le Corbusier accordait une importance primordiale à la santé publique et à l'hygiène dans la conception urbaine, prônant des espaces ouverts, une ventilation naturelle et une circulation de l'air optimale pour améliorer les conditions de vie dans les zones urbaines densément peuplées. Cette vision fonctionnaliste a laissé une empreinte durable sur les stratégies d'urbanisation contemporaines, orientant les efforts vers la création d'environnements urbains à la fois efficaces et propices au bien-être des habitants.

**Figure 62.**La cite radieuse avec son environnement verdoyant. http://bonnet.ap.free.fr/Images/HIDA/Corbusier/cite_radieuse_vue_generale.jpg

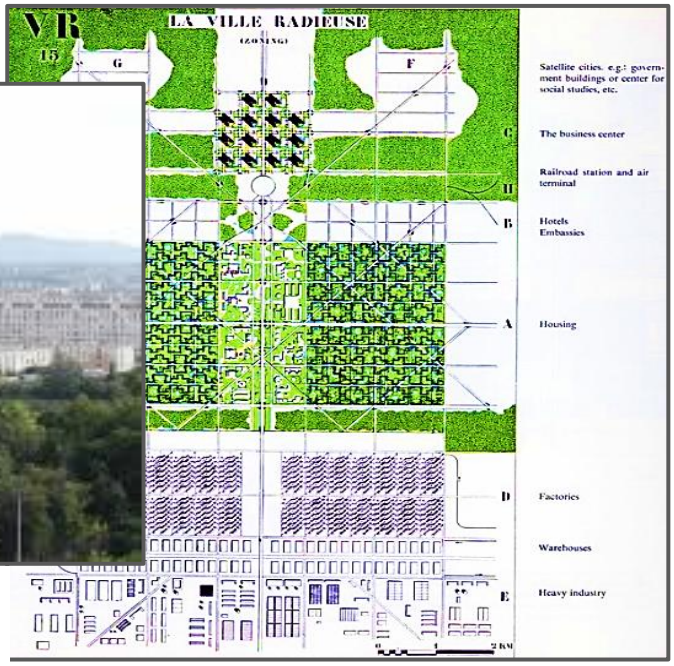



**Figure 63.** plan de la ville radieuse ,Le Corbusier 1930. Source : Marcella Vasconcelos , 2019

On souligne aussi que les conceptions urbaines de Le Corbusier étaient profondément influencées par son désir de créer un environnement urbain plus sain et plus efficace, une ville capable de répondre aux besoins du monde moderne . En somme ,les idées de Le Corbusier ont impérativement marqué l'urbanisme moderne en proposant une nouvelle approche de la ville, centrée sur la fonctionnalité, la rationalisation de l'espace et le bien-être des habitants. Ces concepts continuent d'influencer les pratiques d'urbanisme contemporaines, en promouvant une vision où la ville doit être un espace harmonieux, intégré et durable.

## 4.5. Les Formes Urbaines Contemporaines

Au cours des dernières décennies, l'urbanisme a continué d'évoluer pour répondre aux exigences contemporaines en matière de durabilité, de densité, et d'intégration sociale. Loin des mégastructures monolithiques, de nouvelles formes urbaines cherchent à redonner de la flexibilité et à favoriser les interactions sociales, tout en intégrant des pratiques respectueuses de l'environnement. Une des formes les plus représentatives de cette évolution est celle de l'îlot ouvert, un modèle d'aménagement urbain qui contraste avec les blocs fermés et rigides du passé.

### 4.5.1.La Forme Traversante ou « L'Îlot Ouvert »

Le concept d'îlot ouvert en urbanisme a été développé par l'architecte et urbaniste français Christian de Portzamparc à la fin des années 1970. L'îlot ouvert, ou "forme traversante", incarne une approche nouvelle de l'aménagement urbain. Contrairement aux blocs fermés traditionnels, qui séparent et cloisonnent les espaces urbains, l'îlot ouvert propose des espaces traversants qui favorisent une meilleure circulation des piétons et une connexion fluide entre les espaces publics et privés. L'ouverture des îlots permet de créer des espaces respirables et accessibles, favorisant les déplacements doux et l'intégration harmonieuse de la nature dans l'urbanisme moderne (Accorsi, ,2010).

En déverrouillant les quartiers hermétiques, ce modèle urbain encourage les interactions sociales, améliore la qualité de vie et renforce la cohésion sociale. Le concept de l'îlot ouvert repose sur la mixité fonctionnelle, visant à créer une porosité entre les espaces résidentiels, commerciaux et récréatifs. Contrairement aux modèles de blocs fermés, cette forme urbaine cherche à créer des environnements vivants, adaptables et intégrés à la nature(**Figure 64 et Figure 65**). L'intégration de la nature dans l'aménagement urbain permet de développer des zones à la fois flexibles et durables, en réponse aux enjeux écologiques actuels .Cette approche est au cœur des préoccupations modernes en matière d'urbanisme, qui cherchent à concilier les besoins individuels et collectifs dans des espaces urbains résilients et propices à la durabilité.

L'îlot ouvert s'inscrit dans une logique de densification raisonnée, où les espaces publics et verts sont intégrés pour éviter la saturation des espaces urbains tout en améliorant la qualité de vie des habitants. En favorisant une meilleure ventilation naturelle, un accès à la lumière et une diminution de la chaleur urbaine, ces espaces ouverts contribuent à l'amélioration des conditions environnementales en milieu urbain. De plus, l'îlot ouvert permet une meilleure gestion des ressources, notamment de l'eau de pluie, grâce à l'intégration de systèmes de gestion écologique des eaux . Cette forme urbaine répond également aux enjeux de la mobilité douce, en favorisant les déplacements à pied ou à vélo, et en réduisant la dépendance à la voiture. En désenclavant les quartiers urbains, elle permet de réduire la congestion des transports et d'encourager des modes de vie plus durables et inclusifs.

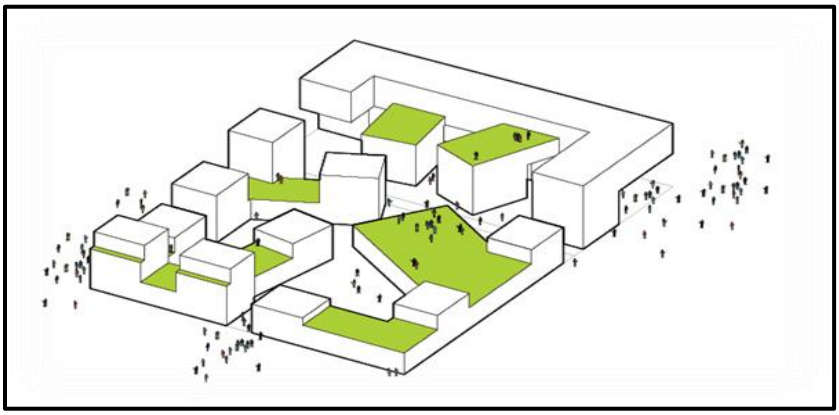


**Figure 64.** L'îlot ouvert : un modèle de performance écologique et urbaine**.** Source https://cremaschiblog.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/11/zac-rives-de-seine.jpg?w=930&h=581&crop=1

**Figure 65.** Îlot ouvert sur l'Île de Nantes : la vision de Christian de Portzamparc. Source: https://www.lemoniteur.fr/mediatheque/4/6/6/000686664_520x330_c.jpg

### 4.5.2.Les villes à l'ère du DUD : entre changements climatiques et crise environnementale

L'ère du DUD marque une période critique dans laquelle les villes sont confrontées à des défis sans précédent dus aux changements climatiques et à la crise environnementale. Ces enjeux imposent une réévaluation des modes de planification, de construction et de gestion des infrastructures urbaines. L'objectif est de privilégier la durabilité, la résilience et l'adaptation aux nouvelles conditions environnementales. Les villes doivent désormais se concentrer non seulement sur la réduction de leur impact climatique, mais également sur l'adaptation aux effets déjà observables des changements climatiques .

Les stratégies d'adaptation, telles que l'amélioration des infrastructures de drainage, la végétalisation urbaine pour lutter contre les îlots de chaleur et la conception de bâtiments résilients, se sont multipliées . Ces stratégies s'accompagnent d'initiatives d'atténuation pour réduire l'empreinte carbone urbaine, notamment à travers l'adoption d'énergies renouvelables et de solutions basées sur la nature. Par ailleurs, l'aspect social de la durabilité urbaine devient

fondamental. Le DUD exige non seulement des réponses aux défis climatiques, mais aussi une justice sociale accrue, garantissant que les ressources urbaines soient distribuées de manière équitable. Cette approche se traduit par une attention renouvelée à l'inclusivité dans les processus décisionnels, en particulier l'équité dans les projets de durabilité urbaine.

- **La vulnérabilité des territoires face aux changements climatiques**

Les changements climatiques représentent l'un des plus grands défis environnementaux actuels, impactant profondément les territoires urbains. L'urbanisation rapide a souvent amplifié la vulnérabilité des villes aux catastrophes naturelles, telles que les inondations, les vagues de chaleur et les tempêtes .Nous explorons l'impact des changements climatiques sur les villes et la manière dont l'urbanisme peut s'adapter pour atténuer ces effets, notamment à travers le développement de structures vertes. D'ailleurs ,la prise de conscience croissante des défis environnementaux a encouragé les villes à repenser leur relation avec la nature et à intégrer des stratégies de durabilité dans leur planification.

- **Les Manifestations des Changements Climatiques : Causes et conséquences**

Les changements climatiques se traduisent par une augmentation des températures moyennes, l'intensification des événements météorologiques extrêmes (ouragans, sécheresses) et l'élévation du niveau des mers (IPCC, 2018). Ces phénomènes mettent en péril la sécurité alimentaire, la santé publique et la biodiversité, et nécessitent des mesures d'atténuation et d'adaptation .Le phénomène des îlots de chaleur urbains (ICU), par exemple, exacerbe les problèmes de santé publique et de consommation énergétique dans les zones densément peuplées (Santamouris,2014). Les changements climatiques résultent principalement de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES) due aux activités humaines telles que la combustion de combustibles fossiles, la déforestation et les pratiques agricoles intensives. Selon le Groupe du climat (GIEC), les émissions anthropiques de GES ont atteint des niveaux sans précédent, entraînant des concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone ($CO_2$), de méthane ($CH_4$) et de protoxyde d'azote ($N_2O$) jamais observées depuis au moins 800 000 ans. Cette augmentation intensifie l'effet de serre naturel, provoquant un réchauffement global et des perturbations climatiques significatives (IPCC, 2014). Le rapport du GIEC ajoute qu'il est extrêmement probable que l'influence humaine soit la cause principale du réchauffement observé depuis le milieu du XX$^{e}$ siècle. Cette constatation souligne l'importance de réduire les émissions de GES pour limiter les impacts des changements climatiques et éviter les scénarios climatiques les plus extrêmes.

Pour les conséquences des changements climatiques ,elles sont vastes et touchent de nombreux aspects de la vie sur Terre. Parmi, on compte la perte de biodiversité, les modifications des écosystèmes, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des catastrophes naturelles, ainsi que des impacts majeurs sur la sécurité alimentaire, la santé humaine et l'économie mondiale . Les zones côtières, en raison de leur vulnérabilité accrue face à l'élévation du niveau de la mer et aux événements climatiques extrêmes, sont particulièrement à risque. De plus, les mégapoles situées dans les pays en développement, souvent caractérisées par des infrastructures limitées et des capacités institutionnelles faibles, subissent des pressions supplémentaires dues aux changements climatiques .

- **Les Actions et la Prise de Conscience Face aux Changements Climatiques**

Face aux menaces climatiques grandissantes, la communauté internationale a pris conscience de la nécessité de répondre de manière collective et coordonnée. L'Accord de Paris adopté lors de la 21e Conférence des Parties (COP21), constitue un jalon essentiel dans la lutte contre le réchauffement climatique, en fixant comme objectif de limiter l'augmentation de la température mondiale à 1,5 °C au-dessus des niveaux préindustriels. Cet accord engage les pays signataires à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre et à renforcer leur résilience face aux impacts climatiques (UNFCCC, 2015). Parallèlement, les Objectifs de Développement Durable (ODD), adoptés en 2015 par les Nations Unies, encouragent une approche intégrée pour aborder les défis climatiques tout en favorisant l'équité sociale, la réduction de la pauvreté et la protection de l'environnement. On compte 17 Objectifs de Développement Durable (ODD) et 169 cibles, intégrant de manière indissociable les dimensions économique, sociale et environnementale du développement durable. Les ODD visent à promouvoir la prospérité, protéger la planète et renforcer la paix universelle dans une plus grande liberté, tout en s'assurant que personne ne soit laissé pour compte. Ils s'appuient sur les Objectifs du Millénaire pour le Développement, cherchant à achever ce qui n'a pas été accompli, et mettent l'accent sur la réalisation des droits humains pour tous, l'égalité des genres et l'autonomisation de toutes les femmes et filles. L'Agenda 2030 souligne également l'importance de partenariats mondiaux revitalisés, basés sur une solidarité mondiale renforcée, pour mobiliser les moyens nécessaires à sa mise en œuvre. (United Nations,2015). Ces objectifs s'inscrivent dans une vision globale de développement, qui reconnaît l'interdépendance des dimensions environnementales, économiques et sociales

## 4.6. L'Îlot de Chaleur Urbain face à la Croissance Urbaine Démesurée et l'Étalement

La croissance urbaine rapide, souvent non planifiée, entraîne une densification des espaces bâtis et une augmentation de la consommation énergétique, ce qui fragmente les trames vertes et les écosystèmes urbains. Cette fragmentation réduit la capacité des zones végétalisées à réguler les températures, exacerbant ainsi le phénomène des îlots de chaleur urbains (ICU). L'artificialisation des sols, par l'imperméabilisation et la construction, diminue leur capacité à absorber et modérer la chaleur, intensifiant les températures élevées dans les zones densément urbanisées. Cette situation favorise la formation des ICU et accroît la vulnérabilité des villes aux risques climatiques, soulignant l'importance d'une planification urbaine intégrée qui préserve les espaces verts et favorise une croissance durable. L'expansion urbaine excessive a également contribué à l'artificialisation des sols, limitant ainsi leur capacité à absorber et réguler la chaleur, exacerbant les températures élevées dans les zones densément urbanisées.

### 4.6.1.Expansion de l'Artificialisation et Intensification des Îlots de Chaleur Urbains

L'urbanisation rapide engendre une artificialisation accrue des sols, modifiant leur capacité à réguler les flux thermiques et exacerbant le phénomène des îlots de chaleur urbains (ICU). Cette transformation du paysage, marquée par la prédominance de surfaces imperméabilisées réduit l'évapotranspiration et accentue l'absorption de chaleur en milieu urbain. L'illustration ci-dessous (**Figure 66**) met en évidence l'impact des différents types d'occupation du sol sur les températures estivales. On y observe une nette disparité thermique entre les zones fortement urbanisées et les espaces naturels ou agricoles. Les températures relevées à 17 h montrent un pic dans le centre urbain, tandis que celles enregistrées à 5 h du matin soulignent une dissipation thermique plus lente en milieu urbanisé par rapport aux zones végétalisées. Cependant, l'extension de l'urbanisation ne se limite pas à l'artificialisation des sols ; elle englobe également des dynamiques spatiales et énergétiques qui renforcent le phénomène des ICU.

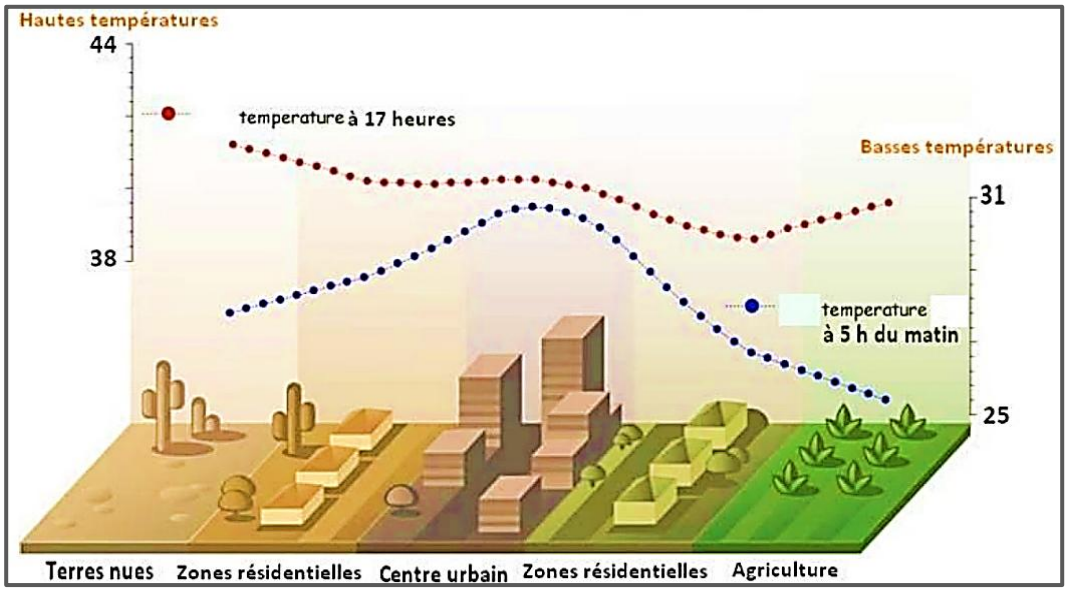



**Figure 66.** Impact de l'occupation du sol sur les températures estivales. Source : Agence d'urbanisme pour le développement de l'agglomération lyonnaise.

L'étalement urbain non maîtrisé contribue à la diminution des surfaces naturelles capables de fournir des services écosystémiques, aggravant ainsi les effets des ICU. La transformation des surfaces naturelles en zones urbaines réduit la capacité des villes à se refroidir par l'évapotranspiration, accentuant l'effet des îlots de chaleur urbains .De plus, la densification du bâti, bien qu'elle permette une utilisation plus rationnelle de l'espace, peut également amplifier ce phénomène si elle ne s'accompagne pas de stratégies d'adaptation. l'augmentation de la densité des bâtiments sans l'intégration de surfaces réfléchissantes ou végétalisées contribue à l'intensification des îlots de chaleur urbains . Par ailleurs, l'intensification des besoins

énergétiques, notamment en climatisation et en éclairage urbain, joue un rôle aggravant dans la formation des ICU. L'augmentation des besoins énergétiques dans les villes, notamment pour la climatisation, amplifie la chaleur anthropique et accentue l'effet des ICU . Cette demande accrue en énergie entraîne une accumulation supplémentaire de chaleur dans les environnements urbanisés, renforçant le cycle de surchauffe urbaine. Enfin, la réduction des trames vertes et bleues accentue le déséquilibre thermique en limitant la capacité naturelle des villes à se réguler :la fragmentation des espaces verts et la disparition progressive des plans d'eau réduisent le rôle clé de l'évapotranspiration et de la régulation hydrique dans l'atténuation des ICU. Ainsi, la conjugaison de ces facteurs – artificialisation, étalement urbain, densification non maîtrisée, surconsommation énergétique et recul des infrastructures écologiques – constitue un défi majeur pour l'adaptation des villes au changement climatique. Dès lors, une planification urbaine intégrée, fondée sur la préservation et le renforcement des infrastructures naturelles, apparaît comme une nécessité pour atténuer l'effet des ICU et garantir un cadre de vie durable et résilient.

### 4.6.2.Îlots de Chaleur Urbains : Effet d'un Déséquilibre et d'un Environnement Pollué

Les ICU sont une conséquence d'un déséquilibre entre le développement urbain et l'environnement, entraînant des températures plus élevées dans les zones urbanisées. Ce phénomène, qui a été documenté depuis le 19ème siècle, résulte de l'interaction entre la morphologie urbaine, les matériaux de construction, et les activités humaines.

- **Le phénomène des îlots de chaleur urbains (ICU)** :il a été identifié pour la première fois en 1818 par Luke Howard, météorologue britannique, dans ses observations réalisées à Londres. Ses travaux pionniers ont mis en évidence une élévation significative des températures dans les zones urbaines par rapport aux régions rurales environnantes(Howard, 1818).Cette découverte est attribuée à l'urbanisation croissante, caractérisée par la densité des constructions, les matériaux utilisés, et la réduction des espaces végétalisés Depuis cette observation fondatrice, les ICU ont fait l'objet de nombreuses études qui ont approfondi la compréhension de leurs causes et impacts. Oke (1982) a consolidé le cadre théorique autour des ICU, expliquant comment des facteurs tels que l'albédo, l'émissivité des matériaux, et les activités anthropiques influencent les variations thermiques urbaines. Ses travaux ont notamment souligné le rôle de la configuration urbaine dans l'amplification des températures, posant ainsi les bases pour des stratégies d'atténuation adaptées. De nos jours, les ICU sont reconnus comme un enjeu majeur dans les discussions sur le changement climatique, le développement urbain durable, et l'adaptation aux conditions climatiques futures. L'évolution de ces connaissances a permis de passer d'une simple observation empirique à une compréhension multidisciplinaire intégrant la météorologie, l'urbanisme et l'écologie urbaine.

- **Définition de l'Îlot de Chaleur Urbain :** Un îlot de chaleur urbain (ICU) se caractérise par une élévation notable des températures dans les zones urbaines par rapport aux zones rurales environnantes .Ce phénomène résulte principalement de l'urbanisation, qui modifie les surfaces

terrestres et intensifie les activités humaines .Les matériaux de construction tels que l'asphalte et le béton absorbent et retiennent davantage la chaleur solaire, tandis que la réduction des espaces verts limite l'évapotranspiration, un processus naturel de refroidissement. De plus, la densité des constructions et les émissions de chaleur liées aux activités humaines, comme le trafic automobile et l'utilisation de systèmes de climatisation, contribuent à l'augmentation des températures urbaines (Siradel, 2023). Les ICU sont particulièrement prononcés durant les soirées et les nuits, lorsque les zones urbaines restent plus chaudes que les zones rurales environnantes.

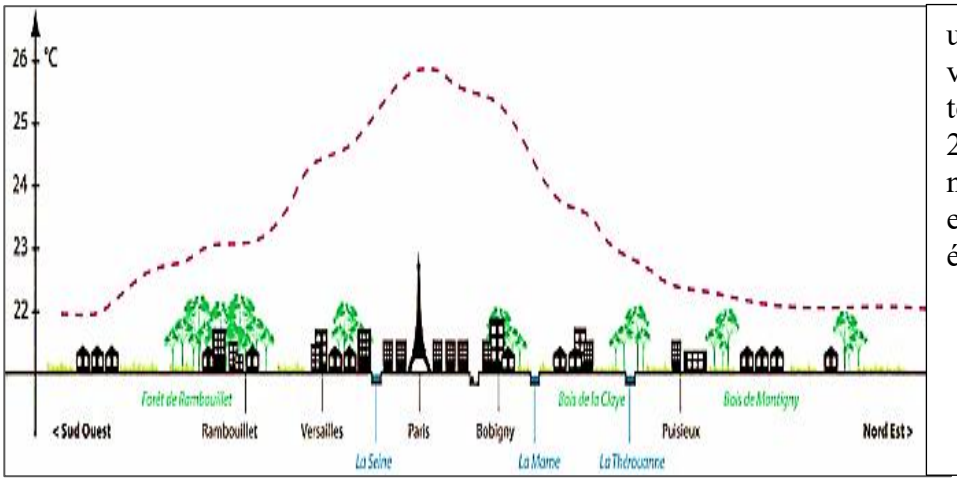
- **Les facteurs favorisant l'apparition d'ICU à l'échelle de la ville :** L'intensification des îlots de chaleur urbains (ICU) résulte de plusieurs facteurs intrinsèquement liés aux dynamiques d'urbanisation et à l'aménagement du territoire. Parmi ces facteurs, l'occupation du sol et la morphologie urbaine jouent un rôle déterminant. La forte densité bâtie et la minéralisation des sols favorisent l'absorption et l'accumulation de chaleur en journée par des matériaux tels que le béton et l'asphalte, qui la restituent durant la nuit. Ce phénomène entraîne une élévation notable des températures nocturnes, amplifiant ainsi l'effet des ICU. Par ailleurs, la taille des villes influence directement l'intensité de ces îlots de chaleur. Plus une agglomération est vaste, plus elle concentre de chaleur en raison de l'accumulation des activités humaines et de l'extension des surfaces imperméabilisées . L'urbanisation massive, caractérisée par l'extension de surfaces non perméables comme les routes et les trottoirs, réduit l'infiltration de l'eau dans le sol et limite l'évapotranspiration. Ce phénomène empêche la dissipation de la chaleur et favorise une accumulation thermique continue.

Arnfield (2003) examine en profondeur les facteurs contribuant aux îlots de chaleur urbains (ICU), en mettant l'accent sur l'impact des surfaces imperméables et de la configuration urbaine. Il souligne que l'augmentation des surfaces imperméables, telles que le béton et l'asphalte, réduit l'infiltration d'eau et augmente le ruissellement, ce qui conduit à une élévation des températures en milieu urbain. Il met en évidence que la morphologie urbaine, incluant la disposition et la hauteur des bâtiments, influence la circulation de l'air et la dissipation de la chaleur, exacerbant ainsi l'effet des ICU. Ces observations soulignent l'importance d'intégrer des matériaux réfléchissants et perméables dans la planification urbaine pour atténuer les effets des ICU. Il souligne également que la géométrie tridimensionnelle des zones urbaines, caractérisée par des bâtiments élevés et des rues étroites, peut piéger la chaleur et réduire la circulation de l'air, amplifiant ainsi les températures urbaines.

Cette intensification est d'autant plus marquée que la ville présente une densité élevée de constructions et une rareté des espaces végétalisés. Les émissions anthropiques de chaleur et de gaz à effet de serre (GES) constituent également un facteur aggravant. Les activités humaines, notamment le chauffage, la climatisation, les transports et les processus industriels, génèrent une quantité considérable de chaleur qui s'ajoute au bilan thermique urbain. La diminution des espaces végétalisés réduit l'évapotranspiration, un processus naturel essentiel pour le rafraîchissement urbain. Les parcs, jardins et plans d'eau jouent un rôle régulateur majeur en abaissant les températures locales. Gill et al. (2007) examine l'importance des infrastructures vertes urbaines dans l'adaptation des villes aux impacts du changement climatique. Les auteurs utilisent la conurbation du Grand Manchester comme étude de cas pour démontrer comment les réseaux

d'espaces verts peuvent atténuer les effets des îlots de chaleur urbains et gérer le ruissellement des eaux pluviales.

Grâce à des modélisations énergétiques et hydrologiques, l'étude révèle que l'augmentation de la couverture végétale urbaine peut réduire les températures de surface et diminuer le risque d'inondations en milieu urbain. Les auteurs soulignent que l'intégration stratégique des infrastructures vertes dans la planification urbaine est essentielle pour renforcer la résilience des villes face aux défis climatiques futurs. En somme l'ensemble de ces facteurs contribue à accentuer les ICU, rendant indispensable l'adoption de stratégies urbaines adaptées, basées sur une gestion équilibrée des infrastructures, des espaces verts et des surfaces imperméables. La **Figure 67** illustre ces dynamiques en présentant une coupe schématique des ICU lors d'une nuit de canicule en France, mettant en évidence la répartition des températures en fonction des différents types d'occupation du sol. Cette visualisation souligne l'urgence d'une planification urbaine intégrant des solutions climatiques résilientes pour limiter les impacts de la surchauffe urbaine.




une visualisation des températures en 2008 pour une nuit de canicule en France (type été 2003)

**Figure 67.** Visualisation du profil thermique de l'îlot de chaleur urbain
Source : https://www.notre-planete.info/medias/images/ilot_chaleur_coupe.png

- **Les impacts du phénomène d'îlot de chaleur urbain**

Les îlots de chaleur urbains (ICU) engendrent des effets considérables sur l'environnement, la santé publique et la consommation énergétique des villes. L'ampleur de ces impacts souligne la nécessité d'intégrer des stratégies d'atténuation et d'adaptation dans la planification urbaine afin de promouvoir un développement durable et résilient. Sur le plan environnemental, les ICU exacerbent plusieurs problématiques écologiques. L'élévation des températures urbaines favorise l'accumulation des polluants atmosphériques, dégradant ainsi la qualité de l'air et intensifiant les risques sanitaires associés. Par ailleurs, la hausse des températures accélère l'évaporation des ressources en eau, aggravant les épisodes de sécheresse urbaine et menaçant la disponibilité hydrique.

Ce phénomène modifie également les écosystèmes locaux, réduisant la biodiversité et perturbant les cycles naturels. Taha (1997) met en évidence ces effets en démontrant comment les

ICU contribuent à l'intensification de l'effet de serre urbain, notamment par l'augmentation des concentrations de polluants atmosphériques tels que l'ozone troposphérique. Les conséquences sur la santé humaine sont tout aussi préoccupantes. L'exposition prolongée à des températures élevées dans les zones urbaines accroît le risque de pathologies liées à la chaleur, telles que les coups de chaleur, la déshydratation et les complications cardiovasculaires. Des recherches, notamment celles de Harlan et al. (2006), établissent un lien direct entre les ICU et l'aggravation des maladies respiratoires, due à la détérioration de la qualité de l'air. Ces impacts touchent de manière disproportionnée les populations vulnérables, telles que les personnes âgées, les enfants et celles souffrant de maladies chroniques, accentuant ainsi les inégalités de santé en milieu urbain. De plus, les ICU peuvent entraîner des troubles tels que des faiblesses, des crampes, des syncopes et des coups de chaleur, voire exacerber des maladies chroniques préexistantes comme le diabète et les maladies cardiovasculaires.

En matière de consommation énergétique, les ICU entraînent une augmentation significative de la demande en électricité, en particulier pour la climatisation des bâtiments durant les périodes de forte chaleur. Cette surconsommation énergétique engendre une hausse des coûts pour les ménages et les entreprises, tout en intensifiant les émissions de gaz à effet de serre et en amplifiant le changement climatique. Il s'agit d'un cercle vicieux, où l'accroissement des besoins énergétiques alimente la formation des ICU, nécessitant ainsi des solutions novatrices pour optimiser l'efficacité énergétique des infrastructures urbaines et réduire leur empreinte carbone. Face à ces enjeux environnementaux, sanitaires et énergétiques, une approche intégrée apparaît indispensable pour limiter les effets néfastes des ICU.

### 4.6.3. Les mesures d'atténuation des ICU et d'adaptation au changement climatique.

Les îlots de chaleur urbains (ICU) sont devenus une préoccupation majeure dans les villes contemporaines, en raison de leurs impacts sur la santé publique, l'environnement et la consommation énergétique. Face à ces défis, de nombreuses villes à travers le monde adoptent des mesures d'atténuation et des stratégies d'adaptation pour répondre à la fois aux effets des ICU et aux conséquences du changement climatique. Ces solutions visent à promouvoir un développement urbain durable, résilient et plus respectueux de l'environnement.

- **Matériaux et Revêtements:** L'utilisation de matériaux et revêtements réfléchissants, tels que les toitures blanches ou les pavés perméables, permet de réduire significativement les températures de surface dans les zones urbaines. Ces matériaux augmentent l'albédo comme illustré dans la **Figure 69,** c'est-à-dire la capacité des surfaces à réfléchir la lumière solaire plutôt que de l'absorber. En réduisant la chaleur stockée par les surfaces urbaines, ces revêtements contribuent à diminuer l'effet d'îlot de chaleur tout en favorisant l'infiltration des eaux pluviales, ce qui améliore la gestion de l'eau en milieu urbain . De telles initiatives sont efficaces pour maintenir un confort thermique et réduire la consommation énergétique liée au refroidissement des bâtiments.

**Figure 68.** Répartition des albédos en milieu urbain et influence des surfaces sur l'absorption thermique. Source APUR .

- **Infrastructures Urbaines Durables:** Les infrastructures urbaines durables, telles que les toitures végétalisées, les murs végétaux, et les systèmes de gestion des eaux pluviales, représentent des solutions viables pour atténuer les ICU tout en améliorant la résilience climatique des villes. Les toitures végétalisées et les murs verts réduisent les températures des surfaces bâties en créant des microclimats plus frais grâce à l'évapotranspiration. De plus, ces infrastructures participent à la gestion des eaux de ruissellement, atténuant ainsi les risques d'inondation (Carter & Fowler, 2008). Ils permettent d'accroître l'évapotranspiration, améliorant ainsi le rafraîchissement naturel de l'air . En plus de leurs bienfaits climatiques, ces zones améliorent la biodiversité urbaine, réduisent les niveaux de pollution et offrent des espaces récréatifs, améliorant ainsi la qualité de vie des citadins. Ces solutions sont particulièrement efficaces dans les zones à forte densité urbaine, où les espaces verts traditionnels sont limités.

- **Bioclimatisme en architecture et urbanisme :** L'intégration de principes bioclimatiques dans l'architecture et l'urbanisme permet de concevoir des bâtiments et des espaces urbains qui s'adaptent aux conditions climatiques locales. Cela inclut l'orientation optimale des bâtiments pour maximiser la ventilation naturelle, réduire l'exposition à la chaleur et minimiser les besoins en climatisation. L'utilisation de matériaux locaux à faible empreinte carbone et l'intégration de zones tampons végétalisées contribuent également à améliorer le confort thermique et à réduire l'empreinte environnementale des bâtiments . Ces stratégies bioclimatiques renforcent l'efficacité énergétique et permettent de créer des espaces urbains plus agréables, tout en limitant les émissions de gaz à effet de serre.

### 4.6.4. La relation entre forme urbaine et microclimat

La forme urbaine influence directement le microclimat en modifiant les flux thermiques, la ventilation et l'absorption des rayonnements solaires. La densité et la hauteur des bâtiments conditionnent la circulation de l'air et la dissipation de la chaleur, notamment à travers la formation de canyons urbains, où le rapport hauteur/largeur des rues détermine la rétention thermique nocturne et accentue les îlots de chaleur urbains (Oke, 1981). Cette relation entre la morphologie

urbaine et les îlots de chaleur est bien documentée, notamment dans le répertoire de fiches connaissance de l'Institut Paris Région (Valette & Cordeau, 2011).

La végétation constitue un levier essentiel pour la régulation microclimatique. Par l'ombrage et l'évapotranspiration, elle réduit la température ambiante et améliore la qualité de l'air. L'intégration de corridors verts et de parcs urbains atténue les ICU et favorise la ventilation naturelle, créant un environnement plus homogène et respirable. Les matériaux de construction modifient également le bilan thermique urbain. Les surfaces imperméables et à forte inertie thermique, comme le béton et l'asphalte, stockent la chaleur le jour et la libèrent la nuit, aggravant la surchauffe nocturne. L'utilisation de matériaux réfléchissants, de revêtements perméables et de toits végétalisés constitue une réponse efficace pour limiter ces effets. L'orientation et le tracé des rues influencent la ventilation et la dispersion de la chaleur urbaine. Une organisation optimisée des espaces bâtis améliore les flux d'air, réduit la concentration des polluants et atténue l'effet d'îlot de chaleur urbain (Brown & Gillespie, 1995). Ainsi, une planification urbaine intégrant ces paramètres favorise un environnement plus confortable et énergétiquement efficient, renforçant la résilience climatique et la durabilité des villes.

## 4.7. La structure verte : élément important pour la performance environnementale et thermique

### 4.7.1. Structures Vertes : Vecteurs Essentiels de Durabilité Urbaine et de performance

Les structures vertes, qu'elles soient urbaines ou suburbaines, jouent un rôle central dans l'amélioration de la performance environnementale et thermique des villes. Au-delà de leur fonction esthétique, elles renforcent la résilience urbaine en répondant aux enjeux du développement durable. Leur intégration permet d'atténuer les effets de l'urbanisation en améliorant la qualité de l'air, en régulant le microclimat et en favorisant le bien-être des habitants.

Les bénéfices écologiques des structures vertes sont multiples. Ces structures vertes, telles que les arbres et arbustes urbains, offrent de nombreux avantages écologiques. Elles améliorent la qualité de l'air en absorbant divers polluants atmosphériques, notamment les particules fines (PM10), le dioxyde de soufre ($SO_2$), le dioxyde d'azote ($NO_2$), le monoxyde de carbone (CO) et l'ozone ($O_3$). Par exemple, il a été estimé que les arbres urbains aux États-Unis éliminent environ 711 000 tonnes de pollution de l'air chaque année, ce qui souligne leur rôle essentiel dans l'amélioration de la qualité de l'air et la réduction des risques sanitaires associés à la pollution (Nowak et al., 2006). Sur le plan thermique, les structures vertes atténuent les îlots de chaleur urbains (ICU) grâce à l'ombrage et à l'évapotranspiration. En effet, selon une étude de Bowler et al. (2010), ces zones végétalisées peuvent abaisser les températures locales de 1 à 3 °C, notamment durant les périodes estivales. Cette réduction de chaleur diminue la dépendance énergétique des bâtiments en limitant le recours à la climatisation, contribuant ainsi à une meilleure efficacité énergétique. De plus, en atténuant les températures élevées, les espaces verts participent à la protection des populations vulnérables contre les effets néfastes des vagues de chaleur.

Enfin, l'impact des structures vertes dépasse la seule dimension environnementale. L'accès à la nature en milieu urbain a des effets avérés sur la santé mentale et physique. Hartig et al. (2014) soulignent que ces espaces réduisent le stress, favorisent l'activité physique et renforcent la cohésion sociale. Ils agissent ainsi comme des leviers essentiels pour une ville plus équilibrée et résiliente, où bien-être et durabilité sont intégrés dans les stratégies d'aménagement urbain.

### 4.7.2. Les Stratégies d'intégration Efficace :Quels enjeux pour les SV ?

Des stratégies comme la végétalisation des toitures, la préservation des espaces verts existants, et la création de nouveaux espaces accessibles sont décisifs pour l'élaboration de villes résilientes et durables. La structure verte, incarnée par ses trames vertes, est plus qu'une simple composante esthétique de l'urbanisme moderne. Elle est un pilier des stratégies de développement durable, jouant un rôle important dans l'amélioration de la performance environnementale et thermique des villes. En modérant les températures, en améliorant la qualité de l'air, et en promouvant la santé publique, les trames vertes contribuent à la résilience urbaine face aux défis du changement climatique. Une planification urbaine intégrant de manière cohérente ces structures vertes est donc essentielle pour bâtir des villes plus durables, plus saines, et plus vivables. Pour aborder de manière approfondie les enjeux environnementaux et de santé liés aux trames vertes en milieu urbain, il est important de comprendre le rôle multifonctionnel de ces espaces dans la promotion de villes durables et résilientes. L'importance des trames vertes dans la santé publique, la régulation climatique, et la gestion énergétique urbaine est de plus en plus reconnue dans la littérature scientifique.

- **Enjeux pour la Santé:**

Les Structures verts en milieu urbain ont un impact direct sur la santé physique et mentale des populations. Selon la méta-analyse de Gascon et al. (2016), l'exposition aux espaces verts urbains est associée à une diminution significative des niveaux de stress, à une réduction des risques de maladies cardiovasculaires, ainsi qu'à une amélioration notable de la santé mentale. De plus, ces espaces favorisent l'activité physique, ce qui permet de diminuer les risques de maladies chroniques comme l'obésité et le diabète. Maas et al. (2006) démontrent que les espaces verts à proximité des lieux de résidence sont associés à une meilleure santé perçue. Cette relation est particulièrement forte pour les jeunes, les personnes âgées et les individus des groupes socioéconomiques moins favorisés, qui passent davantage de temps dans leur environnement immédiat. Une augmentation de 10 % de la couverture végétale dans un rayon de 1 à 3 km autour du domicile peut réduire de manière significative la proportion de personnes déclarant une mauvaise santé, en diminuant les taux de stress et en favorisant l'activité physique régulière**(Figure 69**).

En outre, les auteurs soulignent que cette amélioration est observée à tous les degrés d'urbanisation, bien qu'elle soit particulièrement bénéfique dans les zones urbaines fortement densifiées où les opportunités d'interaction avec la nature sont souvent limitées. Ils concluent que l'intégration d'espaces verts dans la planification urbaine ne relève pas d'un luxe, mais d'une nécessité pour promouvoir la santé publique et le bien-être, en particulier pour les populations vulnérables.

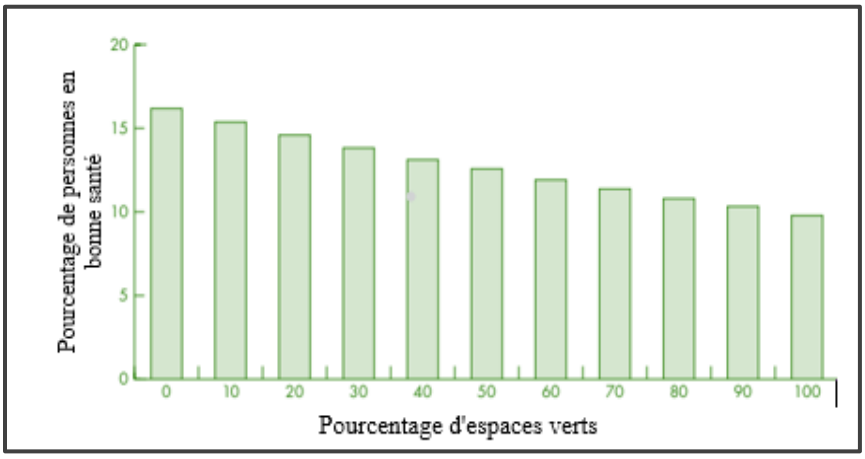



**Figure 69.** Corrélation entre la proportion d'espaces verts et le pourcentage de personnes en bonne santé. Source:(Maas,2016) . https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2566234/

- **Enjeux pour l'Environnement**

Les Structures vertes en milieu urbain apportent de nombreux bénéfices environnementaux . Ces structures fonctionnent comme des "poumons urbains", absorbant les polluants atmosphériques; les arbres alignés le long des rues ont un impact différencié selon le niveau de pollution des zones concernées : ils tendent à protéger les rues peu polluées tout en aggravant légèrement la situation dans les rues fortement polluées(**Figure 70**).

Par exemple, les simulations numériques et en soufflerie réalisées par Vranckx et al. (2015) sur une rue très fréquentée d'Anvers (avec un rapport d'aspect de 2) montrent que l'installation d'arbres en ligne peut entraîner une augmentation moyenne des concentrations de PM10 de 0,2 à 2,6 %, et de carbone élémentaire (particules) de 1 à 13 %, en fonction du type de végétation utilisé (Mestaye,2015). Ces poumons filtrent aussi les eaux de ruissellement, tout en contribuant à la régulation des cycles biogéochimiques. La végétation urbaine soutient également la biodiversité, offrant des habitats pour diverses espèces et renforçant ainsi la résilience des écosystèmes urbains.

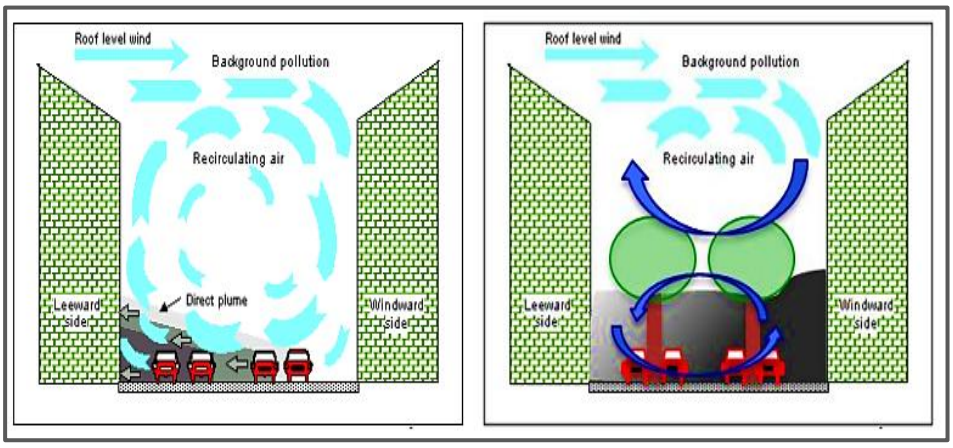



**Figure 70.** Impact des alignements d'arbres sur la dynamique de l'air et la dispersion des polluants en milieu urbain. Source : (Mestaye,2015) . https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02636068

- **Enjeux Énergétiques**

Les Structure  vertes contribuent efficacement à la gestion des enjeux énergétiques des environnements des villes , notamment dans les zones affectées par les îlots de chaleur urbains (ICU). En modérant les températures locales, elles contribuent à réduire la consommation énergétique des bâtiments, en particulier pour le refroidissement. Ces effets d'atténuation thermique permettent de diminuer les besoins en énergie, ce qui se traduit par une réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), contribuant directement à la lutte contre le changement climatique.

Les parcs, largement couverts de végétation, notamment d'arbres, jouent un rôle significatif dans la réduction des îlots de chaleur urbains (ICU) à la fois en leur sein et dans les zones environnantes, parfois jusqu'à une distance équivalente au diamètre du parc. L'impact thermique d'un parc peut être mesuré par la différence maximale de température entre son point le plus frais et les zones adjacentes, ces écarts pouvant atteindre jusqu'à 7°C (13°F). En régulant la température de l'air, les parcs contribuent à modérer la pollution atmosphérique, à réduire la consommation énergétique des bâtiments en limitant le recours à la climatisation, et à abaisser la production d'ozone. Ces effets ont des implications majeures pour le confort humain, la santé publique, et, en période de canicule, pour la prévention de pertes de vies humaines. Un parc est représenté comme étant environ 3°F par rapport à la ville environnante, comme illustré dans **la Figure 71** .

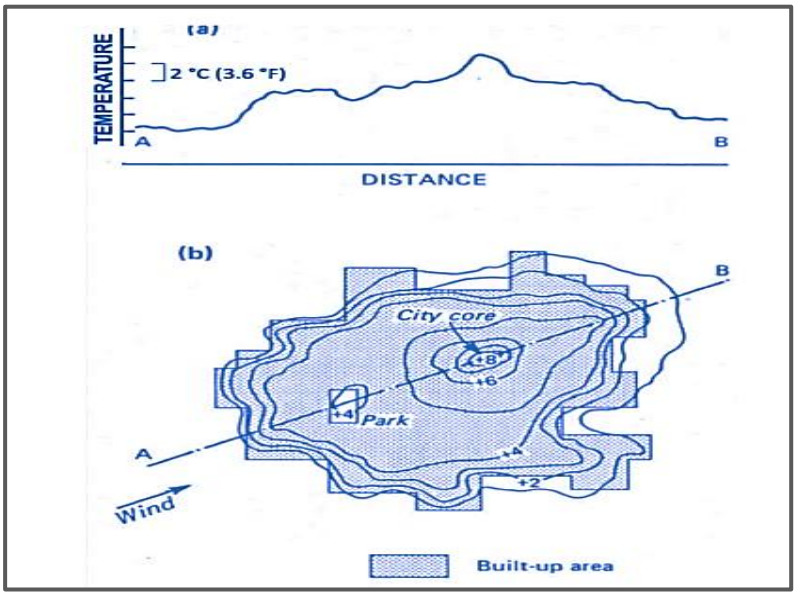



**Figure 71.** Effet Modérateur des Parcs Urbains sur la Température en Ville .Source: ( Nowak, 2010) . https://research.fs.usda.gov/treesearch/download/52881.pdf

### 4.7.3. Les mesures et indicateurs pour une performance environnementale et thermique des villes

L'évaluation et l'amélioration de la performance environnementale et thermique des villes nécessitent des mesures et des indicateurs fiables. Ces outils jouent un rôle déterminant dans l'orientation des politiques urbaines vers la durabilité. Associés aux démarches numériques

modernes, ces indicateurs permettent aux décideurs d'évaluer les progrès réalisés et de prendre des décisions éclairées pour améliorer la résilience et la durabilité des villes. Ils sont essentiels pour évaluer les progrès vers les objectifs de durabilité urbaine, non seulement suivre l'efficacité des politiques publiques, mais aussi d'informer et d'orienter les décisions en matière de développement durable. La sélection des indicateurs doit reposer sur des critères de pertinence, de fiabilité et de sensibilité aux changements environnementaux . Ils doivent permettre une interprétation claire des tendances environnementales et fournir des informations complexes de manière accessible, notamment pour la gestion des ressources naturelles et l'atténuation des impacts écologiques , facilitant ainsi la prise de décisions pour la gestion durable des ressources naturelles et l'atténuation des impacts écologiques. Ces indicateurs, en plus d'être interprétables, doivent également capter les effets à court et à long terme des politiques urbaines sur l'environnement. Selon le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (UNEP, 2004), ils doivent permettre d'évaluer des aspects clés tels que la qualité de l'air, la gestion de l'eau, la biodiversité urbaine et la consommation énergétique, tout en tenant compte des dynamiques écologiques globales . En ce sens, les indicateurs environnementaux deviennent des outils essentiels pour accompagner les stratégies de développement urbain durable et répondre aux enjeux environnementaux contemporains.

Des démarches telle que la Haute Qualité Environnementale (HQE) et l'Approche Environnementale de l'Urbanisme (AEU) et qui visent à réduire l'impact environnemental des projets urbains tout en améliorant la qualité de vie des habitants, elles reposent sur des indicateurs de performance qui fournissent une évaluation quantitative et qualitative de l'empreinte environnementale des activités urbaines. Pour une mise en œuvre efficace, des outils comme les bases de données environnementales, les Systèmes d'Information Géographique (SIG), et les modèles de simulation fournissent des informations précises, facilitant la prise de décisions politiques et la gestion des ressources naturelles urbaines. Les indicateurs de performance thermique, en particulier, permettent de mesurer l'efficacité énergétique des bâtiments et des infrastructures urbaines, en particulier en ce qui concerne la consommation d'énergie et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

L'intégration des technologies numériques dans la planification urbaine moderne révolutionne la manière dont les villes sont conçues et gérées. Ces démarches permettent non seulement d'améliorer l'efficacité environnementale, mais également de construire des villes plus résilientes et durables. En combinant innovation et durabilité, les outils numériques ouvrent la voie à une gestion urbaine qui anticipe les besoins futurs tout en réduisant les impacts environnementaux. Les outils de modélisation et de simulation informatique jouent un rôle central dans cette transformation. Ils permettent de prévoir les impacts environnementaux des politiques urbaines avant leur mise en œuvre. Grâce à ces simulations, il est possible d'évaluer divers scénarios d'aménagement et d'optimiser les stratégies de développement urbain en fonction des priorités environnementales et sociales . La télédétection, quant à elle, fournit des données précises et continues sur l'évolution des écosystèmes et des environnements urbains. Elle est particulièrement efficace pour surveiller les changements d'utilisation des sols, suivre l'impact des activités humaines sur les ressources naturelles, et gérer les ressources en eau.

Cet outil technologique est devenu indispensable pour comprendre les dynamiques environnementales et adapter les politiques urbaines en conséquence . Enfin, les Systèmes d'Information Géographique (SIG) constituent une ressource incontournable pour l'analyse

spatiale et la planification urbaine. Ils permettent d'intégrer les données environnementales et écologiques dans les processus décisionnels, offrant une meilleure compréhension des interactions complexes entre urbanisation et environnement. Les SIG facilitent ainsi la mise en œuvre de stratégies urbaines durables en tenant compte des impératifs environnementaux . Ces démarches numériques renforcent la capacité des décideurs et des urbanistes à gérer efficacement les défis environnementaux et à promouvoir un développement urbain durable aligné sur les objectifs de résilience climatique et d'équité sociale.

### 4.7.4.La structure verte pour une performance environnementale et thermique : revue sommaire de quelques cas.

- **Structure verte à Toronto, Canada: cas des Toits Verts**

Toronto est l'une des premières villes au monde à avoir mis en place une politique imposant l'installation de toits verts sur les nouveaux bâtiments, notamment à travers la loi "Green Roof Bylaw" adoptée en 2009. Cette initiative a joué un rôle crucial dans la réduction des îlots de chaleur urbains, l'amélioration de la gestion des eaux pluviales et l'augmentation des espaces verts en milieu urbain. Selon Bass et Baskaran (2003), les toits verts à Toronto ont permis de réduire la température de surface de jusqu'à 26°C pendant l'été. Ces derniers comparés aux toits traditionnels, offrent des avantages environnementaux et économiques significatifs. D'après Carter et Keeler (2008), ces structures retiennent entre 70 et 90 % des précipitations estivales et 25 à 40 % des précipitations hivernales, réduisant ainsi la pression exercée sur les systèmes de gestion des eaux pluviales(**Figure 72)**. Cette capacité de rétention permet de diminuer les coûts liés à la gestion des eaux urbaines tout en contribuant à la protection des écosystèmes aquatiques environnants.

Par ailleurs, les toits verts favorisent aussi une diminution des coûts énergétiques. Leur capacité à limiter les fluctuations thermiques et à réduire les températures des surfaces en été se traduit par des économies d'énergie estimées à environ 0,37 $ CAD par m² en termes de climatisation. Ces bénéfices soulignent le potentiel des toits végétalisés pour améliorer la résilience urbaine tout en soutenant une gestion durable des ressources naturelles. Au-delà des bénéfices environnementaux et économiques, ces initiatives contribuent à l'amélioration de la qualité de vie des habitants en augmentant la quantité d'espaces verts accessibles, en favorisant la biodiversité et en améliorant l'esthétique urbaine.

Les toits verts constituent ainsi une solution multifonctionnelle intégrant efficacité énergétique, adaptation climatique et bien-être humain dans une seule infrastructure. L'expérience de Toronto illustre la manière dont des politiques innovantes et visionnaires peuvent transformer des espaces urbains en véritables laboratoires de durabilité, inspirant d'autres villes à travers le monde. Cette approche intégrée et ambitieuse des toits verts souligne leur importance comme outil central du développement urbain durable et de la lutte contre les effets du changement climatique.

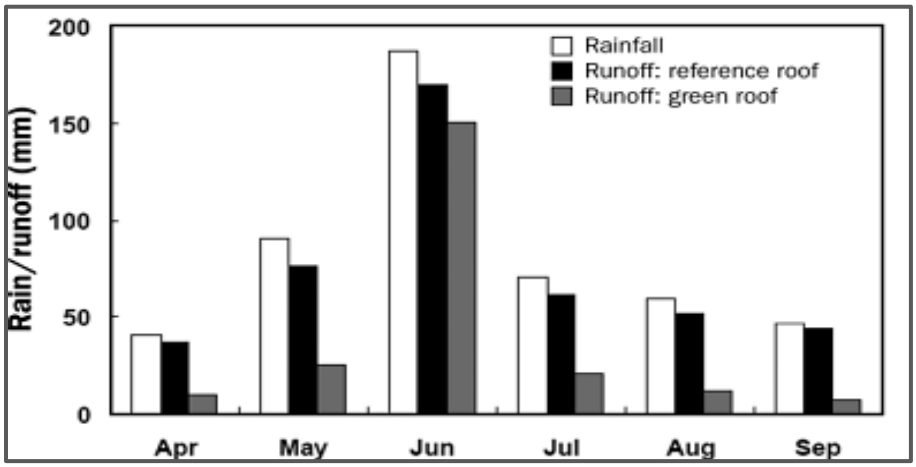



**Figure 72.**Comparaison de la Rétention des Eaux de Ruissellement entre un Toit Vert et un Toit Référent à Ottawa (2002).Source: (Oberndorfer,2007)
https://academic.oup.com/bioscience/article-abstract/57/10/823/232363

- **Structure verte à Mexico: cas des murs Végétalisés**

La prise de conscience environnementale à Mexico remonte aux années 1980, marquée par un événement tragique : la découverte de centaines d'oiseaux morts dans un parc, conséquence directe de la pollution extrême. Cet événement a été un déclencheur majeur pour initier une réflexion sur la nécessité de solutions durables visant à améliorer la qualité de l'air et les conditions de vie dans une des mégapoles les plus polluées du monde. Ce long processus de transformation a culminé avec le lancement du plan ambitieux d'Unités d'Habitations Durables. Il s'est concentré sur l'intégration d'infrastructures vertes dans les quartiers populaires de Mexico. Les bâtiments y sont désormais équipés de jardins verticaux, purifiant l'air, réduisant les îlots de chaleur et embellissant l'esthétique urbaine. En complément, des panneaux solaires ont été installés pour promouvoir l'utilisation d'énergies renouvelables, et des systèmes de récupération des eaux pluviales ont été mis en place pour optimiser la gestion de l'eau. Avec un coût total estimé à 113 000 euros, ce programme prouve que les solutions écologiques sont accessibles et apportent des réponses pragmatiques aux défis environnementaux, comme la pollution atmosphérique, qui cause chaque année plus de 4 000 décès prématurés dans la capitale mexicaine[88].

Dans cette dynamique, un autre projet emblématique s'inscrit dans le paysage de Mexico : le **"Poumon de Mexico"**, situé à l'Université Claustro de Sor Juana. Les étudiants bénéficient d'une haute fresque végétale qui leur permet de s'oxygéner au quotidien. Ce mur végétalisé(**Figure 73**) , installé sur l'ancien couvent du quartier historique, combine innovation et patrimoine, tout en agissant comme un filtre contre la pollution[89] [90]. Ce projet, largement salué par les citoyens,

[88]Camoun, C. (2009). Mexico rime avec écolo : murs végétaux. Disponible sur : https://thecelinette.fr/mexico-rime-ecolo-murs-vegetaux/
[89] Les murs végétaux s'invitent en ville ! https://www.ouest-france.fr/leditiondusoir/2015-04-22/les-murs-vegetaux-sinvitent-en-ville-842996ef-e1c6-4b9f-ab77-4e5e381e35ca
[90] Ces superbes fresques végétales vont vous étonner... https://www.femininbio.com/

complète l'initiative **"Voie Verte"** votée en 2016, visant à végétaliser les infrastructures le long de ses axes routiers les plus fréquentés. Cette initiative est une solution innovante pour la dépollution Urbaine .Elle consiste à transformer les pylônes et terre-pleins d'autoroutes en "murs végétalisés"(**Figure 74**), intégrant des solutions naturelles pour améliorer la qualité de l'air et l'environnement urbain. Les murs sont composés de plantes sélectionnées pour leur capacité à filtrer les particules fines et produire de l'oxygène.

Ces plantes sont cultivées sur une toile fabriquée à partir de plastique recyclé, offrant un support adapté à l'enracinement grâce à sa densité spécifique. Le système d'irrigation, entièrement automatisé, fonctionne à partir de l'eau de pluie collectée, renforçant ainsi l'aspect écologique de l'installation. L'ambition du projet est de recouvrir 60 000 m² de surface végétale et d'embellir 1 000 pylônes, contribuant à atténuer les effets de la pollution dans une mégapole où celle-ci constitue un problème majeur[91]. Ces initiatives illustrent l'engagement de Mexico en faveur de solutions écologiques intégrées, qui ne se limitent pas à la réduction des émissions polluantes, mais incluent également des aspects sociaux et esthétiques. En réintroduisant la nature dans l'environnement urbain, la ville s'efforce de concilier modernité et durabilité, offrant ainsi un modèle inspirant pour d'autres métropoles confrontées à des défis similaires. Ces projets témoignent d'une prise de conscience croissante de l'importance des infrastructures vertes dans la lutte contre le changement climatique, la préservation de la biodiversité et l'amélioration de la qualité de vie.

**Figure 73.** Mur Végétal : Une Solution Architecturale Verte à l'Université. Source : https://thecelinette.fr/mexico-rime-ecolo-murs-vegetaux/

[91]ID d'ailleurs .Mexique : des murs végétaux pour dépolluer la capitale. https://www.linfodurable.fr/environnement/mexique-des-murs-vegetaux-pour-depolluer-la-capitale-3290

**Figure 74.** Via Verde à Mexico : Des Piliers Autoroutiers Transformés en Jardins Verticaux.Source: https://www.linfodurable.fr/environnement/mexique-des-murs-vegetaux-pour-depolluer-la-capitale-3290

- **Jardins de Pluie à Portland, Oregon, États-Unis**

Portland, située au confluent des rivières Willamette et Columbia, fait face à des précipitations abondantes tout au long de l'année. Pour répondre aux défis posés par le ruissellement des eaux pluviales et la pollution des cours d'eau locaux, la ville a mis en œuvre dès 2003 un programme novateur de rues vertes. Ce programme repose sur l'intégration d'infrastructures vertes, comme les jardins de pluie, qui permettent de capter, d'infiltrer et de filtrer les eaux pluviales issues des surfaces imperméables[92].Les rues vertes sont des espaces végétalisés conçus pour gérer durablement les eaux de ruissellement provenant des rues, trottoirs et autres surfaces pavées(**Figure75**). Elles comprennent une variété d'éléments : bassins de bio rétention, jardinières de rue, jardins de pluie et baissières gazonnées qui favorisent l'absorption et le filtrage naturels de l'eau. D'autres dispositifs tels que les abaissements de trottoirs pour acheminer l'eau, les pavés perméables et les rangées d'arbres complètent ces infrastructures en optimisant la gestion de l'eau[93], etc.

Outre leur rôle hydrologique, Ces dispositifs réduisent la charge sur les réseaux d'égouts tout en favorisant la création d'espaces verts en milieu urbain. Depuis son lancement, environ 2000 rues vertes ont été construites ou rénovées à Portland, contribuant à une réduction moyenne de 90 % des pointes de crue et à une rétention de 71 % des volumes d'eaux pluviales lors d'événements

[92] GENIPI ,2024. Les jardins de pluie : une solution naturelle pour lutter contre les inondations urbaines. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/lutte_contre_changements_climatiques/changement_climatique_portland.pdf

[92]Drainage-des-eaux-pluviales-Portland-Oregon-Etats-Unis-Programme-de-rues-vertes. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires- municipales/publications/amenagement_territoire/lutte_contre_changements_climatiques/changement_climatique_portland.pdf

pluvieux majeurs. Ces infrastructures ont permis de diminuer significativement les débordements des réseaux d'eaux usées dans les rivières locales, améliorant ainsi la qualité de l'eau. Ils filtrent les polluants présents dans les eaux de ruissellement, améliorent la qualité de l'air en augmentant la couverture végétale et contribuent à atténuer les îlots de chaleur urbains.

**Figure 75.** Les Rues Vertes de Portland (Oregon)/USA: Aménagement Urbain Durable. Source: https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/lutte_contre_changements_climatiques/changement_climatique_portland.pdf

D'un point de vue économique, les jardins de pluie constituent une solution durable et rentable pour la gestion des eaux pluviales. Dans le cadre du projet "Tabor to the River", la ville a estimé qu'une approche intégrant des infrastructures vertes avait permis de réduire les coûts de gestion de 81 millions de dollars par rapport à une solution strictement conventionnelle (Shandas et al., 2010). En créant des habitats pour la biodiversité, ils renforcent également l'écosystème urbain. L'impact des jardins de pluie sur la gestion des eaux pluviales en milieu urbain est considérable. Le **Tableau 1** qui suit, résume les principaux bénéfices observés dans différentes villes ayant adopté cette solution.

Les jardins de pluie à Portland illustrent une stratégie efficace et intégrée de gestion des eaux pluviales en milieu urbain. Ils démontrent qu'il est possible de concilier développement urbain, protection de l'environnement et bien-être des citoyens, offrant ainsi un modèle inspirant pour d'autres villes confrontées à des défis similaires.

- **La Ceinture Verte de Séoul, Corée du Sud**

Séoul, capitale de la Corée du Sud, est située sur les rives du fleuve Han et au nord-ouest de la péninsule coréenne. Elle abrite une population intra-muros d'environ 10 millions d'habitants et près de 25 millions dans son aire urbaine, faisant d'elle la quatrième mégapole mondiale après Tokyo, Delhi et Shanghai[94] . Cette ville dynamique est un centre économique, technologique et

[94] Aelezig. (2015). SEOUL (Corée du Sud). Paperblog. Disponible sur : https://www.paperblog.fr/tendances-deco/

culturel, tout en étant un modèle d'innovation urbaine et de résilience écologique. Confrontée aux défis de sa rapide croissance démographique – la population est passée de 2,5 à 10 millions d'habitants depuis les années 1960 – s'est engagée dans un urbanisme durable pour répondre aux nuisances engendrées par la congestion automobile et la pollution.

**Tableau .2.**Les impacts des jardins de pluie

| Ville | Réduction du ruissellement | Amélioration de la qualité de l'eau | Économies réalisées |
|---|---|---|---|
| **Portland (USA)** | 85% | 90% des polluants filtrés | 250 millions $ sur 20 ans |
| **Melbourne (Australie)** | 70% | 80% des polluants filtrés | 300 millions AUD sur 25 ans |
| **Nantes (France)** | 60% | 75% des polluants filtrés | 15 millions € sur 10 ans |

Source : GENIPI ,2024. Les jardins de pluie : une solution naturelle pour lutter contre les inondations urbaines. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-

En 2003, sous l'impulsion du maire Myung-Bak, la ville a amorcé un virage écologique marqué par des projets emblématiques tels que la restauration de la rivière Cheonggyecheon en 2005, transformée en un parc linéaire. Un exemple emblématique de son engagement en faveur du développement durable est la transformation de l'autoroute surélevée en un parc urbain linéaire. Initié en 2003, ce projet a consisté à redécouvrir et revitaliser une rivière historique recouverte par une infrastructure routière depuis les années 1950. Outre son impact écologique majeur, cette réhabilitation a permis de réduire les températures locales de 3,3 °C durant les mois d'été, grâce à la végétation et à l'eau qui régulent naturellement le microclimat urbain. Ce projet a également favorisé la biodiversité en milieu urbain et amélioré les interactions sociales, devenant une référence internationale pour la réhabilitation urbaine durable.[95]

Un autre projet innovant est celui de Seoullo 7017, une ancienne voie rapide surélevée transformée en passerelle piétonne végétalisée, ouverte en 2017 . Il s'agit d'une structure haute de 17 mètres sous forme d'un jardin botanique aérien. Longue d'un kilomètre, cette passerelle connecte plusieurs quartiers de Séoul tout en intégrant des espaces verts dans un paysage urbain dense(**Figure 76** ). Outre l'amélioration esthétique, cette infrastructure contribue à réduire la chaleur urbaine et à promouvoir la mobilité douce ; seuls les piétons y seront admis, ils auront alors accès à une promenade, et pourront admirer près de 254 espèces de fleurs, d'arbustes et d'arbres classés selon l'alphabet coréen, à la manière d'une « bibliothèque » florale, tout en attirant des

[95]Mondialisation .M ,2015.À Séoul, on transforme une autoroute en jardin suspendu. https://mrmondialisation.org/author/mr-mondialisation/

millions de visiteurs chaque année. Cela a permis d'améliorer le bien-être des habitants et de renforcer l'attractivité touristique de la ville[96].

Ces initiatives démontrent la capacité de Séoul à conjuguer modernité et durabilité. Par ailleurs, la ville a également mis en place des programmes innovants tels que la plateforme numérique participative OASIS, qui invite les citoyens à contribuer activement à la planification et à la gestion urbaine. D'autres projets, comme les toits verts et la restauration des rives du fleuve Han, traduisent un engagement clair envers la résilience climatique et la préservation de l'environnement naturel. Séoul illustre ainsi une vision intégrée de l'urbanisme, où innovation technologique, bien-être social et durabilité environnementale convergent pour répondre aux défis du XXIe siècle[97]

- **Les Couloirs Verts à Singapour**

Singapour, surnommée la ville dans un jardin, illustre parfaitement comment une métropole densément peuplée peut relever les défis du développement durable en intégrant harmonieusement la nature dans son espace urbain. Avec près de six millions d'habitants répartis sur 734,3 km², soit une superficie équivalente à celle de la commune d'Arles, cette cité-État a su adapter son urbanisme aux contraintes de son territoire limité .

Le programme City in Nature, initié dès les années 1960 et renforcé en 2020, incarne une volonté politique forte de concilier modernité et environnement par des stratégies novatrices et intégrées (Clavier et al., 2021). Un des éléments structurants de cette transformation repose sur le développement des couloirs verts, des infrastructures reliant les parcs, réserves naturelles et espaces végétalisés de la ville. Ces corridors écologiques favorisent la conservation de la biodiversité tout en jouant un rôle clé dans l'atténuation des effets du réchauffement climatique en milieu urbain. À Singapour, leur mise en place a contribué à la préservation de plus de 100 espèces d'oiseaux, témoignant de leur impact écologique .

[96] Héran, A. (2017). Seoullo 7017 : Séoul en 7017 : les autoroutes urbaines en PLS ?. Pop-Up Urbain. Disponible sur : https://www.pop-up-urbain.com/author/arthur-heran/
[97] Aelezig. (2015). SEOUL (Corée du Sud). Paperblog. Disponible sur : https://www.paperblog.fr/tendances-deco/

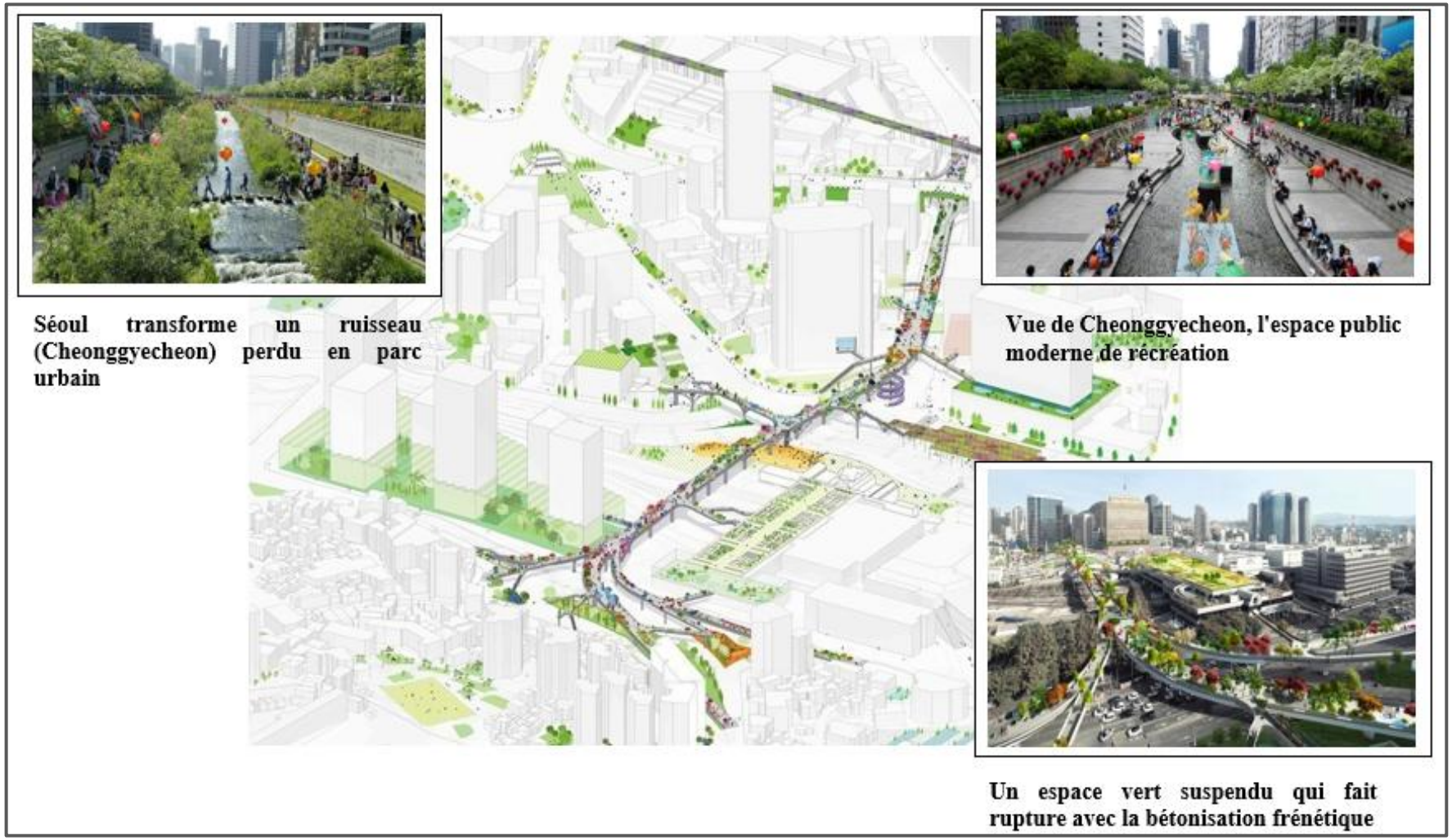



**Figure 76.** Seoullo 7017 : La Nouvelle Promenade Plantée de Séoul, Un Modèle de Renaturation Urbaine. (Arthur Héran,2017) https://www.pop-up-urbain.com/author/arthur-heran/

En plus de leur fonction environnementale, ces espaces améliorent la qualité de vie des habitants en offrant des zones de détente et de loisirs, tout en abaissant les températures urbaines de 1 à 2 °C et en réduisant la pollution atmosphérique de 10 à 15 %, notamment dans les secteurs les plus densément végétalisés.

Un exemple emblématique de cette approche est le parc Bishan-Ang Mo Kio, un ancien canal en béton transformé en une rivière naturalisée entourée d'une végétation luxuriante (C40 Cities, 2018). Ce projet, développé dans le cadre du programme Active, Beautiful, Clean Waters (ABC Waters), illustre comment la gestion des eaux pluviales peut être intégrée à des objectifs esthétiques et sociaux pour créer des espaces multifonctionnels au sein du tissu urbain. Comme en témoignent les **Figures 77 et 78**, cette initiative incarne pleinement l'ambition de Singapour d'inscrire la nature au cœur de sa planification urbaine, depuis les infrastructures jusqu'à la vie quotidienne des citoyens.

**Figure 77.** Un Canal en Béton Avant son Projet de Renaturation. Source :C40 ,2018

**Figure 78.** Parc Bishan-Ang Mo Kio https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/exe_wwf_a4_template_sbn_final_fr.pdf

Avant (à gauche) Auparavant, et après (à droite) Vue aérienne du parc Bishan-Ang Mo Kio montrant la rivière naturalisée entourée de végétation luxuriante.

Les efforts de Singapour en matière d'intégration des espaces verts se traduisent également par des projets emblématiques tels que l'éco-jardin de Jurong de JTC et l'étang de Yishun près de l'hôpital Khoo Teck Puat .Ces aménagements démontrent comment la ville parvient à combiner infrastructures naturelles et développement urbain, tout en favorisant des espaces fonctionnels et écologiques. Par ailleurs, la Figure 82 met en avant la transformation spectaculaire des paysages urbains grâce à ces initiatives, contrastant avec les infrastructures bétonnées préexistantes. Ainsi, Singapour offre un modèle inspirant d'urbanisme durable, où la nature est pensée comme un élément structurant du développement métropolitain. Son approche, conjuguant planification écologique et innovation urbaine, démontre que l'intégration de la biodiversité dans les infrastructures modernes est une solution viable pour construire des villes résilientes et adaptées aux défis climatiques contemporains.

Pour ce qui est de la stratégie de Gestion des Eaux Pluviales ,Singapour a adopté le concept ABC Waters une stratégie qui allie eaux actives, belles et propres (ABC Waters), développée par l'agence nationale de l'eau de Singapour .Elle incarne une gestion innovante et durable des eaux pluviales adaptée aux défis de l'urbanisation et du changement climatique. En intégrant des dispositifs tels que les jardins pluviaux, les rigoles de bio rétention et les zones humides, la conception ABC Waters permet de retenir et de traiter jusqu'à 85 % des précipitations annuelles des bassins versants urbains.

Contrairement aux approches conventionnelles de gestion des eaux pluviales qui évacuent rapidement les eaux vers les canaux et les cours d'eau, ce modèle privilégie la rétention et l'infiltration, réduisant ainsi les débits de pointe en période de fortes pluies et limitant les risques d'inondation en aval (**Figure 79**). L'implémentation de cette stratégie a également permis d'améliorer significativement la qualité de l'eau grâce à des processus naturels de filtration qui éliminent les polluants avant leur restitution dans l'environnement et permet sa réutilisation non potable pour l'irrigation ou le nettoyage, renforçant ainsi la résilience urbaine. Par ailleurs, ces aménagements offrent une alternative durable en permettant la réutilisation des eaux non potables pour l'irrigation ou le nettoyage urbain, contribuant ainsi à une gestion plus efficace des ressources hydriques (**Figure 80**).

En outre, ces infrastructures écologiques participent à l'esthétique des espaces urbains tout en soutenant la biodiversité. Par leur capacité à s'intégrer dans des systèmes existants tels que les réservoirs et bassins de rétention, elles offrent une flexibilité accrue pour atténuer les impacts de l'imperméabilisation des surfaces urbaines. Dans un environnement urbain dense comme celui de Singapour, cette stratégie innovante incarne une réponse durable et multifonctionnelle pour allier gestion des eaux pluviales, préservation écologique et amélioration du cadre de vie.( OPUB, 2024)

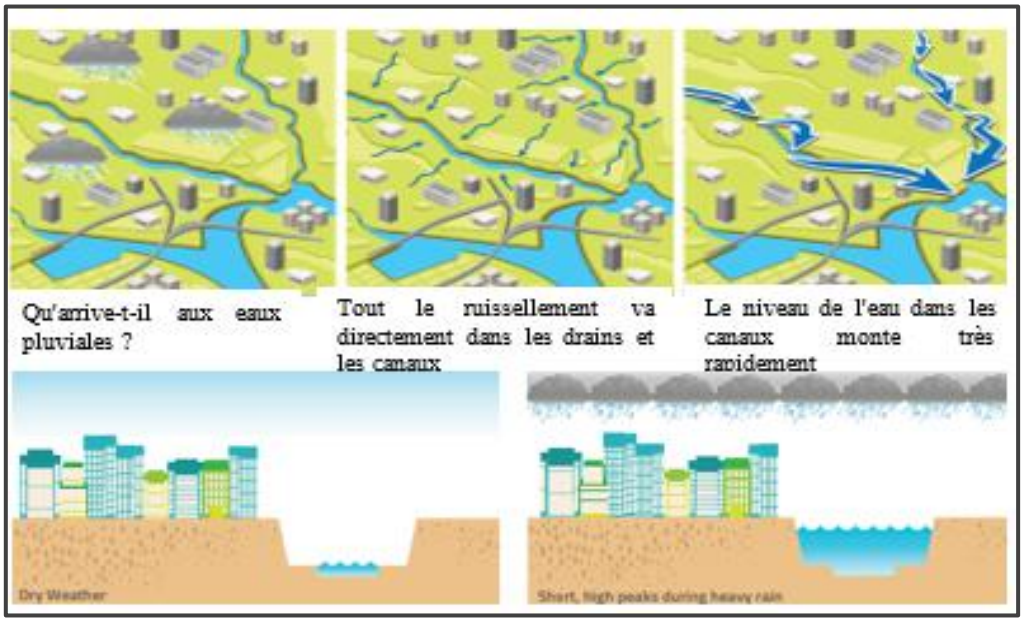



**Figure 79.** Impact des Précipitations sur les Niveaux d'Eau dans les Canaux .
Source: (OPub,2024).
Niveaux d'eau dans les canaux sous gestion traditionnelle des eaux pluviales

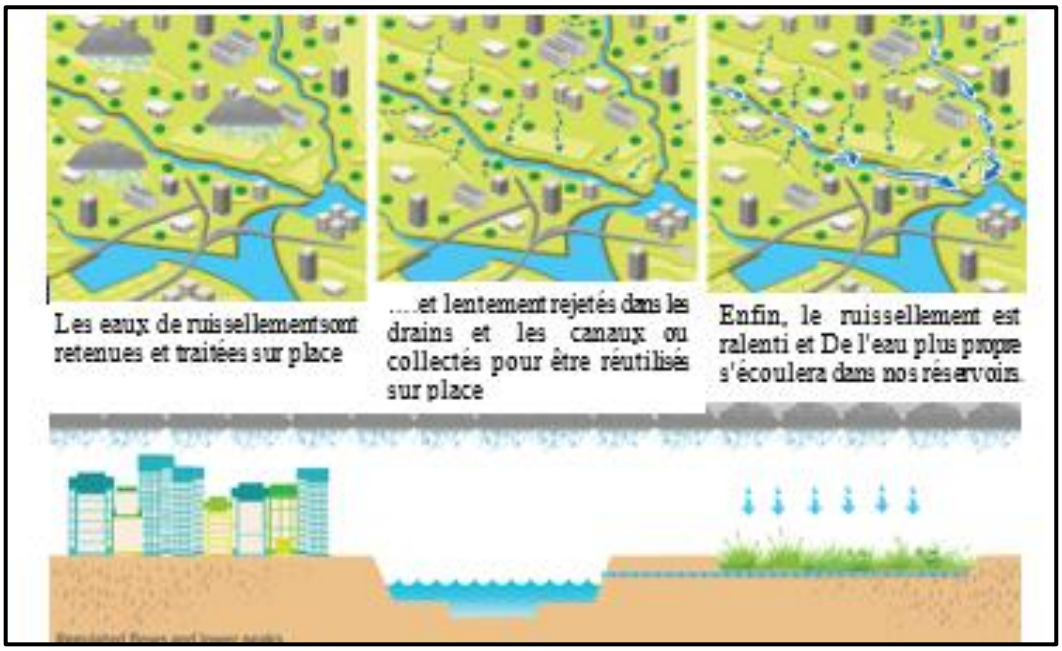



**Figure 80.** Impact des Solutions Naturelles sur les Niveaux d'Eau des Canaux. Source: (OPub,2024).

Dans le cas où la stratégie de gestion des eaux ABC est appliquée à l'ensemble du bassin versant

Par ailleurs, les façades végétalisées et les jardins suspendus, comme ceux de l'hôtel Oasia, incarnent la verticalité de la verdure dans l'architecture de Singapour. Ces aménagements, intégrés dans la typologie des bâtiments modernes, participent à la lutte contre les îlots de chaleur tout en offrant une esthétique distinctive. Ils traduisent également une volonté de compenser la densité urbaine en maximisant l'espace dédié à la nature (Clavier et al., 2021) (**Figure 81**).

**Figure 81.**Façades végétalisées de l'hôtel Oasia pour la réduction de l'îlot de chaleur urbain. Source : https://www.18h39.fr/wp-content/uploads/2017/05/home-hotel-parois-ve-ge-tales-singapour-1250x550.jpg

En intégrant ces pratiques dans son développement urbain, Singapour est devenue un modèle pour les métropoles du monde entier. Le programme "City in Nature", qui vise à planter un million d'arbres d'ici 2030, témoigne de l'engagement continu de la ville-État à renforcer ses structures vertes tout en repensant la cohabitation entre l'homme et son environnement naturel .Ces efforts démontrent comment une approche intégrée peut transformer les contraintes géographiques en opportunités de durabilité et d'innovation.

## Conclusion

Ce chapitre a mis en lumière le rôle fondamental des structures vertes dans la performance environnementale et le développement urbain durable. Face à une urbanisation accélérée et aux pressions croissantes sur les ressources naturelles, leur intégration apparaît comme une réponse stratégique aux défis contemporains. Bien au-delà d'un simple embellissement du paysage urbain, elles constituent des leviers essentiels pour atténuer les impacts écologiques de la ville, améliorer la qualité de vie et renforcer la résilience des territoires face au changement climatique.

Les structures vertes contribuent de manière significative à la régulation du microclimat urbain en limitant les îlots de chaleur grâce à l'évapotranspiration, à l'ombrage et à la réduction des températures de surface. Cette régulation thermique permet de réduire la consommation énergétique liée au refroidissement des bâtiments et d'améliorer le confort thermique dans les zones densément urbanisées. De plus, elles favorisent la biodiversité urbaine en créant des écosystèmes fonctionnels qui participent à la purification de l'air et de l'eau, à la séquestration du carbone et au maintien des services écosystémiques essentiels. Au-delà de leurs bénéfices environnementaux, ces structures revêtent une importance sociale et économique majeure. Elles offrent aux citadins des espaces de loisirs et de détente, favorisant le bien-être mental et physique tout en renforçant la cohésion sociale. L'accès à la nature en milieu urbain est désormais reconnu comme un facteur déterminant de santé publique, réduisant le stress et améliorant la qualité de vie. Par ailleurs, ces aménagements dynamisent l'économie locale en valorisant l'immobilier, en attirant le tourisme et en stimulant les investissements dans des infrastructures durables.

Les structures vertes répondent également à des enjeux urbains déterminants tels que la gestion des eaux pluviales et la réduction de la pollution atmosphérique. En favorisant l'infiltration et en limitant le ruissellement, elles permettent une meilleure absorption des précipitations et réduisent les risques d'inondation. De plus, elles améliorent la qualité de l'air en filtrant les polluants et en réduisant la concentration de particules fines, contribuant ainsi à la lutte contre les maladies respiratoires en milieu urbain. Leur intégration dans les réseaux de transport contribue également au développement d'une mobilité durable, en encourageant les modes de déplacement actifs et en réduisant la dépendance aux véhicules motorisés.

L'importance des structures vertes dans la planification urbaine ne peut être sous-estimée. Face aux pressions croissantes du changement climatique et aux défis de l'urbanisation, elles s'imposent comme un levier incontournable pour repenser la ville de demain. Elles ne doivent plus être perçues comme un simple supplément aux infrastructures urbaines, mais comme un élément structurant de la fabrique urbaine. Leur intégration dans les politiques d'aménagement doit s'accompagner d'une vision systémique et interdisciplinaire, favorisant une approche où la nature et l'urbanisme ne s'opposent plus, mais se complètent dans une logique de durabilité et de résilience.

Construire des villes plus vertes, plus saines et plus adaptatives nécessite un engagement fort des décideurs, des urbanistes et des citoyens. En valorisant pleinement les structures vertes, il est possible de concevoir des espaces urbains qui répondent aux impératifs écologiques tout en s'adaptant aux exigences économiques et sociales contemporaines. Dans un monde marqué par des incertitudes environnementales croissantes, leur intégration dans la planification urbaine n'est plus une option, mais une nécessité pour garantir un avenir durable et vivable pour les générations futures.

## Conclusion de la 1ere partie

L'analyse menée dans cette première partie a permis de retracer l'évolution du concept de Trame Verte, depuis son émergence en tant qu'outil d'aménagement écologique jusqu'à sa consolidation en une véritable Structure Verte intégrée aux politiques urbaines. Loin d'être une simple juxtaposition d'espaces végétalisés, la Trame Verte s'inscrit aujourd'hui dans une logique systémique, où les interactions entre biodiversité, services écosystémiques et qualité du cadre de vie deviennent déterminantes. Son évolution témoigne d'une prise de conscience accrue des enjeux environnementaux dans la fabrique urbaine, notamment à travers l'adoption de principes d'écologie urbaine et de résilience territoriale.

En s'appuyant sur une lecture critique des dispositifs réglementaires et des expériences menées à différentes échelles, cette première partie a mis en évidence le rôle fondamental de la Structure Verte comme vecteur de performance environnementale et de durabilité urbaine. En effet, la transition d'une planification sectorielle vers une intégration transversale des infrastructures vertes s'accompagne d'une reconfiguration des stratégies d'aménagement, favorisant des modèles plus adaptatifs et inclusifs. Ainsi, les cadres législatifs et les politiques publiques évoluent progressivement vers une approche plus intégrée, où la nature en ville n'est plus perçue comme une simple composante esthétique ou récréative, mais bien comme un élément structurant du développement urbain.

Toutefois, si les bénéfices de la Trame Verte sont largement reconnus, la mise en œuvre effective de cette structure verte se heurte encore à plusieurs défis, notamment en matière de gouvernance, de financement et d'articulation avec les autres politiques sectorielles. La transition vers une ville durable impose ainsi une réflexion approfondie sur les modalités de pilotage et d'évaluation des dispositifs mis en place, de manière à garantir leur efficacité et leur pérennité.

En conclusion, cette première partie a permis d'établir les fondements théoriques et les enjeux opérationnels liés à la Trame Verte et à la Structure Verte, soulignant leur rôle central dans la transition écologique des villes. La suite de ce travail s'attachera à approfondir ces dimensions en analysant les méthodologies d'évaluation de la performance environnementale et leur application dans des contextes urbains variés. L'objectif est d'identifier les leviers et les conditions nécessaires à l'optimisation de ces dispositifs, dans une perspective d'aménagement durable et résilient.

# Deuxième Partie

# Cadre méthodologique pour l'analyse, l'évaluation de l’intégration des structures vertes dans la planification urbaine d'Annaba

# Introduction de la 2$^{eme}$ partie

Dans un contexte de transformation accélérée des espaces urbains et face aux défis croissants liés à la durabilité environnementale, la gestion et l'intégration des structures vertes constituent un levier fondamental pour l'aménagement des villes. La structure verte, en tant qu'élément clé de l'écosystème urbain, joue un rôle essentiel dans l'atténuation des effets du changement climatique, la préservation de la biodiversité et l'amélioration de la qualité de vie des habitants. Toutefois, la compréhension fine de son évolution et son intégration efficace dans la planification urbaine nécessitent des outils méthodologiques avancés, capables de fournir des analyses précises et adaptées aux réalités locales.

Cette deuxième partie s'inscrit dans une approche analytique et méthodologique visant à évaluer la structure verte d'Annaba, à travers une combinaison d'outils géospatiaux et d'indicateurs de performance environnementale. Trois axes principaux structurent cette partie : la caractérisation de la structure verte d'Annaba, l'exploitation des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de la télédétection pour le suivi spatio-temporel de son évolution, et l'identification d'indicateurs pertinents pour évaluer son impact sur le bien-être et la santé urbaine.

Le premier chapitre s'attache à établir le contexte d'étude, en définissant et identifiant les composantes de la structure verte d'Annaba. Il met en lumière les dynamiques d'évolution des espaces verts dans la ville, leur organisation spatiale et leur rôle dans la planification urbaine locale. Cette analyse de fond est essentielle pour poser les bases de l'évaluation et des actions futures visant leur optimisation.

Le deuxième chapitre explore les SIG et la télédétection comme outils d'aide à la décision pour le suivi de l'occupation et de l'utilisation du sol. Il s'appuie sur la puissance analytique de Google Earth Engine (GEE) et l'efficacité de l'algorithme Random Forest pour cartographier et analyser les dynamiques de la structure verte à travers le temps. L'objectif est de fournir une vision globale et détaillée des mutations de l'espace végétalisé d'Annaba, tout en exploitant les capacités du machine Learning pour une classification et une modélisation plus précise.

Enfin, le troisième chapitre met en évidence l'importance des indicateurs environnementaux pour évaluer la performance de la structure verte en termes de bien-être et de santé urbaine. Il s'agit d'identifier et d'exploiter des indicateurs pertinents permettant de mesurer l'impact des espaces verts sur la qualité de vie, la réduction des pollutions urbaines et le confort thermique en milieu urbain. Cette approche vise à établir une grille d'évaluation permettant aux décideurs d'intégrer ces paramètres dans la planification future de la ville.

Ainsi, cette deuxième partie ambitionne d'élaborer un cadre méthodologique rigoureux et opérationnel pour l'analyse et l'évaluation des structures vertes dans le contexte urbain d'Annaba. L'utilisation combinée des SIG, de la télédétection et d'indicateurs de bien-être permettra de mieux comprendre les dynamiques en jeu et d'orienter les stratégies de planification vers une approche plus durable et résiliente. Les résultats obtenus contribueront non seulement à enrichir la connaissance scientifique sur la structure verte urbaine, mais également à proposer des recommandations concrètes pour une meilleure intégration des espaces verts dans les politiques d'aménagement du territoire.

# Chapitre 1
# L'apport des SIG et de la télédétection dans l'analyse des structures vertes : outils d'aide à la décision

**CHAPITRE 1 : L'USAGE DU SIG ET LA TELEDETECTION COMME OUTILS D'AIDE A LA DECISION**

# Introduction

Dans le domaine de la recherche scientifique, la télédétection et les Systèmes d'Information Géographique (SIG) représentent des piliers essentiels pour l'analyse spatiale et la gestion des ressources naturelles. Ces disciplines sont au cœur de nombreux travaux visant à comprendre les changements environnementaux et à élaborer des stratégies de gestion durable des territoires (Campbell & Wynne, 2011 ; Weng, 2001 ; National Aeronautics and Space Administration [NASA], 2023). Cette introduction vise à présenter de manière succincte mais rigoureuse les concepts fondamentaux des SIG et de la télédétection, ainsi que leurs applications dans le contexte de la recherche scientifique.

Les SIG, quant à eux, sont des systèmes informatiques conçus pour collecter, stocker, gérer, analyser et visualiser des données géographiques. Leur rôle dans l'organisation et la manipulation des informations spatiales est fondamental pour résoudre des problèmes complexes liés à l'environnement, à l'aménagement du territoire et à d'autres domaines. Les principes des SIG reposent sur la représentation précise des données spatiales et sur l'utilisation d'outils d'analyse spatiale pour répondre à des questions spécifiques (Longley et al 2015; Goodchild, 2007; Boulton et al 2011; Esri, 2023).

La télédétection, dans son essence, consiste en l'acquisition et l'interprétation des données provenant de capteurs à distance, tels que des satellites, des avions ou des drones. Cette méthode permet d'observer la surface terrestre à différentes résolutions spatiales et spectrales, fournissant ainsi des informations précieuses sur les caractéristiques physiques de la planète. Les principes de la télédétection reposent sur la mesure et l'analyse des signaux électromagnétiques émis ou réfléchis par la surface terrestre, et son importance réside dans sa capacité à fournir des données actualisées et détaillées sur les changements environnementaux (Lillesand et al 2015; Turner et al., 2003; European Space Agency [ESA], 2023).

Un système de télédétection idéal doit garantir une collecte régulière et cohérente des données, avec une résolution adaptée aux besoins d'analyse. La sélection des données de télédétection pour détecter les changements nécessite une approche méthodologique rigoureuse, prenant en compte les caractéristiques des capteurs, la qualité des images et la disponibilité des données historiques. L'utilisation conjointe de la télédétection et des SIG offre des perspectives nouvelles et prometteuses dans le domaine de la recherche scientifique. En combinant les avantages de ces deux disciplines, il est possible d'obtenir une vision globale et détaillée de la surface terrestre, permettant ainsi une meilleure compréhension des dynamiques environnementales et une prise de décision éclairée pour la gestion des territoires.

L'objectif de ce chapitre est de présenter les concepts fondamentaux des Systèmes d'Information Géographique et de la télédétection, et d'en explorer les applications dans le cadre de la gestion des ressources naturelles et de la prise de décision stratégique. Nous analyserons comment ces technologies, lorsqu'elles sont combinées, permettent non seulement de comprendre les dynamiques environnementales actuelles, mais aussi d'anticiper les impacts futurs sur les territoires. En nous appuyant sur des exemples concrets issus de la littérature et des études de cas récents, nous démontrerons leur pertinence en tant qu'outils d'aide à la décision dans des contextes de gestion des risques, d'urbanisme durable et de conservation des écosystèmes.

# 1.1.Le système d'information Géographique ( SIG)

- **Qu'est-ce qu'un Système d'Information Géographique (SIG) ?**

Un Système d'Information Géographique (SIG) est un système informatique conçu pour collecter, stocker, gérer, analyser et visualiser des données géographiques, c'est-à-dire des informations qui ont une référence spatiale ou géographique. Dans cette section, nous examinerons de manière approfondie la définition du SIG, son organisation, sa raison d'être, ses principes fondamentaux, les modes de représentation de l'information qu'il offre, ainsi que les bases de données qui le sous-tendent.

- **Définition**

Le SIG est défini comme un système informatique spécialisé dans la gestion des données géographiques ou spatiales. Selon Burrough et McDonnell (2015), un SIG est une "***combinaison organisée de matériel informatique, de logiciels, de données géographiques, de personnes et de procédures permettant de capturer, de stocker, de manipuler, d'analyser et de présenter toutes les formes d'informations géographiques"***. D'autre part, Fotheringham, Brunsdon et Charlton (2000) le définissent comme ***"un ensemble organisé de matériel informatique, de logiciels, de données géographiques et de personnes pour capturer, stocker, traiter et gérer toutes les formes d'informations géographiques et spatiales"***. Les composants essentiels d'un SIG comprennent les données géographiques elles-mêmes, les logiciels de gestion et d'analyse des données géographiques, ainsi que les utilisateurs et les analystes qui exploitent ces données pour prendre des décisions éclairées (Chang, 2008). Le SIG est organisé de manière à permettre une manipulation efficace des données spatiales et une analyse géographique précise.

- **Pourquoi le Système d'information géographique SIG ?**

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont des outils puissants qui révolutionnent le traitement et l'analyse des données géographiques, offrant une intégration transparente de divers types de données, qu'elles soient raster ou vectorielles. Cette capacité d'intégration permet une compréhension holistique et multidimensionnelle de vastes ensembles de données spatiales, facilitant ainsi des analyses complexes qui révèlent des relations, des tendances et des modèles spatiaux essentiels pour la prise de décisions éclairées. Par ailleurs, les SIG offrent des capacités avancées de visualisation interactive, rendant les données plus accessibles et compréhensibles pour les utilisateurs et les décideurs. Ces visualisations, couplées à des outils d'analyse spatiale puissants, transforment les informations géospatiales brutes en insights actionnables, essentiels dans des domaines variés comme l'urbanisme, la gestion environnementale et la réponse aux urgences. Les SIG améliorent significativement la prise de décision basée sur des informations géographiques précises, à jour et facilement interprétables (Heywood et al., 2019)

## 1.1.1. Les Principes du SIG

Les principes fondamentaux d'un Système d'Information Géographique (SIG) encapsulent la gestion complète des données géospatiales, ce qui inclut la capture, le stockage, la manipulation, l'analyse, et la présentation de ces données. Ces étapes constituent la colonne vertébrale des fonctionnalités d'un SIG, permettant de répondre efficacement aux exigences variées des utilisateurs. La capture des données fait souvent appel à des technologies de géolocalisation et de télédétection, assurant l'acquisition précise et à jour des informations géographiques. Le stockage concerne la gestion de grandes quantités de données dans des bases structurées pour garantir leur accessibilité et leur intégrité. La manipulation et l'analyse

impliquent des opérations complexes telles que la modélisation spatiale et les requêtes géographiques, transformant les données brutes en informations utiles. Enfin, la présentation des données via des cartes et des rapports interactifs permet une diffusion claire et compréhensible des résultats, facilitant ainsi la prise de décision basée sur des informations géolocalisées précises (Longley et al., 2015).

### 1.1.2. Modes de Représentation de l'Information dans un SIG

Dans un SIG, l'information géographique peut être représentée de plusieurs façons, reflétant la diversité et la complexité de l'environnement terrestre. Un SIG manipule deux types de données, il s'agit des données graphiques et des données alphanumériques. Cette capacité de lier des attributs descriptifs avec des localisations géographiques spécifiques est ce qui rend les SIG extrêmement puissants pour la planification urbaine, la gestion environnementale et d'autres applications où la dimension spatiale est critique (Chang, 2008).

- **Données graphiques**

Les données graphiques permettent de présenter les objets réels dans un SIG en utilisant trois formes de bases. Les objets ponctuels on les représente avec des points, les objets linéaires avec des lignes et les objets surfaciques avec des polygones. Ces types de données sont **les données vectorielles comme mentionné dans la Figure 82** :

- **Les points :** Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des surfaces (Mine, station météorologique, pont…etc.).
- **Les lignes :** Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces (Failles, rivières, routes…etc.). Ces lignes sont souvent appelées dans les systèmes informatiques (ArcGis/QGIS) **polylines.**
- **Les polygones :** Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des couches géologiques, des types de sols, des plans d'eau, des forêts…etc.

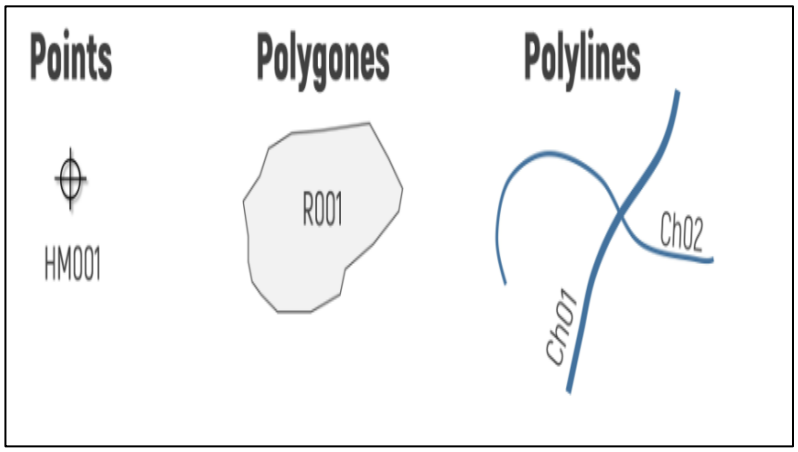



**Figure 82.** Représentation des Entités Géographiques en SIG à l'aide de Données Vectorielles.
Source : https://iast.univ-setif.dz/Old-Websites/documents/Cours/SGBDL2GEO21.pdf

**Les Raster (Image) :**Les données raster permettent de représenter les objets réels selon une grille régulière et rectangulaire, organisée en lignes et en colonnes, chaque maille de cette grille (Pixel) ayant une intensité de gris ou une couleur (une couleur pour les cartes géologiques et topographique, un niveau de gris pour les images satellitaires et MNT) (**Figure .83**).

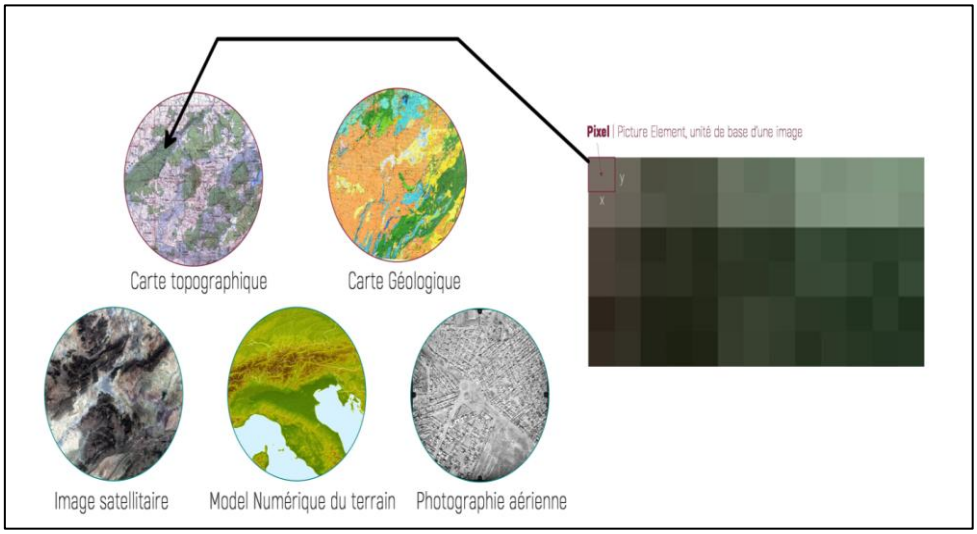
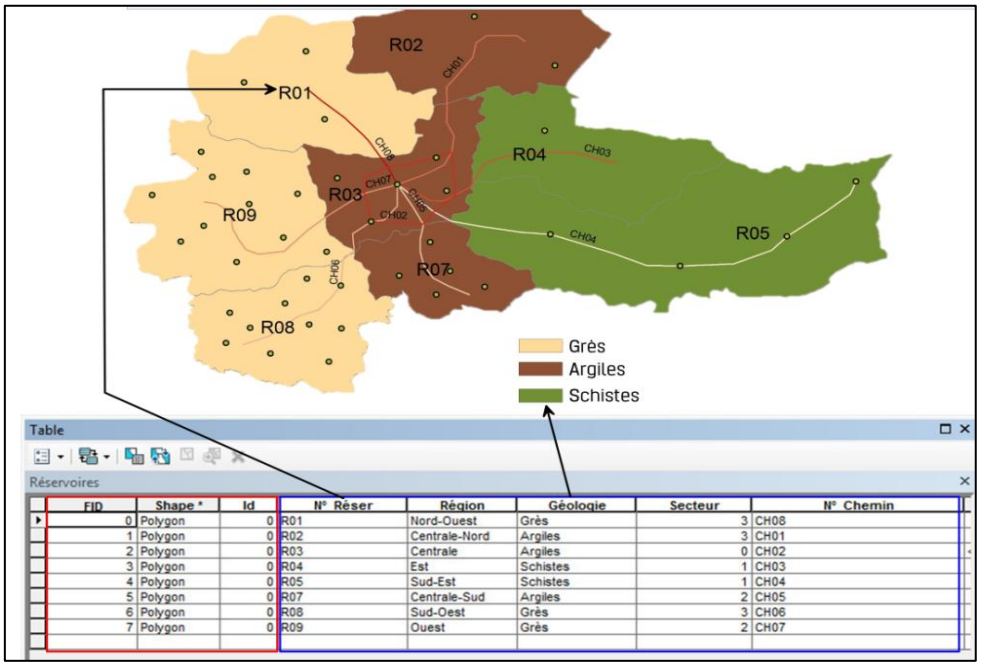



**Figure 83.** Les Différents Types de Données Raster Utilisées en SIG. Source : https://iast.univ-setif.dz/Old-Websites/documents/Cours/SGBDL2GEO21.pdf

**Données alphanumériques**

Les données alphanumériques dans un SIG représentent les bases de données qu'on associe pour chaque entité vectorielle. Souvent on les appelle tables attributaires, elles contiennent toutes les informations sur l'entité sous forme d'attribut (**Figure . 84**). Ces données peuvent être des chiffres, des textes, des dates… etc., d'où leurs appellation Alphanumérique.




| FID | Shape * | Id | N° Réser | Région | Géologie | Secteur | N° Chemin |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | Polygon | 0 | R01 | Nord-Ouest | Grès | 3 | CH08 |
| 1 | Polygon | 0 | R02 | Centrale-Nord | Argiles | 3 | CH01 |
| 2 | Polygon | 0 | R03 | Centrale | Argiles | 0 | CH02 |
| 3 | Polygon | 0 | R04 | Est | Schistes | 1 | CH03 |
| 4 | Polygon | 0 | R05 | Sud-Est | Schistes | 1 | CH04 |
| 5 | Polygon | 0 | R07 | Centrale-Sud | Argiles | 2 | CH05 |
| 6 | Polygon | 0 | R08 | Sud-Oest | Grès | 3 | CH06 |
| 7 | Polygon | 0 | R09 | Ouest | Grès | 2 | CH07 |

**Figure 84.** Exemple d'une Table Attributaire Associée à une Carte Géologique en SIG.Source : https://iast.univ-setif.dz/Old-Websites/documents/Cours/SGBDL2GEO21.pdf

### 1.1.3. Les Bases de Données pour un SIG

Les bases de données sont essentielles au fonctionnement efficace d'un Système d'Information Géographique (SIG), servant de fondement pour le stockage centralisé et organisé des données géographiques. Ces bases peuvent être de type relationnel ou spatial, chacune offrant des fonctionnalités spécifiques adaptées aux besoins de la gestion des données géospatiales. Les bases de données relationnelles structurent les données en tables liées, permettant des interrogations complexes et la gestion efficace de grandes quantités de données. Les bases de données spatiales, quant à elles, ajoutent une dimension géographique à ces capacités, supportant directement les types de données géographiques et les opérations spatiales, ce qui est crucial pour des tâches comme la cartographie, l'analyse de réseau, et la modélisation environnementale. Ensemble, ces technologies de base de données enrichissent les SIG, les rendant des outils puissants pour la gestion, l'analyse et la visualisation des données géographiques dans des domaines variés tels que la planification urbaine, la gestion des ressources naturelles, et la gestion des catastrophes (Heywood et al., 2019).

### 1.1.4. Le SIG par quels Logiciels ?

Les logiciels utilisés dans le domaine des Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont essentiels pour exploiter efficacement les capacités des SIG dans la création, l'analyse et la visualisation des données géographiques. Ces logiciels se classent en trois grandes catégories, chacune offrant des avantages distincts qui répondent à différents besoins et préférences des utilisateurs.

- **Logiciels SIG propriétaires**

Ces logiciels sont payants et offrent des fonctionnalités très avancées, souvent accompagnées d'un support technique professionnel et d'une documentation complète. Ils sont couramment utilisés dans les grandes organisations et les administrations publiques.

- **ArcGIS (Esri)**

ArcGIS, développé par Esri, est sans conteste le logiciel SIG le plus utilisé dans le monde pour l'analyse spatiale avancée. Il propose un ensemble complet d'outils pour l'analyse des données géospatiales, la cartographie interactive et la gestion de grands volumes de données. ArcGIS est largement employé en aménagement urbain pour modéliser des scénarios de développement, simuler l'expansion urbaine, évaluer l'impact environnemental des projets urbains, et gérer les infrastructures. Ses modules 3D, comme ArcGIS Pro, permettent de visualiser des plans d'urbanisation en trois dimensions, un atout considérable pour la planification urbaine.

- **MapInfo Professional (Pitney Bowes)**

MapInfo est un autre logiciel commercial puissant qui se distingue par son interface intuitive et ses capacités de gestion des données spatiales. Très utilisé pour les études de marché et l'urbanisme, il permet une visualisation et une analyse des données géospatiales en lien avec l'évolution des territoires urbains. MapInfo est apprécié pour sa simplicité d'utilisation et souvent utilisé pour des analyses géomarketing et la planification des infrastructures.

- **AutoCAD Map 3D (Autodesk)**

AutoCAD Map 3D intègre des outils SIG à l'environnement de conception assistée par ordinateur (CAO), ce qui le rend particulièrement utile pour les projets d'ingénierie et d'infrastructure en milieu urbain. Il permet d'intégrer des données SIG dans des plans architecturaux et des projets d'infrastructures tels que les routes, les ponts, et les réseaux souterrains. Ce logiciel est particulièrement prisé par les urbanistes et ingénieurs qui travaillent sur la conception des infrastructures publiques et privées.

- **Bentley Map (Bentley Systems)**

Bentley Map se distingue dans le domaine de la gestion des infrastructures, notamment pour la planification et la gestion des réseaux urbains (eau, électricité, transport). Il permet une gestion fine des données géospatiales à l'échelle d'une ville, facilitant ainsi l'analyse spatiale complexe nécessaire dans les grands projets d'aménagement urbain.

- **Logiciels SIG open source**

Les logiciels SIG open source sont souvent utilisés dans les contextes académiques ou dans des projets où l'accès à des outils payants est limité. Ces logiciels sont continuellement mis à jour par des communautés de développeurs, offrant des fonctionnalités robustes et évolutives.

- **QGIS (Quantum GIS)**

QGIS est sans doute le logiciel SIG open source le plus populaire et le plus utilisé dans le monde. Sa flexibilité, ses plugins puissants et sa large compatibilité avec divers formats de données en font un outil idéal pour les projets d'aménagement urbain. QGIS permet l'analyse des données géospatiales, la gestion des bases de données et la production de cartes interactives. De plus, son intégration avec d'autres outils open source comme GRASS GIS et PostGIS en fait un choix parfait pour les recherches universitaires et les projets professionnels d'urbanisme. QGIS est utilisé pour analyser les dynamiques spatiales des villes, les réseaux de transport, la gestion des zones vertes, et même pour évaluer les risques naturels tels que les inondations.

- **GRASS GIS**

GRASS GIS est un logiciel SIG open source avancé, spécialisé dans l'analyse géospatiale et la modélisation. Il est particulièrement adapté pour les études environnementales, la gestion des ressources naturelles et la planification urbaine complexe. GRASS offre des outils sophistiqués pour la modélisation hydrologique, la gestion des écosystèmes urbains et l'évaluation des risques environnementaux liés à l'urbanisation. Son intégration avec QGIS en fait un complément utile pour les projets nécessitant une analyse avancée des données.

- **PostGIS (extension pour PostgreSQL)**

PostGIS est une extension de la base de données PostgreSQL qui permet de gérer des données géospatiales complexes. Très prisé dans le domaine de la gestion urbaine et de l'analyse des infrastructures, il permet de traiter de grandes quantités de données géospatiales dans une base de données relationnelle. Il est particulièrement utile pour les villes intelligentes et les projets nécessitant une intégration fluide des données SIG dans des systèmes de gestion de bases de données centralisées.

- **Open StreetMap (OSM) et JOSM**

Open StreetMap (OSM) est un projet de cartographie collaboratif qui permet de créer et de partager des données géospatiales ouvertes. OSM est une ressource précieuse pour les urbanistes, en particulier dans les pays où les données géospatiales officielles peuvent être limitées. L'éditeur JOSM permet de modifier et d'ajouter des données à OSM, ce qui est particulièrement utile pour les projets d'urbanisme participatif ou communautaire. Les données d'OSM peuvent également être intégrées dans QGIS pour des analyses et visualisations supplémentaires.

- **gvSIG**

gvSIG est un logiciel SIG open source particulièrement apprécié dans les pays hispanophones. Il propose une gamme complète d'outils pour l'analyse spatiale, la gestion des données et la cartographie. gvSIG est utilisé dans divers projets d'urbanisme, notamment pour la gestion des infrastructures et la planification du territoire.

- **Autres outils SIG utiles**

- **Google Earth Pro**

Bien que Google Earth Pro ne soit pas un SIG complet, il propose des fonctionnalités intéressantes pour la visualisation des données géospatiales, notamment en 3D. Il est souvent utilisé pour des présentations publiques ou pour visualiser l'impact des projets d'aménagement urbain dans leur contexte géographique.

- **SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses)**

SAGA GIS est un autre outil open source puissant, particulièrement adapté pour l'analyse géoscientifique. Il est souvent utilisé en complément de QGIS pour des analyses géomorphologiques, l'étude des risques naturels ou l'évaluation des transformations territoriales dues à l'urbanisation.

### 1.1.5.Les domaines d'application des SIG

Les SIG jouent un rôle important dans la planification des infrastructures urbaines et l'optimisation de l'utilisation du sol. Ils permettent de visualiser les dynamiques spatiales de la ville, d'analyser les zones de développement et de prévoir l'impact des projets d'urbanisation sur les ressources naturelles et les espaces verts. Leurs application touchent diverses domaines comme indiqué dans le tableau 3 ci-dessous :

**Tableau 3.Domaines d'application des SIG**

| Domaine | Description |
|---|---|
| Gestion des ressources naturelles | Surveillance et gestion en temps réel des forêts, terres agricoles et ressources en eau pour garantir une exploitation durable et protéger les écosystèmes. |
| Agriculture de précision | Cartographie des parcelles agricoles et suivi des conditions des sols pour optimiser l'irrigation, l'utilisation des engrais et réduire les impacts environnementaux. |
| Gestion des risques naturels | Modélisation des inondations, séismes et incendies de forêt pour identifier les zones à risque et optimiser les mesures de prévention et d'intervention. |

| | |
|---|---|
| Transport et mobilité | Optimisation des itinéraires et des infrastructures de transport pour améliorer l'efficacité des déplacements et réduire la congestion urbaine. |
| Gestion des infrastructures | Gestion des réseaux d'eau, d'électricité et de télécommunications pour localiser les infrastructures, anticiper la maintenance et réduire les coûts. |
| Environnement et gestion des écosystèmes | Surveillance des écosystèmes et zones protégées pour suivre la déforestation, le changement climatique et la biodiversité en vue d'une gestion durable. |
| Santé publique | Cartographie des maladies et analyse des facteurs environnementaux influençant la santé pour mieux cibler les interventions et optimiser la distribution des ressources médicales. |
| Santé publique | Analyse et modélisation des bassins versants et des réseaux d'eau pour prévenir les risques d'inondation et améliorer la gestion des ressources hydriques. |
| Archéologie | Superposition des cartes historiques et modernes pour localiser des sites archéologiques et éviter des fouilles inutiles. |
| Immobilier et analyse de marché | Évaluation des terrains et des propriétés en fonction des infrastructures et des zones de développement pour optimiser les investissements immobiliers. |
| Défense et sécurité | Surveillance des frontières, planification stratégique et gestion des crises sécuritaires pour analyser les risques dans les zones de conflit. |
| Tourisme | Création de cartes interactives des points d'intérêt et itinéraires touristiques pour faciliter la planification des voyages et le développement des infrastructures touristiques. |
| Climatologie et météorologie | Analyse des données climatiques et modélisation des phénomènes météorologiques pour prévoir les conditions extrêmes et les effets du changement climatique. |
| Éducation | Support visuel et interactif pour l'enseignement et la recherche académique, facilitant l'apprentissage de la géographie, de la cartographie et de l'analyse spatiale. |

## 1.2.La télédétection

La télédétection spatiale est une technique qui, à l'aide d'un ou plusieurs capteurs, permet d'acquérir de l'information sur un objet, surface ou phénomène sans contact direct avec eux. L'œil humain est un capteur qui intercepte le rayonnement visible. Ce rayonnement, transformé en impulsions électriques par des cellules photoréceptrices spécialisées, est envoyé et reçu par le cerveau qui l'interprète et en tire de l'information. C'est le même concept de la télédétection spatiale qui englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information.(**Figure 85**)

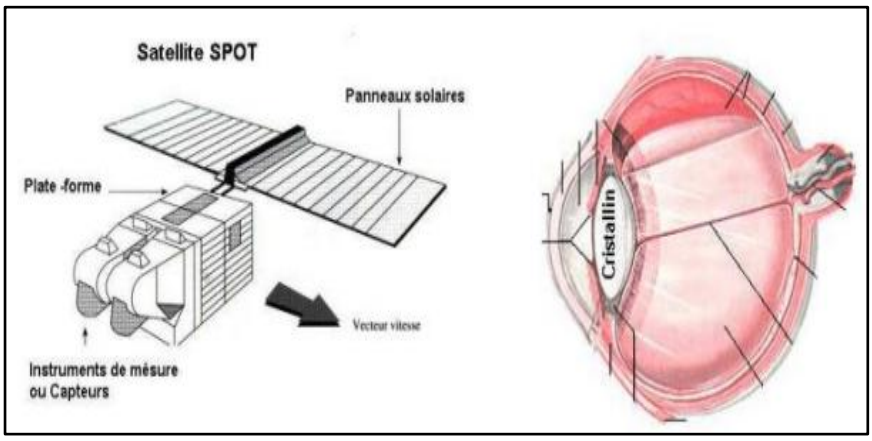



**Figure 85.** Comparaison entre le Satellite SPOT et l'Œil Humain : Capteurs et Acquisition de l'Information. Source : https://www.researchgate.net/profile/Nadia-Akdim/publication/316456126_Cours_Introduction_a_la_Teledetection_Spatiale/links/58ff3d10aca2725bd71e46c3/Cours-Introduction-a-la-Teledetection-Spatiale.pdf

La télédétection est la technique d'observation à distance de la réponse des objets à une **excitation extérieure naturelle (soleil)** ou **artificielle (radar).** Autrement dit, La télédétection et une technique d'observation permettant de détecter et **d'interpréter à distances** les caractères morphologiques, physiques, et /ou spectraux des matériaux. Elle étudie leur propriété de réflexion, absorption ou émission des radiations électromagnétique ; dans le but d'en tirer des informations concernant leurs natures, leurs propriétés, et leurs états(**Figure 86**)

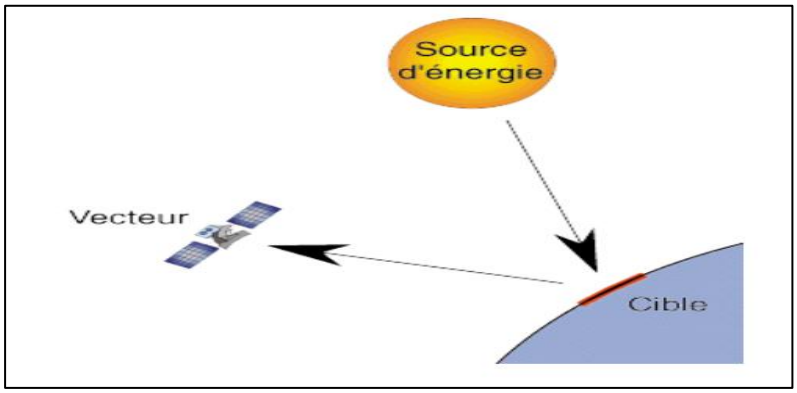



**Figure 86.** Principe de la télédétection spatiale. Source : https://gat.univ-batna2.dz/sites/default/files/get/files/introduction_a_la_teledetection_3eme_topographie.pdf?m=1588262416

### ➢ Avantages et Objectives

La télédétection présente plusieurs avantages, qui peuvent être complémentaires aux mesures du terrain :

- **En termes de couverture spatiale :** la télédétection couvre des étendues considérables de la terre ou des planètes. L'information peut être représentée dans l'espace par le biais des systèmes d'information géographiques (SIG), révélant les géométries spatiales qui ne sont pas souvent apparentes lorsque l'information est fournie sous forme de tableaux.

Lorsque l'accès à l'information classique est difficile voire impossible pour des raisons politiques ou militaires.

- **En terme de couverture temporelle:** les observations de télédétection peuvent être répétitives, permettant de contrôler les pratiques des gestionnaires et d'évaluer l'impact des interventions.

- **En terme de précision:** l'information peut être très précise par rapport à certain type de mesures au sol. Les données obtenues par télédétection sont objectives et ne sont pas basées sur des opinions.

### ➢ Principes de Base et Caractéristiques des Données de la Télédétection

Les principes fondamentaux de la télédétection reposent sur la mesure et l'interprétation des signaux électromagnétiques émis ou réfléchis par la surface terrestre (Lillesand et al., 2015). Les capteurs enregistrent ces signaux dans différentes bandes spectrales, permettant ainsi de caractériser les propriétés physiques des objets observés, tels que la réflectance, la température, l'humidité, etc. Les caractéristiques des données de télédétection comprennent la résolution spatiale, la résolution spectrale, la résolution radiométrique et la résolution temporelle (Campbell, 2011). La résolution spatiale se réfère à la taille du pixel sur l'image, tandis que la résolution spectrale fait référence aux différentes bandes spectrales enregistrées par le capteur. La résolution radiométrique se rapporte à la capacité du capteur à distinguer les variations de luminosité, et la résolution temporelle indique la fréquence à laquelle les données sont collectées au fil du temps.

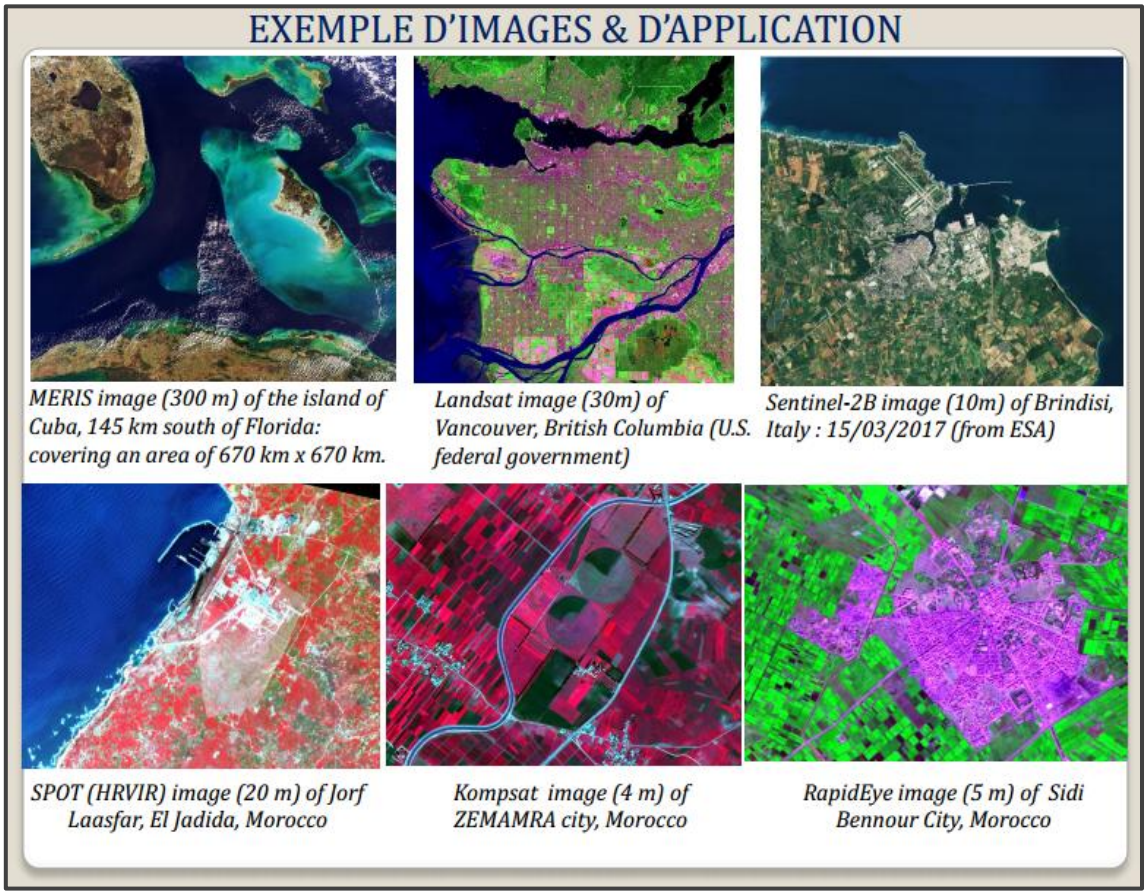



**Figure 87.** Divers types des images satellitaires. Source : https://www.researchgate.net/profile/Nadia-Akdim/publication/316456126_Cours_Introduction_a_la_Teledetection_Spatiale/links/58ff3d10aca2725bd71e46c3/Cours-Introduction-a-la-Teledetection-Spatiale.pdf

### ➢ Acquisition des données de la télédétection

L'acquisition des données en télédétection se fait via des capteurs embarqués sur des plateformes comme des satellites, des avions, des drones, et même des ballons. Ces capteurs collectent des informations à partir de l'énergie émise ou réfléchie par la surface terrestre dans diverses longueurs d'onde (visibles, infrarouges, micro-ondes, etc.). Dans ce qui suit les étapes principales :

- **Source d'énergie** : En télédétection passive, l'énergie provient du rayonnement solaire. En télédétection active (comme le radar), l'énergie est fournie par le capteur lui-même.

- **Plateformes** :

**-Les satellites** : Les plus courants pour la collecte des données de télédétection. Exemples : Landsat, Sentinel, MODIS.

**-Les avions et drones** : Pour des observations à plus faible altitude, mais avec des résolutions spatiales plus élevées.

- **Les Capteurs** :On note diffèrent type comme suit :

**-Les capteurs passifs** : Capturent l'énergie naturelle émise ou réfléchie par la surface (ex. : capteurs optiques pour la lumière visible et l'infrarouge).

**-Les capteurs actifs** : Envoient des signaux (comme des ondes radar ou laser) vers la Terre et mesurent le retour du signal. On note comme exemple : LiDAR (Light Detection and Ranging), SAR (Synthetic Aperture Radar).

- **Les types de données utilisées dans la télédétection**

Les données de télédétection peuvent être classées en plusieurs types selon leur nature et leurs caractéristiques (**Figure 88**) :

**Données optiques** :

- Basées sur la lumière visible et l'infrarouge proche (NIR).
- Utilisées pour des applications comme l'étude de la végétation, de l'eau, et du sol.
- Exemple : Les images des satellites **Landsat** ou **Sentinel-2**.

**Données radar (SAR)** :

- Utilisent des ondes radar pour détecter les caractéristiques de la surface, indépendamment des conditions météorologiques ou de l'éclairage.
- Utilisées pour cartographier les inondations, suivre la déforestation, ou surveiller les changements de surface.
- Exemple : Données des satellites **Sentinel-1** (radar à ouverture synthétique).

**Données hyper-spectrales** :

- Capturent des informations sur un très grand nombre de bandes spectrales.
- Utilisées pour des analyses détaillées des matériaux (agriculture, minéralogie).
- Exemple : Les données du capteur **Hyperion**.

**Données thermiques** :

- Mesurent les émissions de chaleur depuis la surface de la Terre.
- Utilisées pour la surveillance des températures de surface, des volcans, et la gestion des ressources en eau.
- Exemple : Données du capteur **MODIS** pour le suivi de la température de la surface terrestre.

**Données LiDAR** :

- Utilisent des lasers pour mesurer la distance entre l'instrument et la surface.
- Utilisées pour générer des modèles numériques de terrain (MNT), étudier la biomasse, ou cartographier des infrastructures.
- Exemple : Données LiDAR pour la topographie fine.

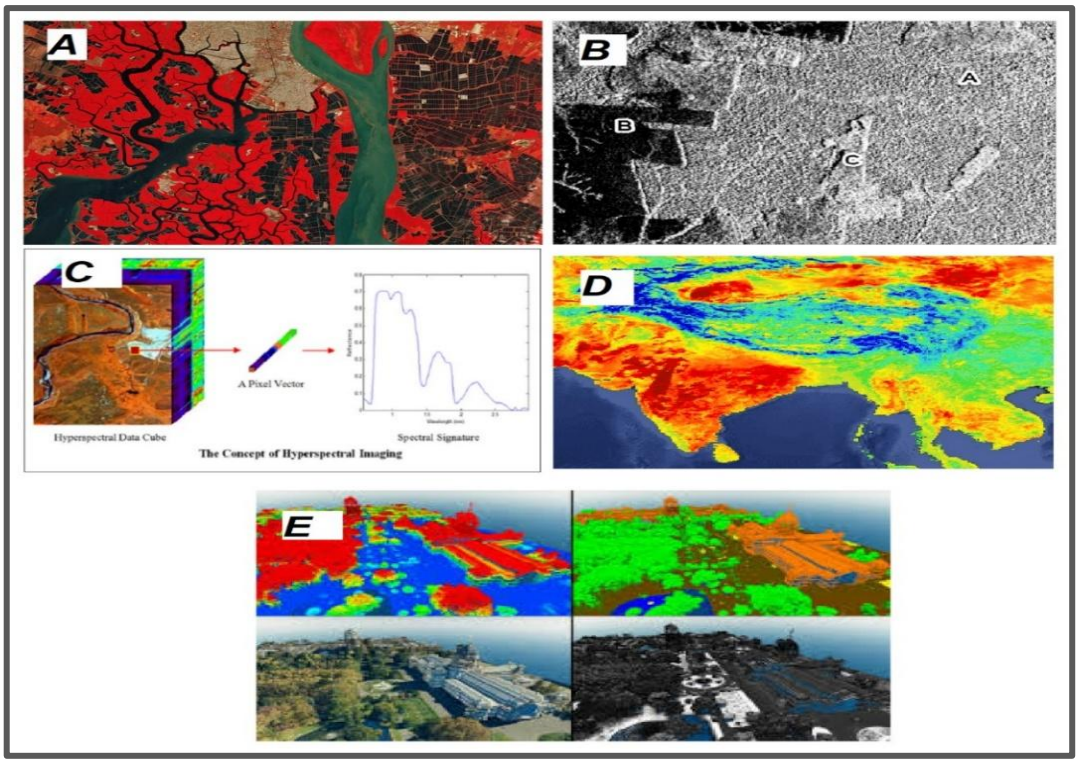



**Figure 88.** Types des données utilisées dans la télédétection.

➢ **Méthodologie d'Analyse des Images de Télédétection**

Les informations géographiques recherchées par la télédétection varient en fonction des objectifs spécifiques de chaque projet. Ces informations peuvent inclure des données sur la couverture du sol, l'utilisation des terres, la végétation, la topographie, et les ressources en eau. L'identification précise de ces caractéristiques est essentielle pour la planification urbaine, la gestion des ressources naturelles, et la surveillance environnementale, ainsi que pour l'étude des impacts du changement climatique (Jensen, 2011 ; Wulder,2006). L'analyse des images de télédétection implique plusieurs étapes clés :

- **Prétraitement** : Correction des images pour des distorsions atmosphériques, radiométriques ou géométriques.
- **Segmentation et classification**: Découpage des images en régions homogènes et attribution de catégories à ces régions (e.g., eau, forêt, urbain).
- **Analyse post-classification**: Comparaison des cartes classifiées à différentes périodes pour détecter les changements.
- **Validation** : Comparaison des résultats obtenus avec des données de référence pour évaluer la précision des informations extraites.

➢ **Les outils de la télédétection**

Une large gamme d'outils est mobilisée dans le domaine de la télédétection, chacun étant adapté à des objectifs spécifiques et permettant de répondre à divers besoins d'analyse et de cartographie. Ces outils, allant des plateformes satellitaires aux logiciels de traitement et d'analyse des données, sont synthétisés dans le tableau ci-après pour offrir une vue d'ensemble claire et structurée.

**Tableau 4 .Outils utilisés dans la télédétection**

| Désignation | Usage | Avantages |
|---|---|---|
| **Google Earth Engine (GEE)** | GEE est une plateforme puissante basée sur le cloud qui permet d'accéder à une vaste base de données d'images satellitaires (comme Landsat, MODIS, Sentinel) et de traiter des données à grande échelle. | Analyse à grande échelle, traitement rapide grâce au cloud, accès à des images historiques et actuelles. |
| **QGIS** | Logiciel SIG open-source largement utilisé pour la visualisation, l'analyse et le traitement des images géospatiales.<br>QGIS prend en charge une large gamme de formats de données et offre des capacités d'analyse spatiale. | Gratuit, plugins nombreux (y compris pour le traitement d'images satellitaires), intégration avec des outils de modélisation comme GRASS et SAGA |
| **ENVI** | Outil spécialisé pour le traitement d'images géospatiales avec des capacités avancées pour l'analyse des données raster, y compris la classification, la détection des changements et les analyses spectrales. | Fonctionnalités avancées pour l'analyse des images multispectrales et hyper-spectrales, interface intuitive. |
| **ERDAS IMAGINE** | Logiciel dédié au traitement d'images géospatiales, utilisé pour l'analyse d'images multispectrales, la classification des terres, et la gestion des bases de données géospatiales. | Outils puissants pour la télédétection, analyse des séries temporelles, fonctionnalités avancées pour l'interprétation des images. |
| **SNAP (Sentinel Application Platform)** | Outil open-source développé par l'ESA pour traiter les données Sentinel (Sentinel-1, Sentinel-2, etc.) et d'autres satellites. Il est particulièrement adapté à la gestion des images radar (SAR) et optiques. | Open-source, spécialement conçu pour les images Sentinel, prise en charge des séries temporelles. |
| **ArcGIS Pro** | Logiciel propriétaire qui offre une gamme complète de fonctionnalités pour l'analyse spatiale et le traitement des images satellitaires. ArcGIS Pro prend en charge l'intégration de données 3D et l'analyse avancée. | Interface conviviale, puissant pour la modélisation et la visualisation 3D, intégration avec les bases de données géospatiales. |
| **R (avec les packages spatiaux)** | Environnement de programmation open-source utilisé pour les analyses statistiques avancées des données géospatiales. Des packages comme **raster, sp, sf, et rgdal** permettent l'analyse et la manipulation des images satellitaires. | Flexibilité, puissance pour l'analyse statistique, traitement des grandes quantités de données. |
| **Python (avec les bibliothèques spatiales)** | Langage de programmation largement utilisé pour le traitement et l'analyse des images satellitaires. Des bibliothèques comme **GDAL, rasterio, geopandas, et EarthPy** facilitent le traitement des données géospatiales. | Open-source, flexible, peut être automatisé pour le traitement de masse des images. |
| **Orfeo Toolbox (OTB)** | Bibliothèque open-source de traitement d'images pour la télédétection. OTB est conçu pour l'analyse d'images à haute résolution provenant de capteurs optiques et radar. | Optimisé pour les images à haute résolution, très flexible, compatible avec QGIS. |

| | | |
|---|---|---|
| **Matlab (avec les toolboxes spatiales)** | Matlab est un outil puissant pour l'analyse numérique et la modélisation. Avec les toolboxes géospatiales, il peut être utilisé pour le traitement et l'analyse d'images satellitaires. | Capacités avancées d'analyse mathématique et de modélisation. |

## 1.3.La Plateforme Google Earth Engine GEE

Google Earth Engine (GEE) est une plateforme de calcul avancée qui permet aux scientifiques et aux chercheurs d'accéder et de manipuler une vaste collection de données géospatiales. Cette plateforme hébergée dans le cloud combine une archive de données satellite avec des capacités de traitement planétaire, facilitant l'analyse environnementale à grande échelle (Gorelick et al 2017; Zsombor 2020 ; Kumar & Mutanga 2018)

- **Le Rôle et Potentiels de Google Earth Engine**

GEE joue un rôle crucial dans la surveillance des changements environnementaux, en offrant des capacités de traitement des données pour suivre la déforestation, l'urbanisation, et les changements hydrologiques sur de longues périodes. La plateforme est particulièrement puissante pour son application dans le suivi des impacts du changement climatique à l'échelle mondiale (Tamiminia et al., 2020).

- **Domaines et Régions d'Application**

Google Earth Engine est utilisé dans une variété de domaines, notamment la gestion des ressources naturelles, la surveillance agricole, la planification urbaine, et la conservation de la biodiversité. Sa capacité à traiter et analyser rapidement de grandes quantités de données en fait un outil précieux pour les projets environnementaux à travers le monde . Actuellement la plateforme GEE est largement utilisé dans le monde entier, chaque mois des centaines des articles scientifique sont publier en utilisant cette outilles importantes dans tous les domaines.

- **Données Utilisées**

GEE intègre des données de multiples capteurs et satellites, y compris des séries temporelles d'images de Landsat, Sentinel, et d'autres sources, fournissant des données fiables pour des analyses temporelles et spatiales approfondies.

### 1.3.1.Interface Google Earth Engine

L'interface de GEE est accessible via un codeur basé sur le cloud qui supporte le JavaScript et Python, permettant aux utilisateurs de développer des applications personnalisées pour analyser, visualiser et partager les résultats des données géospatiales. Google Earth Engine (GEE) est une plateforme de pointe qui révolutionne le traitement et l'analyse des données géospatiales, permettant une exploration et une visualisation robustes des données environnementales à l'échelle mondiale (Gorelick et al., 2017). Cette plateforme est particulièrement efficace pour l'analyse rapide des changements environnementaux, grâce à sa capacité à manipuler de grandes quantités de données issues de divers capteurs satellites et autres sources géospatiales(**Figure 89**).

### 1.3.2.Points forts et limite de l'usage de Google Engine

Selon le Docteur Andrew Steer, président et chef de la direction du World Resources Institute ; ***« Google Earth Engine a permis, pour la première fois dans l'histoire, de traiter rapidement et avec précision de grandes quantités d'images satellites, en identifiant où et quand le changement de couvert arboré s'est produit à haute résolution. Global Forest Watch n'existerait pas sans elle. Pour ceux qui se soucient de l'avenir de la planète, Google Earth est une grande bénédiction ! »*** https://earthengine.google.com/case_studies/

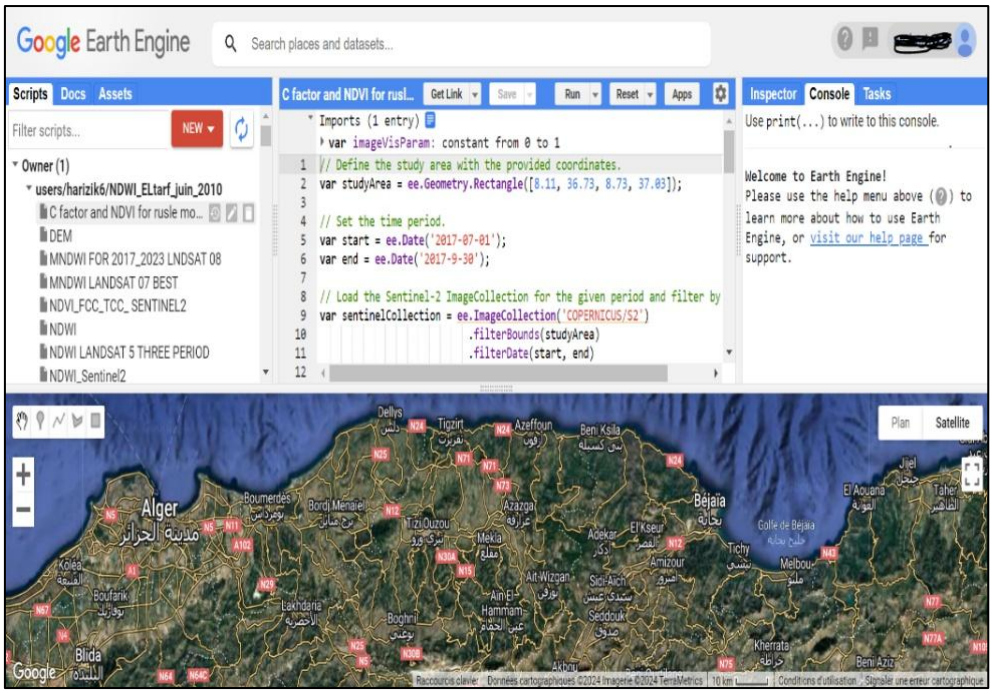



**Figure 89.** Interface de la plateforme Google Earth Engine (GEE).
Source : https://earthengine.google.com/

D'ailleurs le nombre d'articles publiés sur GEE n'a cessé d'augmenter depuis le lancement de la plateforme GEE en 2010. De toute évidence, autant d'articles ont été publiés au cours des deux dernières années et demie que pendant une décennie, en grande partie en raison de la grande popularité de cette plateforme en nuage (**Figure 91**). Les quatre premiers mois de 2022 montrent à eux seuls une tendance à la hausse. Les méthodes d'apprentissage automatique ont été utilisées avec succès pour le traitement des données de télédétection, constituant une partie essentielle des algorithmes de calcul de la plateforme GEE . l'un des points forts de GEE est la conception de l'architecture du système. L'architecture de GEE repose sur un ensemble de technologies présentes dans l'environnement du hub de données de Google.

En plus, les méthodes les plus répandues pour le traitement des analyses sur la plateforme GEE sont les méthodes de classification non paramétrique, avec Random aléatoire, les machines à vecteurs de support, les arbres de classification et de régression, les arbres de décision, etc., car les modèles non paramétriques permettent une plus grande adaptabilité et peuvent traiter une grande quantité de données sans connaissance préalable de domaines d'étude spécifiques. (Pedro Pérez-Cutillas et al, 2023)

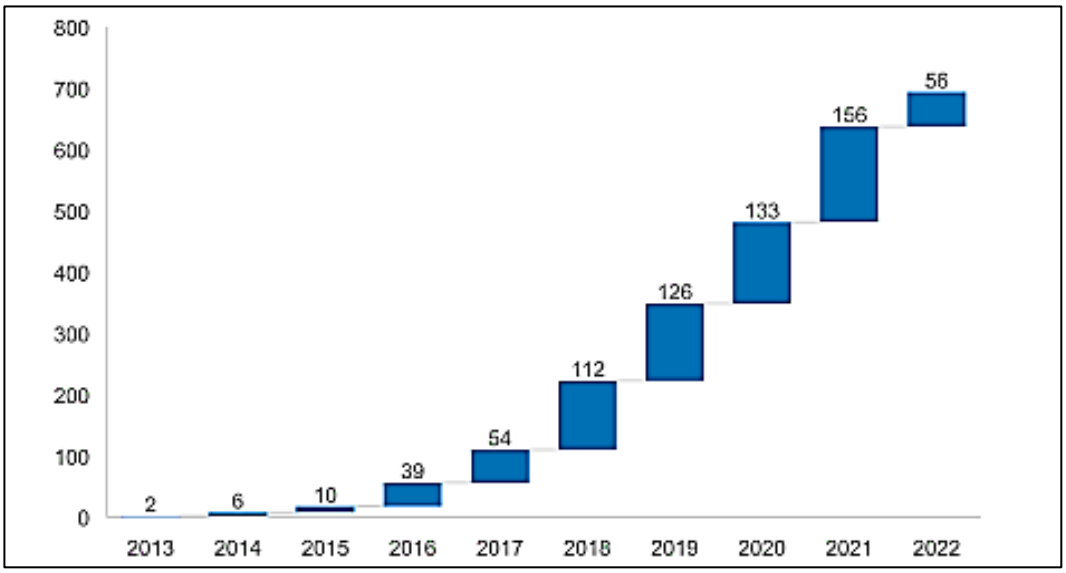



**Figure 90..**Évolution annuelle du nombre de publications scientifiques utilisant GEE. Valeurs de 2013 à 2019 extraites de Tamiminia et al (2020). Valeurs de 2022 extraites au 1er Mai. Source, Pedro Pérez-Cutillas et al, 2023

Le recours à GEE présente, donc des avantages avérés par son traitement de séries temporelles de manière efficace. Les recherches menées précédemment témoignent de l'intérêt de la combinaison du NDVI, du NDBI et d'autres indices, pour leur capacité d'améliorer la précision de la classification. Bien qu'EEG fournisse des algorithmes permettant de combiner plusieurs images pour réassembler une image sans nuages, les ensembles de données de la série Landsat et d'autres données satellitaires optiques contiennent toujours plus de nuages dans la zone littorale. Certaines valeurs NDVI peuvent ne pas représenter les valeurs NDVI maximales en raison du nombre limité d'images d'une année donnée et de l'influence de la brume et des nuages sur l'image ;il est donc plus difficile de réaliser une observation et une évaluation à long terme dans ces dernières (Lili Lin et al., 2020). Il est évident que l'EEG fournit un outil puissant pour l'analyse des données géo spatiales à l'échelle mondiale. Cependant, à l'heure actuelle, le manque aussi de ressources telles que l'ajustement des hyper paramètres dans GEE constitue en partie une limitation majeure.

### 1.3.3. Aperçue sur les algorithmes utilisé pour le traitement des image Satellitaire dans GEE

Dans **Google Earth Engine (GEE)**, plusieurs algorithmes de classification et de traitement des images satellitaires sont disponibles pour analyser et traiter les données géospatiales. Voici un aperçu des principaux algorithmes et méthodes utilisés dans GEE pour la classification et le traitement des images :

**-Classification Supervisée par Forêt d'Arbres Aléatoires (Random Forest)**

La classification supervisée constitue une méthode largement utilisée en télédétection pour analyser les images satellitaires et cartographier des thématiques spécifiques. Cette approche repose sur l'utilisation de données d'entraînement, généralement sous forme de polygones ou de points, où les classes d'intérêt sont définies au préalable par l'utilisateur. Ces

données servent de référence pour guider l'algorithme dans l'attribution de chaque pixel à une classe donnée.

Parmi les algorithmes de classification supervisée les plus répandus, la **Classification par Forêt d'Arbres Aléatoires** (Random Forest) se distingue par sa performance et sa popularité. Ce modèle d'apprentissage machine exploite un ensemble d'arbres de décision pour effectuer la classification. Chaque arbre dans la forêt est formé à partir d'échantillons aléatoires des données d'entraînement, et la classe finale d'un pixel est déterminée par la majorité des votes des arbres. Cet algorithme présente plusieurs avantages notables. Il est particulièrement robuste face au bruit dans les données et excelle dans la gestion des relations non linéaires entre les variables. En outre, la Forêt d'Arbres Aléatoires est capable de traiter un grand nombre de variables explicatives simultanément, ce qui en fait un outil puissant pour analyser des ensembles de données complexes. Cette flexibilité et cette robustesse expliquent son adoption généralisée dans les applications de télédétection pour la classification d'images satellitaires.

**-Exemple de code**

```
javascript
var classifier = ee.Classifier.smileRandomForest(10).train({
  features: training Data,
  class Property: 'landcover',
  input Properties: bands
});
var classified = image. Select(bands).classify(classifier);
Map.addLayer(classified, {min: 0, max: 5, palette: ['red', 'green',
'blue']}, 'Random Forest Classification');
```

- **SVM (Support Vector Machine)**

C'est un algorithme supervisé largement utilisé en télédétection pour la classification d'images satellitaires. Cet algorithme repose sur la création d'hyperplans qui permettent de séparer les différentes classes de données de manière optimale dans un espace multidimensionnel. Le SVM cherche à maximiser la marge entre ces hyperplans et les points les plus proches de chaque classe, appelés vecteurs de support, afin de garantir une séparation claire et précise des classes. L'un des principaux atouts du SVM est son efficacité dans le traitement des données non linéaires, grâce à l'utilisation de noyaux (kernels) qui transforment les données initiales dans un espace de dimension supérieure où elles deviennent linéairement séparables.

De plus, cet algorithme est particulièrement performant lorsqu'il s'agit de traiter des classes imbriquées, c'est-à-dire des catégories dont les pixels présentent des caractéristiques similaires et qui sont difficilement séparables par des approches plus traditionnelles. En raison de sa capacité à fournir des résultats précis et fiables, même dans des contextes où les données présentent une forte complexité, le SVM est devenu un outil de référence pour les analyses de classification supervisée dans le domaine de la télédétection.

**-Exemple de code**

```
javascript
var classifier = ee.Classifier.libsvm().train({
  features: training Data,
  class Property: 'landcover',
  input Properties: bands
});
var classified = image. Select(bands).classify(classifier);
```

**-Classification par Arbre de Décision (CART)**

La Classification par Arbre de Décision (CART) est une méthode supervisée couramment utilisée en télédétection pour la classification des images. Cet algorithme repose sur la création d'un arbre de décision, où les données sont séparées en fonction de règles conditionnelles définies à chaque nœud de l'arbre. Ces règles sont basées sur les valeurs des variables explicatives, permettant de partitionner progressivement les données jusqu'à ce que chaque nœud terminal corresponde à une classe spécifique. L'un des principaux avantages de l'approche CART réside dans sa simplicité et son interprétabilité. Les règles conditionnelles qui structurent l'arbre sont intuitives et faciles à comprendre, ce qui facilite l'analyse des résultats. De plus, cette méthode est particulièrement efficace pour les petites bases de données, où elle permet de produire des classifications précises avec un temps de calcul relativement court. Grâce à sa flexibilité et à son caractère explicite, la Classification par Arbre de Décision est souvent utilisée comme un premier outil pour explorer et modéliser des données en télédétection, avant d'envisager des algorithmes plus complexes si nécessaire.

**Exemple de code**

```
javascript
var classifier = ee.Classifier.smileCart().train({
  features: trainingData,
  classProperty: 'landcover',
  inputProperties: bands
});
var classified = image.select(bands).classify(classifier);
```

**-Classification Non Supervisée**

La classification non supervisée repose sur des algorithmes qui segmentent les données sans nécessiter de données d'entraînement préalables. Ces méthodes exploitent la similarité intrinsèque des données pour regrouper les pixels en différentes classes ou clusters en fonction de leurs caractéristiques spectrales. Contrairement aux approches supervisées, aucune intervention directe de l'utilisateur pour définir des classes prédéfinies n'est requise, ce qui en fait un outil particulièrement adapté pour explorer des données inconnues ou complexes. Ces techniques sont souvent utilisées pour obtenir une première segmentation des images, servant de base pour des analyses plus approfondies ou pour valider des classifications supervisées.

- **K-Means Clustering**

Le K-Means Clustering est une méthode de classification non supervisée largement utilisée en télédétection pour analyser et segmenter des images satellitaires. Cet algorithme fonctionne en regroupant les pixels en fonction de leur similarité spectrale, permettant ainsi de diviser l'image en un nombre défini de clusters ou groupes homogènes. Les centres des clusters, initialement choisis aléatoirement, sont ajustés de manière itérative pour minimiser la variance au sein de chaque cluster, garantissant ainsi une meilleure cohérence interne. Le K-Means se distingue par sa rapidité et son efficacité, ce qui en fait un choix privilégié pour les tâches de classification exploratoire. Il est particulièrement utile pour obtenir une vue d'ensemble des structures ou des motifs présents dans les données, sans avoir besoin de connaissances préalables ou de données d'entraînement. Bien que sa simplicité soit un avantage, il convient toutefois de noter que la performance de l'algorithme dépend du choix initial du nombre de clusters et des centres, ce qui peut influencer les résultats dans des cas complexes ou avec des données fortement hétérogènes

**-Exemple de code**

```
javascript
var clusterer = ee.Clusterer.wekaKMeans(5).train(image);
var result = image. Cluster(clusterer);
Map.addLayer(result.     Random     Visualizer(),     {},     'K-Means
Classification');
```

- **ISODATA Clustering**

Le ISODATA Clustering (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) est une méthode avancée de classification non supervisée, dérivée du K-Means, qui apporte une flexibilité accrue dans l'identification des clusters. Contrairement à K-Means, où le nombre de clusters est fixe, ISODATA permet d'ajuster dynamiquement le nombre de classes pendant le processus de classification, en fusionnant ou en divisant les clusters en fonction de leur distance et de leur similarité. Cette capacité adaptative en fait un outil particulièrement utile pour traiter des données complexes ou lorsque le nombre optimal de classes n'est pas connu à l'avance.

L'un des principaux avantages d'ISODATA réside dans sa flexibilité. Il s'adapte mieux à la diversité des données en affinant automatiquement les regroupements pour mieux refléter la structure spectrale de l'image. Cette méthode est particulièrement efficace dans les contextes où les données présentent des distributions non homogènes ou des chevauchements importants entre les classes. En revanche, ISODATA n'est pas nativement implémenté dans certaines plateformes de traitement, comme Google Earth Engine (GEE). Toutefois, des approches similaires peuvent être simulées en combinant des algorithmes de clustering et des scripts personnalisés, permettant ainsi de tirer parti de cette méthode dans des environnements d'analyse modernes. ISODATA est donc une option robuste et polyvalente pour les tâches de classification non supervisée en télédétection.

**-Classification Basée sur des Objets (Object-Based Image Analysis - OBIA)**

La Classification Basée sur des Objets (Object-Based Image Analysis - OBIA) constitue une méthode innovante et puissante en télédétection, particulièrement adaptée aux images de haute résolution. Contrairement aux approches traditionnelles qui classifient les pixels individuellement, OBIA segmente d'abord l'image en objets homogènes en fonction de leurs caractéristiques spectrales, texturales, et spatiales. Ces objets, qui représentent des unités géographiques plus cohérentes, sont ensuite classifiés en fonction des attributs collectifs qu'ils partagent. Cette méthode est particulièrement pertinente pour l'analyse d'images à haute résolution, où les relations spatiales et contextuelles entre les pixels jouent un rôle clé. OBIA offre une meilleure précision dans la classification en réduisant les erreurs liées à la confusion entre pixels similaires mais appartenant à des classes différentes.

Bien que Google Earth Engine (GEE) ne propose pas directement une implémentation native d'OBIA, il est possible de reproduire cette approche en combinant des algorithmes de segmentation, tels que le clustering spatial ou la détection de frontières, avec des techniques de classification standard. Cette flexibilité permet d'exploiter les avantages d'OBIA dans des environnements analytiques modernes. Grâce à sa capacité à intégrer des informations spectrales et spatiales, OBIA est particulièrement efficace pour des applications telles que la cartographie d'occupation du sol, l'analyse urbaine, et la détection de changements, où la précision et la contextualisation des résultats sont essentielles.

## 1.4. Algorithmes de Traitement des Images

Les algorithmes de traitement des images jouent un rôle essentiel dans la télédétection, en permettant de prétraiter les données, d'améliorer leur qualité ou d'extraire des informations ciblées. Ils interviennent à différentes étapes du processus d'analyse, allant de la correction radiométrique et géométrique à l'amélioration des contrastes, en passant par le filtrage pour réduire le bruit ou encore la segmentation pour isoler des zones d'intérêt. Ces outils, indispensables pour une interprétation précise et fiable, optimisent les données brutes pour en tirer des résultats exploitables.

### 1.4.1.NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) est un indicateur largement utilisé en télédétection pour évaluer la densité et la santé de la végétation. Cet indice repose sur l'analyse des réflectances des bandes rouge (RED) et proche infrarouge (NIR), deux longueurs d'onde particulièrement sensibles à la chlorophylle et à la structure cellulaire des plantes.

**Exemple de code**

```
javascript
var ndvi = image.normalizedDifference(['NIR', 'Red']).rename('NDVI');
Map.addLayer(ndvi, {min: 0, max: 1, palette: ['blue', 'green']}, 'NDVI');
```

### 1.4.2. MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)

Le MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) est un indice développé pour identifier et cartographier les surfaces d'eau avec précision en télédétection. Il utilise les bandes proche infrarouge (NIR) et infrarouge à ondes courtes (SWIR) pour tirer parti des propriétés spécifiques de réflexion de l'eau, qui absorbe fortement dans ces longueurs d'onde.

**Exemple de code**

```
javascript
var mndwi = image.normalizedDifference(['Green', 'SWIR1']).rename('MNDWI');
Map.addLayer(mndwi, {min: -1, max: 1, palette: ['blue', 'white', 'green']},
'MNDWI');
```

- **Filtrage de Convolution (Sobel, Laplacian, etc.)**

Le Filtrage de Convolution est une technique fondamentale en traitement d'images, utilisée pour détecter les contours, lisser les images ou mettre en évidence des caractéristiques spécifiques. Cette méthode repose sur l'application de filtres de convolution, tels que le filtre de Sobel ou le filtre Laplacien, qui analysent les variations locales des valeurs des pixels dans une image. Il est particulièrement efficace pour détecter les contours dans une image en calculant les gradients d'intensité dans les directions horizontale et verticale. Il est souvent utilisé pour identifier les limites des objets ou des structures dans les images satellitaires. Le filtre Laplacien, quant à lui, met en évidence les zones de variation rapide des pixels en calculant la deuxième dérivée de l'image. Il est couramment utilisé pour détecter les bords et affiner les contours identifiés.

**Exemple de code (Sobel)**

```
javascript
var sobel = ee.Kernel.sobel();
var edges = image.convolve(sobel);
Map.addLayer(edges, {min: -100, max: 100}, 'Edges');
```

- **Résolution Temporelle avec les Séries Temporelles**

La résolution temporelle permet d'étudier les changements dans la couverture terrestre, la végétation ou les surfaces d'eau sur des périodes données en utilisant des séries d'images satellites. Ces analyses, effectuées avec des données Landsat ou Sentinel, retracent des évolutions à court ou long terme, comme la croissance végétale ou les impacts de catastrophes. Les indices dérivés (NDVI, MNDWI) et les comparaisons temporelles détectent efficacement les tendances et les changements dynamiques.

- **Réduction Dimensionnelle (Principal Component Analysis - PCA)**

La PCA (Principal Component Analysis) est une technique de réduction dimensionnelle utilisée en télédétection pour simplifier des jeux de données complexes tout en préservant l'essentiel de leur variabilité. En transformant les variables initiales en un ensemble de nouvelles variables orthogonales, appelées composantes principales, la PCA permet de condenser les informations dans un espace de dimension réduite. Cette méthode est particulièrement utile pour analyser et classifier des données multispectrales ou hyper-

spectrales, en éliminant les redondances et les corrélations entre les bandes spectrales. En réduisant le bruit et en focalisant sur les variations significatives, la PCA améliore la performance des algorithmes de classification et facilite l'interprétation des données.

**Exemple de code**

```
javascript
var bandNames = image.bandNames();
var means = image.reduce(ee.Reducer.mean());
var centered = image.subtract(means);
var covar = centered.reduce(ee.Reducer.centeredCovariance());
var eigen = covar.eigen();
var pcImage = ee.Image(eigen.slice(1)).matrixMultiply(centered);
Map.addLayer(pcImage, {min: -2, max: 2, bands: ['b1', 'b2', 'b3']},
'PCA');
```

### 1.4.3.Autres Algorithmes et Méthodes

- **Max Entropy (Maximum Entropy Classification)**
- **GMM (Gaussian Mixture Model)**
- **Binary Masking (extraction de surface d'eau, de nuages, etc.)**

Ces algorithmes permettent de réaliser des analyses approfondies des images satellitaires en fonction des besoins du projet. Ils peuvent être adaptés pour diverses applications comme la classification des terres, le suivi de la végétation, la gestion de l'eau, et bien plus encore.

## 1.5.Utilisation de GEE pour la détection des changements pour les Facteur (LULC, NDVI et LST)

La détection des changements est une méthode d'analyse des images satellitaires visant à identifier les variations de la couverture terrestre, de l'occupation des sols ou des caractéristiques d'une région au fil du temps. Dans Google Earth Engine (GEE), cette approche repose sur l'utilisation de séries temporelles d'images satellitaires pour comparer des données sur plusieurs périodes et déterminer les zones ayant subi des modifications. Le principe général consiste à mesurer les différences dans les valeurs des pixels entre des images prises à différents moments (Huang et all 20002; Lu & Weng 2007) .

### 1.5.1. Principe de la Détection des Changements

**-Acquisition des Données Multi temporelles**

La détection des changements nécessite au minimum deux ensembles d'images satellites, chacun correspondant à un instant différent :

- **T1** : Période initiale.
- **T2** : Période plus récente.

**Sources de données**

- **Landsat**
- **Sentinel-2**
- **MODIS**

Il est essentiel que les images soient correctement alignées et prétraitées (corrections atmosphériques et géométriques) pour garantir une comparaison précise.

**- Prétraitement des Images**

Avant l'analyse, les images doivent être prétraitées pour éliminer les artefacts qui pourraient fausser les résultats.

- **Correction atmosphérique :** Réduction des effets de l'atmosphère sur les images pour améliorer la précision des mesures.
- **Masquage des nuages et des ombres :** Utilisation des bandes de qualité ou d'algorithmes spécifiques (par exemple, le masquage des nuages BQA pour Landsat) pour retirer les artefacts atmosphériques.

**-Choix de l'Indicateur de Changement**

Les changements sont détectés en utilisant des indices dérivés des bandes spectrales, choisis en fonction du type de changement à étudier, tel que le:

- **NDVI (Indice de Végétation par Différence Normalisée*) :*** Celui-ci est utilisé dans de nombreuses applications, notamment le suivi des cultures, la gestion des ressources naturelles, l'étude des changements environnementaux, ainsi que pour étudier les changements dans la végétation.

- **MNDWI (Indice d'Eau Modifié par Différence Normalisée) :**Contrairement à d'autres indices comme le NDWI, le MNDWI améliore la détection des surfaces d'eau en réduisant les interférences liées aux sols nus, à la végétation et aux surfaces bâties. Les valeurs positives indiquent généralement la présence d'eau, tandis que les valeurs négatives ou proches de zéro sont associées à d'autres types de surfaces. Cet indice est largement utilisé dans les études hydrologiques, le suivi des inondations et la gestion des ressources en eau .Il est utilisé pour détecter les changements dans les surfaces d'eau et calculé comme suit :

$$\boxed{\text{MNDWI} = \frac{\text{Vert} - \text{SWIR}}{\text{Vert} + \text{SWIR}}}$$

- **NDWI (Indice d'Eau par Différence Normalisée)**

Le NDWI (Normalized Difference Water Index) est un indice couramment utilisé en télédétection pour détecter et cartographier les surfaces d'eau libre. Cet indice exploite les différences de réflectance entre les bandes du spectre visible (en particulier le vert) et le proche infrarouge (NIR), calculées selon la formule :

$$\text{NDWI} = \frac{\text{Vert} - \text{NIR}}{\text{Vert} + \text{NIR}}$$

Cet indice est largement utilisé pour des applications telles que le suivi des inondations, la gestion des ressources en eau, et l'analyse des écosystèmes aquatiques. Il est utilisé pour le suivi des changements dans les zones humides.

- **Bandes spectrales brutes :**L'analyse des bandes spectrales brutes consiste à utiliser directement les données des différentes longueurs d'onde capturées par les capteurs satellitaires, sans transformation préalable, pour détecter des changements spécifiques dans le paysage. Chaque bande spectrale reflète des caractéristiques uniques des objets terrestres, telles que la végétation, les sols, l'eau ou les surfaces bâties. Cette méthode est particulièrement efficace pour observer des phénomènes tels que l'urbanisation, en exploitant les variations dans les bandes visibles et infrarouges, ou la déforestation, en analysant les changements de réflectance associés à la perte de couvert végétal. Bien que simple, cette approche nécessite une interprétation experte des valeurs spectrales pour distinguer les différentes classes d'objets et détecter les changements avec précision.

**-Calcul de la Différence Temporelle**

Le calcul de la différence temporelle est une méthode simple et efficace pour détecter les changements dans une zone donnée en comparant les valeurs des pixels entre deux images acquises à des moments différents. En soustrayant les valeurs spectrales ou les indices dérivés (par exemple, NDVI ou NDWI) d'une image à une autre, cette technique met en évidence les zones où des modifications significatives se sont produites, telles que l'évolution de l'urbanisation, la perte de végétation, ou les variations des surfaces d'eau. Cette méthode est largement utilisée pour des études de suivi environnemental et d'analyse des impacts des événements naturels ou anthropiques sur le paysage.

La formule générale est comme suit :

$$\Delta\text{Indice} = \text{Indice}_{T2} - \text{Indice}_{T1}$$

- **Interprétation**
  - **Δ Indice positif :** Augmentation de l'élément étudié (par exemple, végétation).
  - **Δ Indice négatif :** Diminution ou dégradation de l'élément.

**Exemple de code GEE pour la détection des changements avec le NDVI**

```
javascript
// Charger les collections d'images Landsat pour les deux périodes var
landsatT1       =       ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA')
.filterDate('2010-01-01', '2010-12-31') .median(); var landsatT2 =
ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA')    .filterDate('2020-01-
```

```
01', '2020-12-31') .median(); // Calculer le NDVI pour les deux périodes
var ndviT1 = landsatT1.normalizedDifference(['B5',
'B4']).rename('NDVI_2010'); var ndviT2 =
landsatT2.normalizedDifference(['B5', 'B4']).rename('NDVI_2020'); //


Calculer la différence de NDVI var ndviChange =
ndviT2.subtract(ndviT1).rename('Delta_NDVI'); // Visualiser la
différence de NDVI var ndviParams = {min: -1, max: 1, palette: ['red',
'white', 'green']}; Map.centerObject(landsatT1, 6);
Map.addLayer(ndviChange, ndviParams, 'Changement de NDVI');
```

**-Application d'un Seuil de Changement**

Après avoir calculé les différences temporelles, un seuil est appliqué pour isoler les changements significatifs, en éliminant les variations mineures ou le bruit. Le seuil est déterminé statistiquement ou basé sur l'expertise du domaine. Cette méthode garantit une détection précise des transformations réelles, comme la déforestation, l'expansion urbaine ou les inondations. Seules les valeurs dépassant le seuil sont considérées comme des changements réels. Ce seuil est basée sur l'analyse statistique ou l'expertise du domaine.

**-Classification des Changements**

La classification des changements vise à analyser et catégoriser les transformations détectées pour en comprendre la nature et l'impact. Cette étape permet d'interpréter les modifications spatiales en les attribuant à des processus spécifiques tels que l'augmentation ou la diminution de la végétation, l'urbanisation, la déforestation, ou encore des changements hydrologiques. Pour classer ces changements, des algorithmes de classification supervisés (Comme Random Forest ou SVM) ou non supervisés (comme K-Means ou ISODATA) sont utilisés. Ces méthodes permettent de distinguer les différents types de changements en fonction des caractéristiques spectrales et des contextes spatiaux des données, offrant ainsi une compréhension détaillée des dynamiques environnementales et territoriales.

**- Analyse Statistique**

Une fois les changements classifiés, une analyse statistique approfondie est réalisée.

- **Calcul des surfaces affectées :** Quantification de l'étendue des changements.
- **Tendances à long terme :** Identification des tendances sur des périodes prolongées.
- **Évaluation des impacts :** Étude des conséquences écologiques, économiques ou sociales.

### 1.5.2. Exemples de Cas d'Utilisation de la Détection des Changements

- **Déforestation :** Suivi des pertes forestières pour la conservation et la gestion durable.
- **Urbanisation :** Surveillance de l'expansion urbaine et de son impact sur l'environnement.
- **Dynamique des surfaces d'eau :** Gestion des ressources hydriques et prévention des inondations.

- **Catastrophes naturelles :** Évaluation des dommages causés par les inondations, incendies ou sécheresses.
- **Agriculture :** Optimisation des pratiques agricoles en suivant les cycles de culture.

### 1.5.3. Limites de la Détection des Changements

- **Qualité des images :** Les nuages et autres anomalies peuvent affecter la précision.

- **Résolution spatiale :** Les détails fins peuvent être manqués avec des images à faible résolution.

- **Incertitudes spectrales :** Des signatures similaires entre différentes classes peuvent entraîner des confusions.

- **Variabilité saisonnière :** Les changements saisonniers naturels doivent être distingués des changements anthropiques.

## 1.6. LULC ( Land Use and Land Cover)

Le paramètre **LULC (Land Use and Land Cover)** fait référence à la distinction entre la couverture terrestre et l'usage des terres. La **couverture terrestre** décrit les caractéristiques physiques de la surface, telles que les forêts, les zones humides, les plans d'eau, et les surfaces urbanisées, tandis que l'**usage des terres** reflète l'activité humaine liée à ces zones, comme l'agriculture, les zones résidentielles, industrielles, ou récréatives. Cette distinction est essentielle pour évaluer les dynamiques spatiales, l'occupation du territoire et l'impact des activités humaines sur l'environnement à diverses échelles géographiques et temporelles. Le suivi du LULC permet une gestion optimisée des ressources naturelles et une planification urbaine durable.

- **Méthodologie de calcul du LULC dans Google Earth Engine (GEE)**

Google Earth Engine (GEE) offre une plateforme puissante pour effectuer des analyses spatio-temporelles à grande échelle. La classification LULC repose principalement sur la classification supervisée ou non supervisée des images satellitaires. Plusieurs étapes a suivre pour calculer le LULC, elles sont comme suit :

— **Sélection des images satellites** : Utilisation de données issues de plateformes comme Landsat, Sentinel-2 ou MODIS, disponibles dans GEE. Ces images permettent d'obtenir des données multispectrales à différentes résolutions spatiales et temporelles.

— **Prétraitement des données**
- **Correction atmosphérique** : Réduction des interférences causées par l'atmosphère pour améliorer la qualité spectrale des images.
- **Masquage des nuages et ombres** : Suppression des pixels affectés par les nuages ou les ombres à l'aide d'algorithmes de masquage automatique.

— **Sélection des bandes spectrales** : Choix des bandes pertinentes (infrarouge proche, rouge, vert, SWIR) pour effectuer la classification.

— **Création d'échantillons d'entraînement (classification supervisée)** : Les échantillons représentant les différentes classes de LULC (forêts, zones agricoles, urbaines, etc.) sont créés à partir de polygones ou de points.

— **Classification** : Application de modèles algorithmiques tels que :

- **Random Forest** : Un ensemble d'arbres de décision qui permet une classification robuste des différentes classes de couverture terrestre.
- **SVM (Support Vector Machine)** ou **CART (Classification and Regression Trees)** : Alternatives pour les classifications supervisées en fonction des spécificités des données.

— **Post-traitement** : Filtrage des erreurs, lissage des résultats et correction des incohérences.

➢ **Sources des images satellitaires pour le calcul du LULC**

Pour une analyse rigoureuse du LULC, différentes sources d'images satellitaires sont disponibles dans GEE, chacune ayant ses spécificités en termes de résolution spatiale, spectrale et temporelle :

**- Landsat (Landsat 5, 7, 8)** : Résolution spatiale de 30 mètres, avec des données remontant jusqu'aux années 1970, idéales pour l'analyse historique et la surveillance des changements à long terme.
**- Sentinel-2** : Résolution spatiale de 10 mètres, avec une récurrence tous les 5 jours. Sentinel-2 est particulièrement adaptée aux études à haute résolution pour des applications telles que l'agriculture, la gestion des forêts et l'urbanisme.
**- MODIS** : Résolution spatiale plus faible (250 à 1000 mètres), mais avec une fréquence de répétition quotidienne, ce qui en fait un choix idéal pour les analyses à grande échelle, telles que les dynamiques globales de couverture terrestre.
**- Copernicus Global Land Cover** : Cartes de couverture terrestre à une résolution de 100 mètres, basées sur des données Sentinel-2, fournissant des informations globales précises et régulièrement mises à jour.

➢ **Importance du calcul du LULC dans les différents domaines**

Le calcul et l'analyse du LULC sont cruciaux pour une gestion durable et une prise de décision éclairée dans divers secteurs :

—**Gestion environnementale et conservation de la biodiversité**

- **Suivi des écosystèmes naturels :** Le LULC permet de surveiller les modifications des habitats naturels, la déforestation et la fragmentation des forêts, impactant ainsi directement la biodiversité.
- **Gestion des aires protégées :** L'analyse des changements dans la couverture terrestre des zones protégées aide à évaluer l'efficacité des politiques de conservation.

— **Planification urbaine et développement durable**

- **Gestion de l'expansion urbaine :** Le suivi de l'étalement urbain permet de mieux planifier les infrastructures et de minimiser les impacts environnementaux associés à l'urbanisation.
- **Stratégies d'aménagement du territoire :** Le LULC fournit des informations essentielles pour identifier les zones à haut potentiel pour l'urbanisation ou la protection environnementale.

— **Agriculture et gestion des terres**

- **Évaluation des pratiques agricoles :** LULC permet de suivre l'évolution des terres agricoles et d'optimiser les pratiques de gestion des cultures.
- **Gestion des terres arables :** La surveillance des changements dans l'usage des terres permet d'anticiper les défis liés à la productivité agricole et aux besoins alimentaires mondiaux.

—**Gestion des ressources en eau**

- **Suivi des zones humides et plans d'eau :** Les analyses LULC permettent de détecter les variations de taille et de qualité des zones humides, des lacs et des rivières, essentiels à la gestion des ressources hydriques.

— **Changement climatique et modélisation environnementale**

- **Suivi des émissions de carbone :** L'analyse de la couverture forestière et des surfaces urbanisées aide à modéliser les émissions de gaz à effet de serre et leur impact sur le climat global.
- **Vulnérabilité aux catastrophes naturelles :** Le suivi des zones vulnérables, telles que les côtes, les zones sèches, et les forêts tropicales, est essentiel pour prévoir et atténuer les effets des changements climatiques.

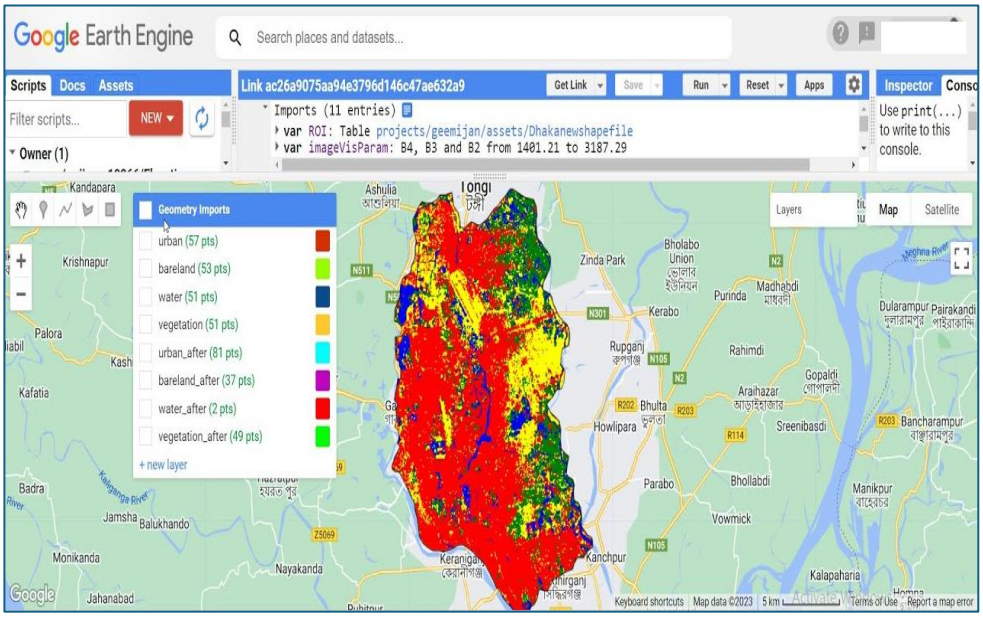



**Figure 91.** Calcul du LULC en GEE

## 1.7. L'indice de végétation NDVI

Le **NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index) est un indice utilisé pour évaluer la densité et la santé de la végétation en se basant sur les propriétés spectrales des plantes. Il mesure la différence entre la réflectance dans le **proche infrarouge (NIR)** et celle dans le **rouge (Red)**. Les plantes saines absorbent fortement la lumière rouge pour la photosynthèse et réfléchissent fortement la lumière infrarouge. Le NDVI est calculé à partir des bandes spectrales correspondantes aux longueurs d'onde NIR et Rouge.

**La Formule de calcul du NDVI est la suivante**

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

**Le NDVI varie entre -1 et 1 :**

- **Valeurs proches de 1** : Végétation dense et en bonne santé.
- **Valeurs proches de 0** : Sol nu ou zones urbaines.
- **Valeurs négatives** : Eau ou surfaces sans végétation.

### 1.7.1. Méthodologie de calcul du NDVI dans Google Earth Engine (GEE)

Dans **GEE**, le NDVI est calculé directement à partir des bandes spectrales des images satellites, telles que celles de **Landsat**, **Sentinel-2**, ou **MODIS**. Les étapes générales de calcul incluent la sélection des images, leur prétraitement (corriger les nuages et les ombres), et l'application de l'indice. Les étapes de calculs sont comme suit

- **Sélection des images satellites** : Comme pour le calcul du LULC, les images proviennent de sources telles que Landsat, Sentinel-2 ou MODIS.
- **Prétraitement des données** : Le prétraitement reste crucial pour éliminer les pixels impactés par les nuages ou les anomalies atmosphériques, via le masquage des nuages et la correction atmosphérique.
- **Calcul du NDVI** : Le NDVI est calculé en utilisant les bandes infrarouge proche et rouge des images. Cela est effectué avec la fonction Normalized Difference dans GEE, qui applique la formule du NDVI.

**Exemple de Code GEE pour le calcul du NDVI**

```
javascript
// Charger les images Landsat pour une période donnée
var landsat = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
.filterDate('2020-01-01', '2020-12-31')
.median()
.clip(geometry); // Région d'intérêt

// Calcul du NDVI
```

```
var ndvi = landsat.normalizedDifference(['B5', 'B4']).rename('NDVI');

// Visualiser le NDVI
Map.centerObject(geometry);
Map.addLayer(ndvi, {min: 0, max: 1, palette: ['brown', 'yellow',
'green']}, 'NDVI');
```

### 1.7.2.Sources des images satellitaires pour le calcul du NDVI

Les images satellitaires utilisées pour le calcul du NDVI proviennent des mêmes sources que celles employées pour l'analyse de l'occupation du sol (LULC). Les principales sources sont les suivantes :

- **Landsat :** Les satellites de la série Landsat (Landsat 5, 7, et 8) offrent des données historiques et actuelles avec une résolution spatiale de 30 mètres, ce qui les rend particulièrement adaptés pour le suivi des changements de végétation sur de longues périodes.
- **Sentinel-2 :** Ce programme de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) fournit des images haute résolution (10 mètres) avec des fréquences de revisite très courtes, idéales pour une surveillance plus détaillée et régulière de la végétation.
- **MODIS :** Le capteur MODIS, à bord des satellites Terra et Aqua, offre des données à plus basse résolution (250 mètres), mais avec une couverture globale quotidienne, permettant un suivi fréquent des changements de la végétation à grande échelle.

Ces sources fournissent des images multispectrales, permettant de calculer l'indice de végétation normalisé (NDVI) pour analyser la santé et la couverture de la végétation sur différentes périodes et à différentes échelles spatiales.

### 1.7.3.Importance du NDVI dans les différents domaines

Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) est un outil essentiel en télédétection, utilisé dans de nombreux domaines pour analyser et surveiller la végétation et ses dynamiques. Sa capacité à fournir des informations rapides et précises sur l'état et la densité de la végétation en fait un indicateur incontournable dans les études environnementales et agricoles. Le tableau ci-dessous illustre les principales applications et l'importance du NDVI dans différents secteurs :

**Tableau 5 :Domaine d'usage de l'INDVI**

| Domaine d'usage du NDVI | Importance |
|---|---|
| **Agriculture de précision** | **Suivi de la santé des cultures** : Le NDVI permet de détecter rapidement les stress liés aux cultures (maladies, manque d'eau, ou nutriments).<br>**Estimation du rendement agricole :** Grâce au suivi régulier de la croissance des plantes, il est possible d'anticiper les rendements des cultures et de mieux gérer les ressources. |

| | |
|---|---|
| **Gestion des ressources naturelles** | **Surveillance des forêts :** Le NDVI aide à suivre la santé des forêts et à détecter les dégradations dues à la déforestation ou aux incendies.<br>**Évaluation des zones humides :** Il permet de suivre les variations saisonnières de la végétation dans les zones humides. |
| **Changement climatique et suivi de la désertification** | **Désertification :** Le NDVI est un indicateur clé pour identifier les zones à risque de désertification ou de dégradation des sols, surtout dans les régions arides.<br>**Carbone et climat :** Les zones de végétation dense identifiées via le NDVI sont des puits de carbone importants, et leur suivi permet de modéliser les impacts climatiques. |
| **Gestion de la biodiversité :** | **Suivi des habitats :** Le NDVI permet d'identifier et de s<br>contribuant ainsi à la gestion de la biodiversité dans les par |
| **Surveillance des catastrophes naturelles** | **Sécheresse :** Une baisse significative du NDVI peut indiquer des épisodes de sécheresse, ce qui permet de mettre en place des mesures de gestion des crises.<br>**Incendies :** Le NDVI est utilisé pour évaluer l'impact des incendies sur les écosystèmes et déterminer la vitesse de la récupération végétale après un sinistre. |

La **Figure 92** ci-desous illustre une application du NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dans le contexte des surfaces agricoles. Elle met en évidence les variations spatiales de la végétation, représentées par une palette de couleurs où les zones en vert indiquent une végétation dense et saine, tandis que les teintes rouges signalent des zones de faible couverture végétale ou dégradées. Cette analyse permet d'identifier rapidement l'état des cultures et de détecter les anomalies, ce qui est essentiel pour la gestion agricole et la prise de décisions éclairées.

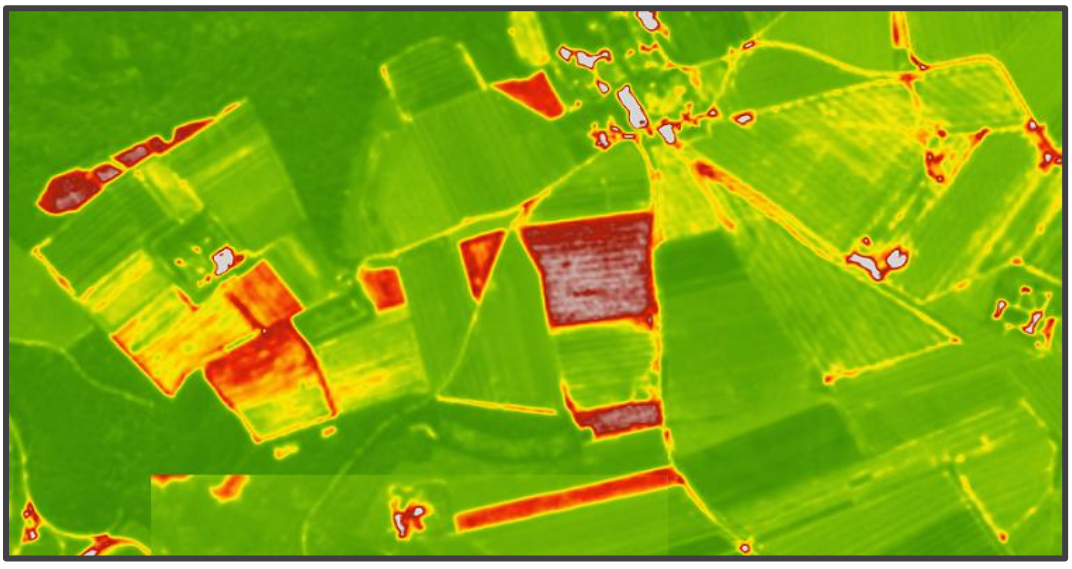


**Figure 92.** NDVI dans les surface Agricole.
Source : https://tropogo.com/blogs/drones-in-agriculture

## 1.8.Calcul de la température de surface LST

La **Land Surface Temperature (LST)** est un paramètre clé pour mesurer la température de la surface terrestre, obtenue à partir de capteurs satellites. Elle reflète la quantité d'énergie émise par la surface terrestre sous forme de rayonnement thermique. Le LST est influencé par plusieurs facteurs, notamment la couverture terrestre, l'ensoleillement, la saison et la présence d'humidité dans le sol ou la végétation. Le LST est largement utilisé pour analyser les variations de température à la surface de la Terre, ce qui est essentiel dans le suivi des phénomènes climatiques, la gestion de l'eau, l'urbanisation et l'agriculture.

### 1.8.1.Méthodologie de calcul du LST dans Google Earth Engine (GEE)

Le calcul de la **Land Surface Temperature (LST)** dans GEE repose sur l'utilisation de données infrarouges thermiques des capteurs embarqués sur les satellites comme **MODIS** ou **Landsat 8**. Ces satellites mesurent la température radiative de la surface terrestre, et des algorithmes spécifiques sont utilisés pour convertir cette mesure en LST en degrés Celsius ou Kelvin. Les Étapes de calcul du LST sont comme suit :

- **Sélection des images satellites** : Le LST est généralement calculé à partir des bandes thermiques capturées par des capteurs spécifiques comme MODIS (capteur TIR) ou Landsat 8 (bande thermique TIRS).
- **Prétraitement des données** : Correction des interférences atmosphériques et des effets de la surface pour une estimation plus précise de la température.
- **Conversion des bandes thermiques en LST** : Les bandes thermiques captées par les capteurs satellites sont converties en température de surface en utilisant des coefficients de calibration spécifiques.

**Exemple de Code GEE pour le calcul du LST**

```
javascript
// Charger les données MODIS pour la température de surface
var lst = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD11A2')
            .filterDate('2020-01-01', '2020-12-31')
            .select('LST_Day_1km')
            .mean()
            .multiply(0.02)  // Échelle MODIS pour convertir en Celsius
            .subtract(273.15); // Convertir de Kelvin à Celsius

// Visualiser le LST
var lstParams = {min: 15, max: 45, palette: ['blue', 'green', 'yellow',
'red']};
Map.centerObject(geometry);
Map.addLayer(lst, lstParams, 'Land Surface Temperature');
```

### 1.8.2.Sources des images satellitaires pour le calcul du LST

Le calcul de la Température de Surface Terrestre (LST) repose sur les données recueillies par des capteurs thermiques embarqués sur des satellites. Ces capteurs mesurent l'émission thermique à la surface de la Terre, permettant une analyse précise des variations thermiques à différentes échelles spatiales et temporelles. Les sources les plus couramment utilisées, notamment via la plateforme Google Earth Engine, incluent :

**-MODIS (MOD11A1 et MOD11A2) :** Ces produits fournissent des données thermiques à une résolution spatiale de 1 km. Le produit MOD11A1 offre des observations journalières, tandis que MOD11A2 propose des données moyennes sur 8 jours. Ces caractéristiques en font un outil idéal pour l'analyse des tendances thermiques à grande échelle, telles que les variations climatiques globales ou les phénomènes de chaleur continentale.

**-Landsat 8 (TIRS) :** Le capteur Thermal Infrared Sensor (TIRS) de Landsat 8 offre des données thermiques à une résolution plus fine de 100 mètres, bien adaptée aux études à petite échelle. Ces données sont particulièrement pertinentes pour les analyses détaillées en milieu urbain, la gestion agricole, ou encore le suivi des microclimats locaux.

Ces sources, avec leurs différentes résolutions et fréquences d'acquisition, permettent de répondre à une large gamme d'applications en lien avec la cartographie thermique et l'étude des interactions entre climat, environnement et activités humaines.

### 1.8.3.Importance du LST dans les différents domaines

Le LST est un indicateur important pour comprendre les processus thermiques à la surface de la Terre et leurs impacts sur divers secteurs. Voici quelques applications clés :

— **Changement climatique et environnement**

- **Suivi des anomalies thermiques** : Le LST permet de suivre les variations de température à la surface terrestre, ce qui est essentiel pour la compréhension des effets du changement climatique.
- **Analyse des îlots de chaleur urbains (UHI)** : Le LST est un outil clé pour identifier et analyser les îlots de chaleur en milieu urbain, un phénomène où les zones urbanisées sont significativement plus chaudes que les zones environnantes en raison des matériaux imperméables et du manque de végétation.

— **Gestion des ressources en eau**

- **Évapotranspiration et gestion de l'irrigation** : Le LST, combiné avec d'autres indices comme l'indice de végétation (NDVI), permet de calculer l'évapotranspiration des sols, un facteur crucial pour la gestion de l'irrigation dans l'agriculture.
- **Suivi des sécheresses** : Les températures de surface plus élevées sont souvent un indicateur précoce de sécheresse, permettant de mettre en place des mesures préventives pour la gestion des ressources hydriques.

—**Agriculture et gestion des terres**

- **Stress thermique des cultures** : Le LST permet d'identifier les zones où les cultures sont soumises à un stress thermique, permettant aux agriculteurs d'ajuster leurs pratiques d'irrigation ou de récolte.
- **Analyse de la couverture végétale** : Le LST est souvent utilisé en combinaison avec le NDVI pour évaluer la santé et la densité des cultures ou des forêts.

— **Surveillance des catastrophes naturelles**

- **Incendies de forêt** : Le LST permet de surveiller les zones touchées par les incendies de forêt en détectant les anomalies thermiques après les incendies.
- **Volcans actifs** : La détection de variations anormales de température à la surface des volcans peut servir de signal pour les éruptions imminentes.

— **Planification urbaine et santé publique**

- **Réduction des îlots de chaleur** : Le LST permet d'identifier les zones urbaines nécessitant des efforts d'aménagement comme l'ajout de végétation ou la conception de bâtiments pour minimiser l'effet d'îlots de chaleur.
- **Santé publique** : Des températures de surface excessives sont liées à des risques pour la santé, notamment pendant les vagues de chaleur, ce qui permet de mettre en place des alertes et des mesures de prévention.

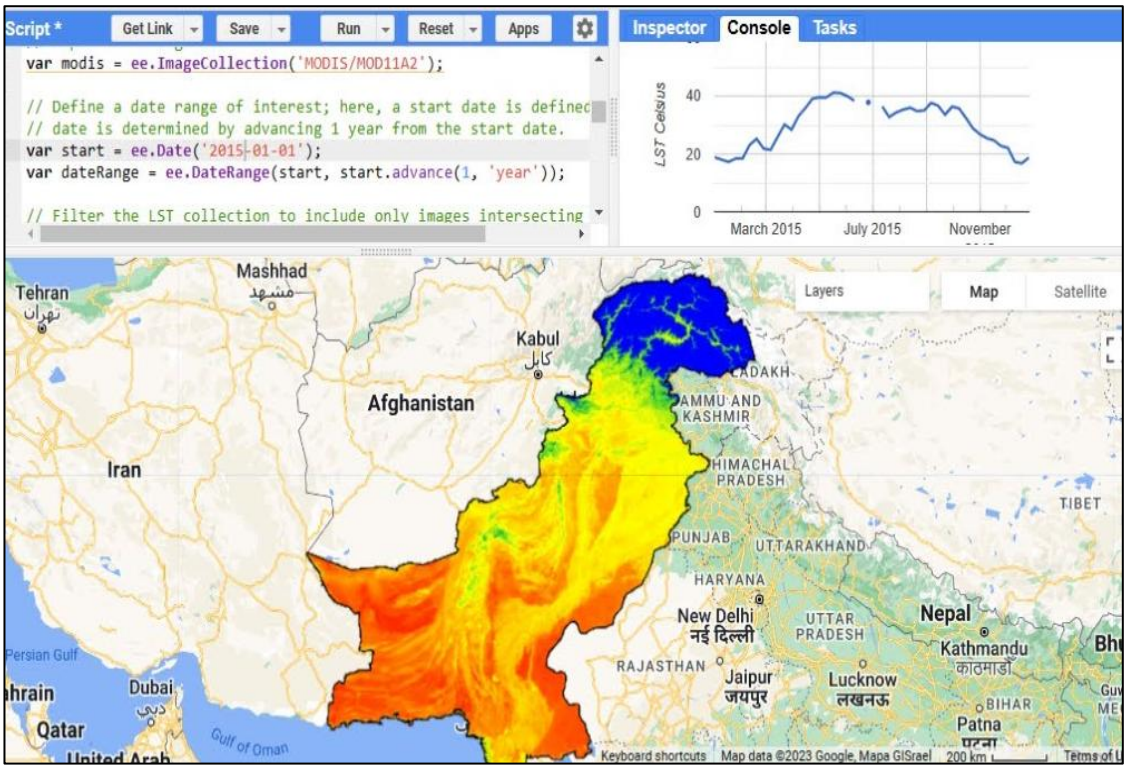



**Figure 93.** Exemple de calcul de la température de surface du LST.Source : https://media.licdn.com/dms/image/v2/D4D22AQEf0-0WtPkKVw/feedshare-shrink_800/feedshare-shrink_800/0/1716844189034?e=2147483647&v=beta&t=mncuzNPa_1hiEkwfHGfkH9OOv6pk5imdO8Ws-Hd2glY

## Conclusion

Ce chapitre a permis d'explorer en profondeur le rôle des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de la télédétection en tant qu'outils d'aide à la décision dans la gestion des ressources naturelles et la planification territoriale. La combinaison de ces technologies offre des perspectives novatrices pour une gestion plus intelligente, plus efficace et durable des territoires, en intégrant à la fois des données géospatiales précises et des modèles d'analyse robustes. Les SIG se révèlent être des outils puissants pour la collecte, la gestion et l'analyse des données géographiques, en permettant une représentation claire et intuitive des phénomènes spatiaux. En combinant des couches d'informations spatiales diverses, ces systèmes permettent une meilleure compréhension des dynamiques environnementales complexes et des interactions entre différents facteurs géographiques (Longley et al., 2015).

L'approche SIG offre ainsi une méthode précieuse pour la prise de décision stratégique dans divers secteurs, allant de l'urbanisme à la gestion des risques naturels en passant par l'agriculture de précision et la gestion des infrastructures. D'autre part, la télédétection permet une observation à distance de la Terre, à travers l'acquisition de données multi temporelles et multispectrales, facilitant ainsi le suivi des changements environnementaux à différentes échelles spatiales et temporelles. Grâce à l'évolution des capteurs satellitaires, la télédétection offre des données toujours plus précises, actualisées, et globales, indispensables pour l'analyse des tendances à long terme, telles que la déforestation, la désertification, ou encore les phénomènes d'îlots de chaleur urbains (Lillesand et al., 2015; European Space Agency [ESA], 2023).

Un apport important de ces technologies réside dans l'évaluation des structures vertes. En combinant les données SIG et la télédétection, il est possible de quantifier et d'analyser précisément ces structures vertes dans les zones urbaines ou suburbaines , de suivre leur évolution et leur état de santé, ainsi que d'évaluer leur contribution aux performances environnementales des villes. Ces technologies permettent de cartographier les espaces verts, de suivre leur fragmentation ou expansion, et d'analyser leur rôle dans l'atténuation des îlots de chaleur, la régulation des eaux pluviales, et la promotion de la biodiversité. L'utilisation du NDVI, par exemple, permet de mesurer la densité de la végétation et d'en évaluer la vitalité, contribuant ainsi à une gestion durable des infrastructures vertes et à une meilleure intégration de ces dernières dans les stratégies de développement urbain durable.

Ce chapitre a également montré que l'intégration des SIG et de la télédétection offre des synergies uniques, permettant de relier des données spatiales avec des informations temporelles, renforçant ainsi la capacité des chercheurs et des décideurs à anticiper et à gérer les évolutions des territoires de manière proactive. Cela s'applique particulièrement à la gestion des ressources naturelles, où les données collectées par télédétection peuvent être analysées dans un SIG pour cartographier et modéliser des scénarios d'exploitation durable (Campbell & Wynne, 2011).

En conclusion, l'usage combiné des SIG et de la télédétection, tel que présenté dans ce chapitre, constitue un atout majeur pour les chercheurs, les gestionnaires et les décideurs dans leur quête d'une gestion durable et résiliente des territoires. Ces technologies offrent non seulement une meilleure compréhension des dynamiques environnementales et socio-économiques, mais elles permettent également une prise de décision éclairée fondée sur des données factuelles et objectives. Dans un contexte de pressions croissantes sur les ressources

naturelles et d'urbanisation rapide, leur rôle est essentiel pour construire des stratégies de développement durable, tant à l'échelle locale que globale.

Le chapitre ouvre également des perspectives pour l'intégration future des technologies émergentes, comme l'intelligence artificielle et le machine Learning, dans l'analyse des données géospatiales. Ces outils peuvent encore améliorer la précision des analyses, renforcer la capacité prédictive des modèles, et ainsi contribuer à une meilleure gestion des ressources

# Chapitre 2
# Indicateurs d'Évaluation du Bien-être et de la Santé via les Structures Vertes : Cadre Méthodologique

# Introduction

Les structures vertes jouent un rôle fondamental dans les villes contemporaines en contribuant à l'amélioration de la qualité de vie des citadins. Ces espaces, intégrés aux environnements urbains denses, offrent des lieux de détente, de loisirs et de socialisation tout en atténuant les effets des îlots de chaleur urbains, en absorbant les polluants atmosphériques, et en offrant des habitats aux espèces animales locales. Au-delà de leurs bienfaits immédiats, les structures vertes répondent aux défis posés par l'urbanisation rapide et les pressions environnementales accrues, renforçant ainsi le bien-être et la santé des populations urbaines.

Dans ce contexte, la nécessité d'une évaluation précise et intégrée des espaces verts s'impose pour maximiser leurs bénéfices. Les indicateurs de performance, ou indices, sont des outils précieux qui permettent de mesurer et de comparer de manière rigoureuse l'efficacité des structures vertes dans diverses dimensions : écologique, sociale, économique, esthétique, et psychologique. Ils simplifient les données complexes en valeurs interprétables, facilitant ainsi la prise de décisions et le développement de politiques publiques ciblées.

L'objectif de ce chapitre est de présenter une méthodologie structurée et rigoureuse pour évaluer l'impact des structures vertes en termes de bien-être et de santé. Cette méthodologie repose sur des indices synthétiques, élaborés sur la base de recherches approfondies et validés par des experts. Les indices couvrent des dimensions essentielles, chacune déclinée en composants spécifiques qui sont pondérés et agrégés pour former un indice global représentatif. Ce cadre méthodologique vise à garantir la validité et la fiabilité des évaluations, tout en offrant des outils adaptés aux contextes variés de la ville d'Annaba.

Chaque dimension de l'évaluation, telle que la dimension spatiale, sociale, écologique, économique, esthétique, ou psychologique, est soutenue par des indices précis. Par exemple, l'accessibilité et la connectivité des espaces verts sont évaluées par des indices de connectivité et d'accessibilité, tandis que la dimension sociale aborde des indicateurs d'inclusion et de cohésion sociale. La dimension écologique quantifie la biodiversité, la qualité de l'air et la gestion des déchets, tandis que l'aspect économique mesure l'impact des espaces verts sur la valeur foncière et les opportunités d'emploi. La dimension psychologique, quant à elle, analyse l'effet des structures vertes sur le bien-être et la réduction du stress.

L'application de ces indices permet de produire des données comparatives et puissantes, essentielles pour orienter les stratégies de gestion urbaine et pour sensibiliser la population aux avantages des espaces verts. En fournissant une base objective et quantitative, cette méthodologie contribue à éclairer les décisions publiques en matière de développement urbain durable, à prioriser les investissements, et à améliorer la planification des espaces verts. En intégrant ces indices dans les pratiques de gestion urbaine, les décideurs disposent d'outils pour renforcer la résilience et la durabilité des villes. Ce chapitre s'inscrit ainsi dans une démarche de valorisation des structures vertes en tant que composantes essentielles de la construction de villes résilientes, durables et vivables, en soulignant leur importance pour la santé et le bien-être des citoyens. L'approche méthodologique développée dans ce chapitre se veut une contribution scientifique et opérationnelle pour une meilleure intégration des structures vertes dans les politiques de développement urbain.

## 2.1. Cadre Conceptuel et Hypothèses

L'évaluation méthodologique du bien-être et de la santé pour une performance environnementale dans le contexte de la structure verte repose sur un cadre conceptuel rigoureux. Cette section définit les concepts clés, présente le cadre théorique qui guide la recherche, formule les hypothèses à tester et éclaire la méthodologie et le processus à suivre.

### 2.1.1. Réflexion sur le Bien-être et la santé

Le bien-être est une notion déterminante pour l'individu, intégrant la santé mentale et sociale. La santé est ainsi perçue dans sa globalité et est associée à la notion de bien-être. L'OMS a réuni un groupe d'experts en 2012 pour examiner et émettre des recommandations sur les différentes définitions du bien-être (OMS, 2012). Le bien-être, qu'il soit physique ou psychique, peut être défini comme un état agréable, mais transitoire, résultant de la satisfaction des besoins corporels et de la tranquillité d'esprit, partiellement libéré du stress ambiant. L'antonyme de bien-être est le « mal-être »[98].

Le bien-être est porteur d'une demande sociale et d'une utilité publique. Il est difficile à définir ou à mesurer, car il s'inscrit dans un contexte social, politique, économique et géographique, et affecte l'ensemble de notre vie quotidienne ( Forsé, 2014). Des concepts synonymes du bien-être incluent la satisfaction des besoins, l'épanouissement et le confort (Moktari, F. , 2017). Le bien-être est multidimensionnel, englobant les aspects physiques, mentaux et sociaux de la vie d'un individu. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), la santé est définie comme un état de complet bien-être physique, mental et social, et pas seulement l'absence de maladie ou d'infirmité[99]. Cette définition implique que la santé doit être considérée dans un cadre qui inclut des facteurs biologiques, psychologiques et sociaux. Le bien-être inclut également des éléments de satisfaction de vie, d'accomplissement personnel et de qualité de vie globale (Diener .E., 2000). La présence d'espaces verts peut avoir un impact significatif, améliorant la santé mentale par la réduction du stress et de l'anxiété, et la santé physique en encourageant l'activité physique (Maas et al., 2006, Ulrich, 1984).

### 2.1.2. Les différents aspects et types du bien-être global

Le bien-être est une notion complexe, englobant la santé mentale et sociale de l'individu. Il est influencé par divers facteurs sociaux, politiques, économiques et géographiques, affectant l'ensemble de notre vie quotidienne. Des concepts tels que la satisfaction des besoins, l'épanouissement et le confort sont souvent associés au bien-être.

Le bien-être subjectif est étroitement lié à la satisfaction des besoins psychologiques fondamentaux, notamment l'autonomie, la compétence et les relations interpersonnelles(LaGuardia,2000). Une classification courante du bien-être le divise en huit dimensions distinctes : physique, émotionnel, financier, social, environnemental, intellectuel, spirituel et loisirs. Chacune de ces catégories représente un aspect essentiel du bien-être global d'un individu. Cette approche globale permet de mieux comprendre et évaluer les différents domaines contribuant à la qualité de vie (Lafaye,2007). Il est important de noter que la mesure

[98] Dictionnaire médical. https://www.dictionnaire-medical.fr/definitions/027-bien-etre

[99] HAS , https://www.has-sante.fr/jcms/c_2835466/fr/presentation-generale-rbpp-sante-mineurs-jeunes-majeurs.

du bien-être reste un défi en raison de sa nature subjective et multidimensionnelle. Les perceptions individuelles du bien-être peuvent varier considérablement en fonction des contextes culturels, des valeurs personnelles et des expériences de vie. Ainsi, une évaluation précise du bien-être nécessite une approche intégrative, tenant compte de ses multiples facettes et de leur interaction dynamique. Afin de mieux structurer l'analyse des différents aspects du bien-être global, nous présentons ci-dessous un tableau synthétique récapitulant les principales dimensions du bien-être, leurs définitions et les références associées(**Tableau 6).** Cette classification permet d'illustrer la diversité des facteurs influençant la qualité de vie et met en évidence l'importance d'une approche multidimensionnelle pour une évaluation complète du bien-être individuel et collectif.

**Tableau 6 :**Types de Bien être

| **Type de bien-être** | **Définition** | **Auteurs** |
|---|---|---|
| Physique | Concerne la santé corporelle, l'exercice régulier, l'alimentation équilibrée et l'accès aux soins médicaux. | Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 1946 |
| Émotionnel | Relatif à la santé mentale et émotionnelle, incluant la gestion du stress, la résilience émotionnelle et la satisfaction personnelle. | Ryff & Keyes, 1995 |
| Financier | Lié à la gestion des ressources financières, la sécurité économique et la capacité à satisfaire ses besoins financiers. | Lusardi & Mitchell, 2014 |
| Social | Réfère à la qualité des relations interpersonnelles et au soutien social, incluant les relations familiales et communautaires. | Holt-Lunstad, Smith, & Layton, 2010 |
| Loisirs | Capacité à se détendre et à s'amuser à travers des activités récréatives, réduisant le stress et améliorant l'humeur. | Pressman et al., 2009 |
| Spirituel | Concerne le sens et le but de la vie, les croyances et valeurs personnelles, et leur influence sur le bien-être émotionnel. | Lamanque & Daneault, 2006 ; Koenig, 2012 |
| Intellectuel | Se réfère à l'engagement dans des activités intellectuelles et créatives, stimulant la réflexion et l'apprentissage continu. | Huret & Souhelete, 2013 |

Le bien-être est une notion multidimensionnelle qui inclut des aspects physiques, émotionnels, financiers, sociaux, de loisirs, spirituels, intellectuels et environnementaux. Chacune de ces dimensions est interconnectée et contribue à la santé globale et à la qualité de vie d'un individu. Pour promouvoir un bien-être durable et inclusif, il est essentiel d'adopter une approche globale et contextuelle, tenant compte des diverses influences et interdépendances entre ces dimensions (Diener et al., 2003 ; Marmot et Wilkinson, 2006).

### 2.1.3.Les liens entre santé et bien-être

La définition de la santé par l'OMS ne doit pas être utilisée pour signifier que la santé et le bien-être sont synonymes, mais plutôt pour indiquer que la santé – notamment ses aspects physiques, mentaux et sociaux – importe pour se sentir bien. Il en sort une vue d'ensemble des relations entre santé et bien-être. Cependant, un arbre conceptuel permet d'illustrer les liens entre les concepts dans la **Figure 94** qui suit :

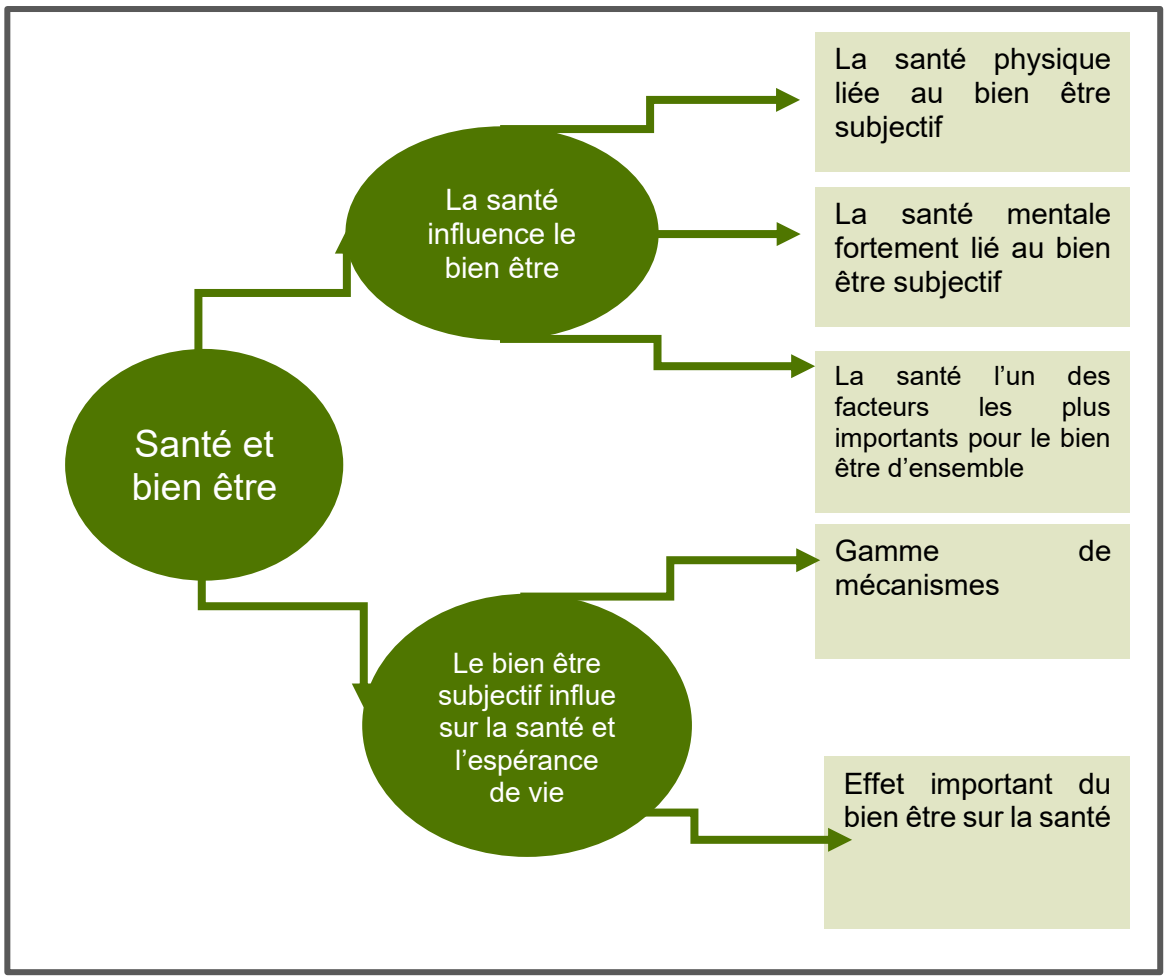



**Figure 94**.Les liens entre santé et bien-être, Conception Auteure 2023

## 2.2. Approches et mesure du bien être

### 2.2.1. Approches du Bien-être

La compréhension du bien-être repose sur plusieurs approches multidimensionnelles qui intègrent différents aspects de la vie humaine. Ces approches se concentrent sur les capacités individuelles et les opportunités offertes par la société et le territoire.

- **Approche par les « capacités »**

Le bien-être se définit par la capacité des individus à utiliser efficacement les ressources à leur disposition afin de réaliser leurs aspirations et objectifs personnels(**Figure 95**). Selon Amartya Sen, le bien-être ne réside pas uniquement dans la possession de ressources matérielles, mais dans la liberté qu'ont les individus de mener la vie qu'ils estiment précieuse.

Il souligne l'importance de permettre à chacun de développer ses capacités pour atteindre les modes de vie qu'il valorise (Sen, 1993). Le bien-être inclut la capacité d'agir, c'est-à-dire être en bonne santé, en sécurité, correctement logé, et avoir accès à une formation adéquate pour s'intégrer au marché du travail et à la société. Cette approche prend également en compte les aspirations et les accomplissements personnels, ainsi que les caractéristiques sociales, physiques et mentales de l'individu, influencées par les opportunités et contraintes du territoire.

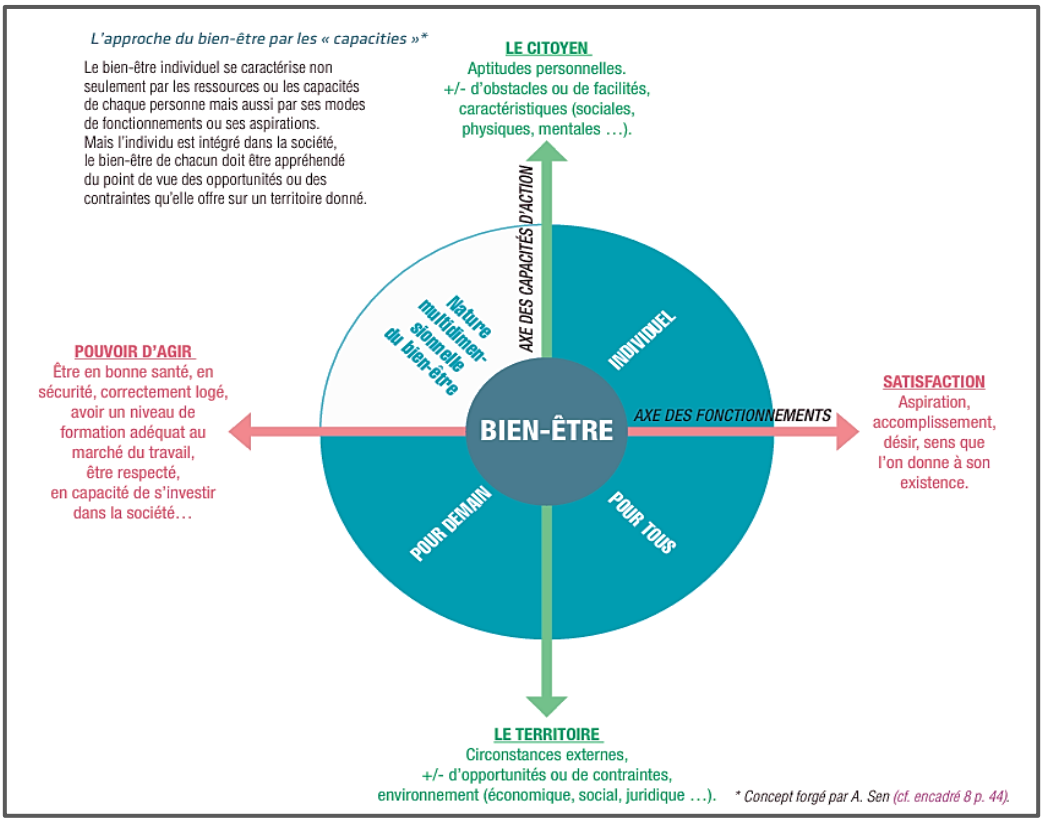



**Figure 95.** L'approche du bien être par les capacités. Source : AUDIAR (2016)

- **Approche globale**

Cette approche envisage le bien-être comme une interaction entre divers facteurs personnels, sociaux, économiques et environnementaux. Elle reconnaît l'importance des ressources matérielles et immatérielles, des relations sociales, de la santé physique et mentale, ainsi que des conditions de vie globales pour déterminer le bien-être d'une personne. Le bien-être est vu comme une combinaison complexe de satisfaction des besoins de base, de réalisation personnelle, et de sentiment de sécurité et de justice sociale (Forsé & Langlois, 2016).

### 2.2.2. Mesures du Bien-être

La mesure du bien-être est une tâche complexe qui nécessite une approche systématique et itérative pour évaluer les différents aspects du bien-être à la fois au niveau individuel et collectif. Pour mesurer le bien-être territorial, une démarche analytique progressive est proposée, suivant plusieurs étapes. Cette méthode commence par la définition des visées et des objectifs de la mesure, notamment pour alerter et guider les politiques publiques ou accompagner le changement (Stiglitz, Sen, & Fitoussi, 2009). Ensuite, il est essentiel d'identifier les parties prenantes à impliquer dans le processus afin de garantir une évaluation inclusive et représentative. L'identification des dimensions et des indicateurs est une étape

cruciale. Il s'agit de déterminer quelles dimensions du bien-être sont réellement importantes et comment elles peuvent être mesurées. Cela inclut l'évaluation des conditions de vie, de la santé, de l'éducation, de l'emploi, des relations sociales, de l'environnement et de la sécurité.

Les indicateurs doivent être à la fois objectifs, tels que les données quantitatives sur les conditions de vie, et subjectifs, comme les auto-évaluations de satisfaction et de bonheur .L'une des méthodes fréquemment utilisées consiste à employer des auto-évaluations globales de satisfaction, où les individus évaluent eux-mêmes leur niveau de bonheur. Cependant, cette approche présente certaines limites, car le bonheur est un état d'esprit subjectif qui ne peut pas être mesuré aussi objectivement que des éléments tels que la tension artérielle ou le poids (Diener, 1994). En psychologie positive, plusieurs instruments psychométriques permettent d'évaluer le bien-être et les dispositions favorisant le bonheur. Selon Lyubomirsky, Sheldon et Schkade (2005), le bien-être est influencé par un ensemble de facteurs incluant les dispositions personnelles, les circonstances de vie et les activités intentionnelles. Ces éléments sont mesurés à travers différentes échelles psychométriques qui évaluent des traits tels que l'optimisme, la gratitude et la propension au pardon. Ces dispositions positives jouent un rôle fondamental dans l'amélioration du bien-être subjectif et la construction d'un bonheur durable, soulignant ainsi l'importance des efforts individuels dans la quête du bonheur.

Sur la scène internationale, des directives et des initiatives globales ont été mises en place pour fournir une approche plus holistique. Par exemple, l'OCDE, à travers son initiative ***« Vivre mieux »***, s'appuie sur les recommandations du rapport Stiglitz-Sen-Fitoussi pour élaborer des lignes directrices visant à mesurer le bien-être subjectif. Ce rapport souligne l'importance d'inclure des indicateurs subjectifs dans l'évaluation du progrès social. La mise en œuvre de ces mesures requiert des tests et des évaluations afin d'adapter les indicateurs aux contextes spécifiques. Cette approche permet d'ajuster les politiques publiques et les interventions en fonction des résultats obtenus et des besoins identifiés (OCDE, 2013).

Les approches et mesures du bien-être nécessitent une vision intégrative qui prend en compte les capacités individuelles, les aspirations personnelles, et les contextes territoriaux. Les approches par les capacités offrent des cadres théoriques solides pour comprendre le bien-être, tandis que les démarches analytiques progressives et l'identification des dimensions et indicateurs permettent une évaluation pratique et adaptative du bien-être au niveau territorial. En combinant auto-évaluations, instruments psychométriques et directives internationales, il est possible de capturer une image complète du bien-être subjectif des individus. Ces méthodes combinées visent à créer des environnements qui favorisent un bien-être durable et inclusif pour tous les individus.

Dans la figure ci-dessous (**Figure 96**)un modèle multidimensionnel du bien-être territorial, qui vise à analyser et améliorer le bien-être des citoyens en tenant compte de leurs capacités individuelles et des conditions de leur environnement territorial. Ce modèle repose sur deux aspects principaux matérialisé par deux axes : l'axe des capacités d'action et l'axe des fonctionnements. L'axe des capacités d'action met l'accent sur les aptitudes personnelles des citoyens, en tenant compte des opportunités ou obstacles qu'ils rencontrent selon leurs caractéristiques sociales, physiques et mentales. Cela est directement lié à leur pouvoir d'agir, c'est-à-dire leur capacité à être en bonne santé, à être correctement logés, à recevoir une formation adéquate, et à s'investir dans la société. L'axe des fonctionnements, quant à lui, évalue la satisfaction individuelle, mesurant l'accomplissement personnel et le sens que chacun donne à son existence. Il permet d'identifier les dimensions du bien-être qui comptent vraiment et de définir comment ces dimensions peuvent être mesurées.

Le modèle prend également en compte le rôle du territoire, qui représente les circonstances externes (économiques, sociales, juridiques) influençant le bien-être, ainsi que l'importance d'impliquer les parties prenantes dans la démarche de construction du bien-être territorial. L'évaluation et l'adaptation de ce modèle permettent de guider les politiques publiques pour accompagner le changement et maximiser le bien-être de tous.

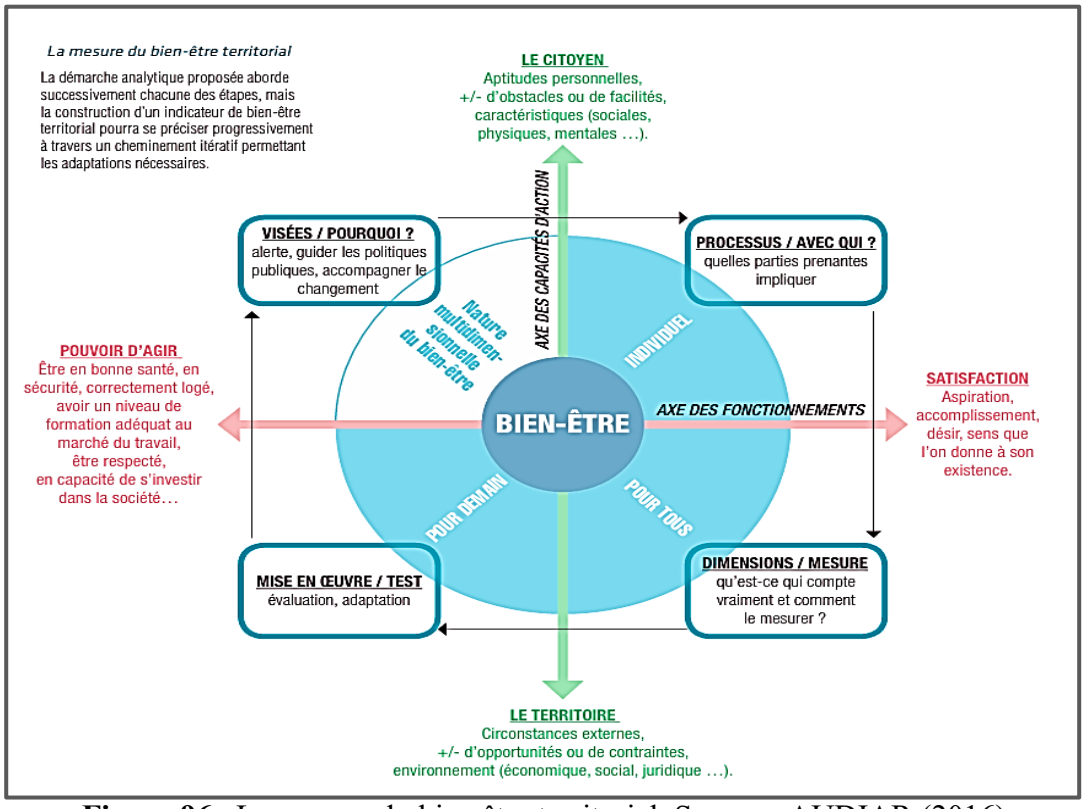



**Figure 96.** La mesure du bien être territorial. Source : AUDIAR (2016)

## 2.3. La structure verte une composante de l'environnement : son importance pour le bien être

La structure verte fait référence aux réseaux d'espaces verts, y compris les parcs, les jardins, les corridors verts, les toits verts, ..... Ces éléments sont essentiels pour améliorer la qualité de l'environnement urbain. Ils contribuent à la biodiversité, à la régulation climatique, à la purification de l'air, et offrent des espaces de récréation pour les populations urbaines et suburbaines (Benedict et McMahon, 2012 ; Tzoulas et al., 2007). La performance environnementale évalue comment les pratiques et les infrastructures influencent l'environnement, en se basant sur des indicateurs tels que la qualité de l'air, la gestion de l'eau et la conservation de la biodiversité. Ces indicateurs sont essentiels pour mesurer l'impact écologique des activités humaines et orienter les politiques vers un développement durable.

La performance environnementale englobe plusieurs aspects, notamment la lutte contre le changement climatique, la protection de l'atmosphère, la préservation de la biodiversité, des milieux et des ressources, ainsi que la promotion de modes de production et de consommation responsables. Par ailleurs, l'Indice de Performance Environnementale (IPE), élaboré par les universités de Yale et de Columbia, permet de mesurer et de comparer l'efficacité des politiques environnementales de différents pays. Cet indice prend en compte divers indicateurs, dont la

qualité de l'air, la gestion des ressources en eau et la biodiversité, offrant ainsi une évaluation globale de la performance environnementale (EPI,2024; Greenly,2023).

Les structures vertes améliorent le bien-être des résidents. Des études ont montré que l'accès aux espaces verts est associé à une meilleure santé mentale et à une réduction du stress (Ulrich, 1986 ; Ulrich, R. S., & al . 1991). La présence de structures vertes dans les zones urbaines et suburbaines améliore la santé physique des résidents. Une recherche indique que les espaces verts encouragent l'activité physique et réduisent les maladies chroniques (Pretty et al., 2005; Maas et al., 2006). Elles contribuent aussi à une meilleure performance environnementale des zones urbaines et suburbaines ,grâce au rôle important que jouent les espaces verts dans la régulation climatique, la purification de l'air, et la gestion des eaux pluviales (Gill et al., 2007; Nowak et al., 2006).

La présence et la densité des espaces verts en milieu urbain influencent significativement la perception de la qualité de vie et le bien-être des citadins. En plus d'améliorer l'environnement visuel et la satisfaction résidentielle, ces espaces jouent un rôle clé dans la régulation cognitive et émotionnelle. Selon Bonnefoy et Léger (2020), l'exposition à la nature favorise la récupération des capacités attentionnelles après un épisode de stress. Leur étude, réalisée auprès de 52 participants à l'aide du test ANT (Attention Network Test), a montré que différents types d'environnements – naturels, urbains ou silencieux – ont un impact distinct sur les mécanismes attentionnels, en particulier sur l'alerte, l'orientation et la gestion des conflits attentionnels.

Bien que certaines scènes naturelles puissent réduire la vigilance dans des tâches exigeantes, elles restent essentielles pour la détente mentale et la réduction du stress. Ainsi, les infrastructures vertes ne se limitent pas à un simple atout esthétique, mais constituent un élément fondamental pour la santé mentale et le bien-être en milieu urbain, soulignant l'importance de leur intégration dans l'aménagement des villes. Ces recherches fournissent un cadre structuré pour l'évaluation de l'impact des structures vertes sur le bien-être, la santé pour une performance environnementale des villes . La validation de ces recherches à travers des études empiriques permettra de quantifier l'importance des structures vertes pour les communautés urbaines et suburbaines et de guider les politiques de planification urbaine pour maximiser ces bénéfices.

### 2.3.1. la structure verte pour le bien-être et la sante :Cadre théorique

Le cadre théorique de cette recherche s'appuie sur des théories de l'écologie urbaine, de la psychologie environnementale, des sciences de la santé publique, et des approches écologiques intégrées. Les théories de la restauration de l'attention de Kaplan et Kaplan (1989) suggèrent que les environnements naturels peuvent aider à restaurer l'attention et à réduire le stress. En parallèle, la théorie des bénéfices écologiques postule que les espaces verts améliorent la qualité de l'air et réduisent les températures urbaines, contribuant ainsi à une meilleure santé publique. Ces théories sont étayées par des études empiriques montrant les effets positifs des espaces verts sur la santé mentale, l'activité physique et la cohésion sociale (Bell et al., 2008; Bowler et al., 2010).

Par ailleurs, Les approches écologiques intégrées mettent en évidence les interactions complexes entre les systèmes naturels et humains, soulignant l'importance de reconnecter le développement humain à la capacité de la biosphère à fournir des services écosystémiques essentiels (Folke et al., 2011). Les théories de la résilience écologique et de l'écologie urbaine offrent des cadres analytiques pertinents pour comprendre comment les infrastructures vertes peuvent renforcer la durabilité et la résilience des villes face aux changements

environnementaux et socio-économiques. Ahern (2011) propose de passer d'une approche "fail-safe" à une approche "safe-to-fail" dans la planification urbaine, en intégrant des stratégies telles que la multifonctionnalité, la redondance, la diversité biologique et sociale, ainsi que des réseaux multi-échelles et une planification adaptative pour accroître la résilience urbaine. Ces perspectives encouragent une gestion proactive et flexible des environnements urbains, capable de s'adapter aux perturbations et de transformer les défis en opportunités pour un développement urbain durable.

Les théories de la résilience écologique et de l'écologie urbaine offrent un cadre analytique robuste pour intégrer les infrastructures vertes dans les stratégies de planification urbaine, visant à améliorer la santé et le bien-être des résidents tout en renforçant la performance environnementale. Hansen et Pauleit (2014) soulignent que la multifonctionnalité des infrastructures vertes permet de fournir simultanément divers services écosystémiques, tels que la régulation climatique, la gestion des eaux pluviales et la promotion de la biodiversité, contribuant ainsi à la durabilité urbaine. De plus, Meerow et al. (2016) proposent une définition de la résilience urbaine qui met l'accent sur la capacité des systèmes urbains à absorber, s'adapter et se transformer face aux perturbations, en intégrant des solutions basées sur la nature pour renforcer cette résilience. Par ailleurs, Elmqvist et al. (2013) démontrent que l'intégration d'infrastructures vertes dans les zones urbaines soutient non seulement les services écosystémiques, mais améliore également la résilience des villes en augmentant leur capacité à faire face aux changements environnementaux et socio-économiques. Ainsi, l'adoption de ces approches écologiques intégrées dans la planification urbaine est essentielle pour promouvoir des environnements urbains sains, durables et résilients.

- **Objectifs et hypothèses au sujet de l'évaluation du bien-être et santé via les structures vertes**

Cette recherche propose plusieurs hypothèses clés, basées sur l'utilisation de structures vertes comme stratégie pour améliorer le bien-être et la santé en milieu urbain, en particulier face aux défis du changement climatique. A partir du questionnement suivant: **Comment la structure verte peut-elle contribuer à atténuer les problèmes de bien-être et de sante dans le contexte urbain et suburbain ,particulièrement face aux défis posés par le changement climatique ? Et par quels outils?**

L'objectif général de cette recherche est de fournir aux décideurs des outils concrets et scientifiques pour évaluer l'efficacité des structures vertes (SV) dans l'amélioration du bien-être et de la performance environnementale à Annaba. Ce travail vise à démontrer que les structures vertes ne sont pas de simples éléments décoratifs, mais des systèmes intégrés et essentiels pour la durabilité des villes, la santé publique et le bien-être des résidents. En ce sens, la recherche se décompose en plusieurs objectifs spécifiques.

- **Sensibiliser à l'Importance des Structures Vertes**
  Un des principaux objectifs est de sensibiliser les décideurs et les urbanistes à l'importance des structures vertes dans la planification urbaine. Les SV jouent un rôle clé dans l'amélioration de la performance environnementale des zones urbaines, notamment face aux défis du changement climatique. Elles influencent directement la qualité de vie en atténuant les impacts négatifs de l'urbanisation, tels que la pollution de l'air et les risques de santé associés. La mise en lumière de ces bénéfices vise à intégrer les SV dans les stratégies de développement urbain pour améliorer la qualité de vie des citoyens.

- **Développer un Outil Multidimensionnel pour l'Évaluation des Structures Vertes**
  Afin de mieux comprendre et mesurer l'impact des SV, la recherche propose le développement d'un outil multidimensionnel qui intègre diverses dimensions : sociales, psychologiques, spatiales et écologiques. Cet outil permettra une évaluation approfondie du rôle des structures vertes dans l'amélioration du bien-être des résidents. En appliquant cet outil dans plusieurs zones urbaines d'Annaba (centre-ville, périphérie et extensions), l'objectif est de révéler les différences d'impact des SV en fonction des caractéristiques urbaines et d'identifier les stratégies les plus efficaces pour renforcer ces infrastructures.

- **Proposer une Feuille de Route pour les Décideurs**
  La recherche propose également de développer une feuille de route claire pour guider les décideurs dans l'intégration des structures vertes dans les politiques de planification urbaine. Cette feuille de route doit inclure des stratégies basées sur des preuves empiriques et des études de cas réussies pour démontrer l'efficacité des SV dans divers contextes urbains. Elle fournira des directives pour maximiser les bénéfices des SV en matière de santé, de bien-être et de résilience urbaine face aux changements climatiques. Cette feuille de route intégrera aussi des recommandations pour la création, la gestion et l'entretien des espaces verts en faveur d'un développement urbain durable et résilient.

- **Établir des recommandations pour Améliorer les Espaces Verts**
  Enfin, cette recherche propose des recommandations concrètes visant à améliorer l'accessibilité, la sécurité et l'esthétique des espaces verts. Ces recommandations politiques auront pour but d'améliorer la qualité de vie des citadins en optimisant la conception et la gestion des espaces verts urbains. Les SV doivent être accessibles à tous les citoyens, bien intégrés dans le tissu urbain et conçus de manière à promouvoir des interactions sociales positives, tout en assurant la sécurité des usagers.

Cette étude a pour ambition donc d'offrir aux décideurs une approche complète et rigoureuse pour évaluer, optimiser et intégrer les structures vertes dans la planification urbaine, afin d'améliorer durablement le bien-être des résidents et la performance environnementale des villes comme Annaba.

**Pour les hypothèses** ,elles s'articulent autour de l'idée que les espaces verts urbains jouent un rôle central dans la santé et le bien-être des résidents. **La première hypothèse** postule que la qualité des structures vertes, notamment leur accessibilité, leur aménagement et leur intégration dans le tissu urbain, a un impact direct et mesurable sur la santé physique et mentale des citadins. Ainsi, des infrastructures bien entretenues et facilement accessibles contribueraient à une réduction du stress, à une augmentation de l'activité physique et à une amélioration générale du bien-être psychologique des usagers.

**La deuxième hypothèse** avance qu'il existe une corrélation positive entre la qualité des infrastructures vertes et la fréquence d'utilisation de leurs espaces. En d'autres termes, plus les infrastructures sont bien aménagées et sécurisées, plus les habitants sont enclins à fréquenter régulièrement ces espaces. Cette hypothèse souligne également que la satisfaction des usagers dépend largement de la qualité des aménagements, ce qui pourrait influencer des éléments tels que la cohésion sociale et les interactions au sein de la communauté.

Enfin**, la troisième hypothèse** stipule que les différentes zones urbaines (centre-ville, périphérie, extensions) présentent des niveaux variables de qualité des espaces verts, ce qui entraîne des impacts différents sur les populations locales. Les zones centrales, souvent mieux aménagées, auraient un effet plus bénéfique sur le bien-être des résidents par rapport aux zones périphériques, qui souffrent généralement de moins d'infrastructures et d'une moindre connectivité. Cette hypothèse invite à explorer l'idée que les disparités entre les zones urbaines peuvent engendrer des inégalités en matière de santé et de qualité de vie, soulignant ainsi la nécessité d'une planification urbaine équitable pour toutes les zones de la ville.

Ces hypothèses tentent de démontrer que les espaces verts urbains ou suburbains ne se limitent pas à une fonction esthétique, mais qu'ils sont des leviers essentiels pour améliorer la santé publique et le bien-être des résidents, en fonction de la qualité et de l'aménagement de ces infrastructures. Pour répondre aux hypothèses une méthodologie a été développée, elle s'inscrit dans une démarche multidimensionnelle et intégrée, visant à évaluer l'efficacité des structures vertes (SV) dans le contexte urbain de la ville d'Annaba. L'approche proposée combine des méthodes quantitatives et qualitatives, permettant de saisir de manière exhaustive les interactions entre les structures vertes et les diverses dimensions du bien-être urbain. Le caractère novateur et la robustesse de cette méthodologie résident dans sa capacité à intégrer des outils d'analyse multidisciplinaires tout en s'appuyant sur une revue critique des approches méthodologiques existantes.

### 2.3.2Evaluation du bien-être et santé :Par la définition de dimensions et d'indicateurs

#### a-les dimensions pour l'évaluation du bien-être et santé

Un cadre méthodologique multidimensionnel est élaboré afin de couvrir plusieurs dimensions très importantes : sociale, psychologique, spatiale, écologique, esthétique, et économique. Chaque dimension est déclinée en indicateurs spécifiques qui permettent d'évaluer en profondeur les impacts des structures vertes(**Figure 97**).

- **Dimension sociale :** L'objectif est de mesurer les effets des structures vertes sur la cohésion sociale, le sentiment d'appartenance communautaire, et le niveau d'interaction sociale. Les espaces verts sont souvent perçus comme des lieux de rencontre, facilitant les échanges entre les résidents et renforçant ainsi les liens communautaires (Peters et al., 2010).

- **Dimension psychologique :** Cette dimension se concentre sur l'évaluation des effets des espaces verts sur la santé mentale et la réduction du stress. L'exposition à des environnements naturels a montré des effets positifs sur la santé émotionnelle des habitants, notamment en réduisant les niveaux de cortisol, l'hormone du stress (Ulrich et al., 1991; Thompson, 2011).

- **Dimension spatiale :** Il s'agit d'analyser l'accessibilité des espaces verts, leur répartition dans les différentes zones urbaines (centre-ville, périphérie, extensions), et leur connectivité avec les infrastructures urbaines. Une bonne planification spatiale des espaces verts favorise un usage optimal et renforce leur impact sur le bien-être des résidents (Wolch, J. R. ,et al., (2014) ;Cohen, D. A.,& al (2012),.

- **Dimension écologique :** Cette dimension intègre des indicateurs environnementaux tels que la biodiversité, la qualité de l'air, et le confort thermique. Les structures vertes jouent un rôle crucial dans la résilience environnementale, en contribuant à la gestion des eaux pluviales et à la régulation du climat urbain (Gill et al., 2007; Dearborn & Kark, 2010).

- **Dimension esthétique :** L'aspect visuel des espaces verts influence fortement la perception des résidents. Les ambiances visuelles agréables sont essentielles pour améliorer l'humeur et réduire le stress. L'ajout d'éléments paysagers variés, d'œuvres artistiques et d'aménagements esthétiques renforce l'attractivité des espaces urbains.

- **Dimension économique :** Les espaces verts bien entretenus ont un impact positif sur la valeur foncière des propriétés environnantes. Ils attirent également des investissements et créent des emplois locaux, en stimulant l'économie par la création d'emplois liés à l'entretien et à la gestion des infrastructures vertes (Crompton, 2001; Anderson & West, 2006).

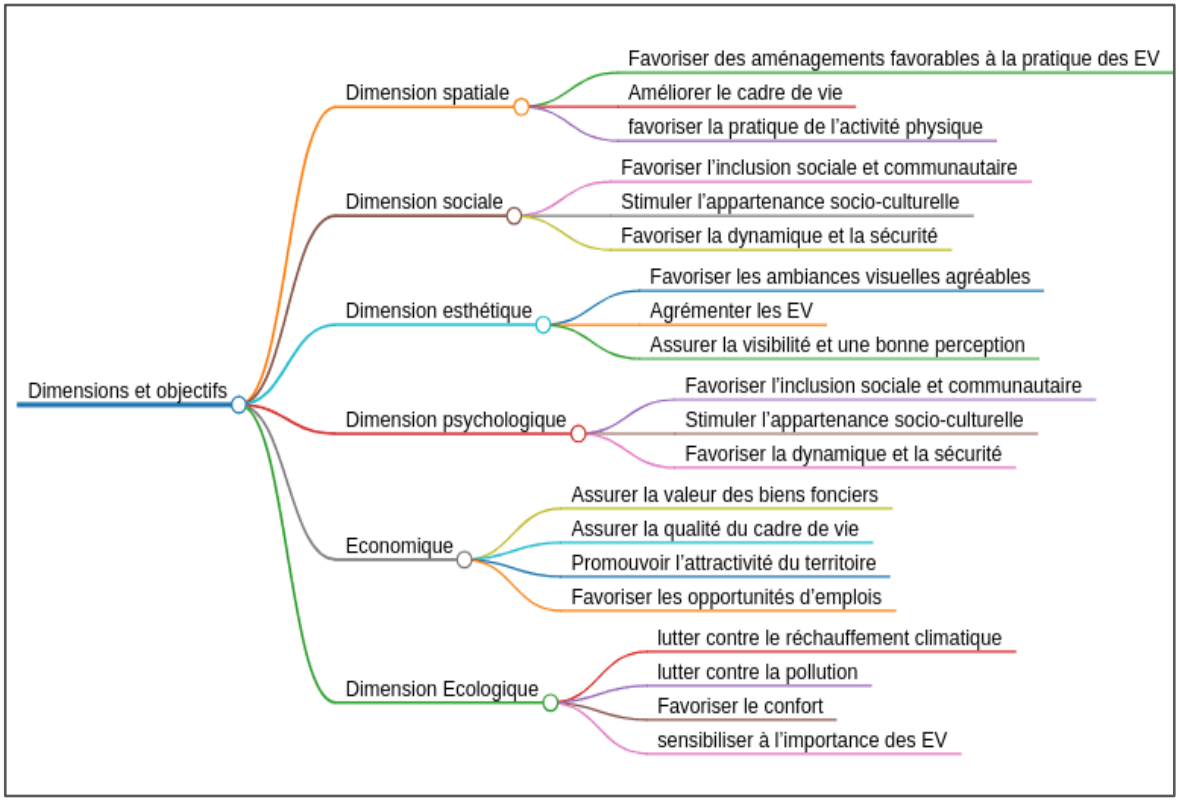



**Figure 97 .**Dimensions et objectifs. Conception auteure 2023

### b-La construction des Indicateurs pour l'Évaluation du Bien-Être et de la Santé

La construction d'indicateurs pour évaluer le bien-être et la santé repose sur un processus méthodique qui va du concept aux indices mesurables. Ce processus débute par une analyse conceptuelle, qui a permis déjà d'établir un modèle conceptuel clair et détaillé du bien-être et de la santé. Cette étape essentielle a permis de définir les différentes dimensions du concept, telles que le bien-être physique, mental, économique, social, esthétique et écologique. Une fois les dimensions identifiées, l'étape suivante consiste à sélectionner des variables spécifiques pour chaque dimension. Ces variables sont choisies en fonction de leur pertinence et de leur capacité à représenter fidèlement chaque aspect du bien-être. Ensuite, des mesures appropriées sont définies pour quantifier ces variables. Ces mesures peuvent inclure des échelles de satisfaction, des indicateurs de qualité de l'air, des taux de participation à des activités

physiques, etc., et doivent prendre en compte des aspects tels que l'échelle de mesure et la temporalité.

Les variables et mesures sélectionnées sont ensuite utilisées pour élaborer des indicateurs. Chaque indicateur représente un aspect précis du bien-être et permet de suivre son évolution de manière quantifiable. Pour intégrer les différents indicateurs en un indice global, une pondération est appliquée pour refléter l'importance relative de chaque dimension et variable. L'agrégation des indicateurs pondérés donne naissance à un indice global, offrant une vue d'ensemble cohérente et intégrée du bien-être et de la santé au sein de la population étudiée. La construction d'indicateurs pour évaluer le bien-être et la santé est un processus complexe qui requiert une compréhension profonde des concepts, une sélection rigoureuse des variables, des mesures précises, et une pondération judicieuse pour aboutir à des indices fiables et représentatifs.

**c-La construction des Indicateurs pour l'Évaluation du Bien-Être et de la Santé: L'intérêt d'une grille**

La construction des indicateurs pour l'évaluation du bien-être et de la santé à travers une grille d'évaluation des structures vertes (SV) est essentielle pour analyser leur efficacité de manière rigoureuse et multidimensionnelle. Cette grille permet de répondre aux questions clés telles que pourquoi mesurer, avec qui collaborer, par quels moyens, et comment procéder. Elle constitue une base méthodologique robuste pour évaluer divers aspects des SV, notamment la biodiversité, les services écosystémiques, la qualité de l'air et de l'eau, ainsi que les bénéfices sociaux tels que la santé publique et le bien-être.

La mise en place d'une grille d'évaluation des structures vertes urbaines est essentielle pour comparer différentes initiatives, identifier les meilleures pratiques et fournir des données comparables orientant les investissements futurs. En offrant des informations claires et objectives, cette grille facilite la communication entre les parties prenantes et les décideurs politiques, renforçant ainsi la cohérence des actions entreprises (Niemelä et al., 2010). Cette grille repose sur trois principes fondamentaux : répondre aux besoins des utilisateurs, garantir l'attractivité des espaces verts et assurer la durabilité environnementale. Les besoins des utilisateurs englobent l'accessibilité des espaces verts, leur utilisation récréative, ainsi que les bénéfices pour la santé mentale et physique des usagers (Kabisch & Haase, 2014). L'attractivité est mesurée par la fréquentation, la satisfaction des usagers et l'impact esthétique des lieux, contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité de vie et à la cohésion sociale (Chiesura, 2004). La durabilité environnementale se concentre sur la capacité des structures vertes à soutenir la biodiversité, atténuer les effets du changement climatique et gérer les eaux pluviales, garantissant leur contribution à la résilience urbaine à long terme.

L'évaluation des performances des structures vertes est indispensable pour mesurer leurs bénéfices écologiques, sociaux et économiques, tout en identifiant les points forts et les axes d'amélioration. Cette démarche collaborative implique divers acteurs, notamment les usagers, les experts en écologie, les urbanistes et les jardiniers. Des enquêtes auprès des usagers et des observations directes sont utilisées pour recueillir des données fiables sur l'utilisation et l'état des structures vertes . Le processus d'évaluation comprend plusieurs étapes : la collecte de données, l'analyse des données, la formulation de recommandations et la communication des résultats. La collecte de données repose sur des relevés sur le terrain et des questionnaires pour obtenir des informations précises sur l'état des structures vertes . Ces données sont ensuite analysées à l'aide de critères prédéfinis, incluant des indicateurs de biodiversité, de services écosystémiques et de satisfaction des usagers. Une analyse rigoureuse permet de formuler des recommandations concrètes visant à améliorer les structures vertes, répondre aux besoins des usagers et renforcer leur durabilité environnementale. L'utilisation d'une grille d'évaluation

structurée et d'un processus méthodique assure une analyse approfondie des structures vertes urbaines, optimisant leurs bénéfices pour les communautés et garantissant leur efficacité et leur pérennité.

### d-Valeur Ajoutée de la Grille d'évaluation de la structure verte

La grille d'évaluation des structures vertes représente une valeur ajoutée essentielle dans l'amélioration des espaces verts urbains. Elle permet d'optimiser la qualité d'usage en répondant aux besoins variés des usagers, tout en s'assurant que ces espaces restent fonctionnels, accessibles et conviviaux. En intégrant des critères d'évaluation tels que la convivialité et l'accessibilité, cette grille permet de créer des espaces verts inclusifs, adaptés à des groupes sociaux diversifiés comme les enfants, les personnes âgées, et les personnes à mobilité réduite.

Outre l'amélioration de l'usage, la grille favorise également l'attractivité et la rentabilité des espaces verts. En optimisant leur qualité, ces espaces deviennent plus attrayants pour les usagers et les investisseurs. Il est bien documenté que des espaces verts bien entretenus peuvent non seulement augmenter la valeur des propriétés environnantes, mais aussi attirer des commerces et des entreprises, contribuant ainsi à la dynamique économique locale (Crompton, 2001). De plus, des espaces verts de haute qualité peuvent devenir des destinations touristiques, apportant des revenus supplémentaires à la communauté locale .

La grille joue également un rôle important dans le renforcement de l'identité des lieux en mettant en valeur leurs spécificités locales tout en améliorant l'environnement global. Par exemple, en intégrant des éléments naturels locaux tels que la flore et la faune indigènes, les espaces verts deviennent des habitats pour la biodiversité urbaine tout en reflétant l'identité locale . Les solutions écologiques comme les jardins de pluie ou les toitures végétalisées contribuent à la gestion durable de l'eau et à la réduction des îlots de chaleur, renforçant ainsi l'engagement environnemental et la résilience urbaine . Elle est ainsi un outil indispensable pour garantir que les structures vertes répondent aux attentes des usagers tout en étant durables et attractives. Elle offre une approche globale qui structure le processus de mesure et favorise l'amélioration continue des environnements urbains. Cette grille permet de créer des espaces verts qui non seulement améliorent la qualité de vie des habitants, mais qui contribuent également à la durabilité écologique et économique des villes .Ainsi, son utilisation est nécessaire pour un développement urbain durable, assurant que les bénéfices écologiques, sociaux et économiques des structures vertes soient maximisés. Par conséquent, elle joue un rôle clé dans la création de villes résilientes, attractives, et agréables à vivre pour tous les habitants (**Figure 99** ).

### e-La sélection des indicateurs de bien-être, de santé à travers les structures vertes

La sélection des indicateurs de bien-être et de santé via les structures vertes repose sur une série de critères méthodologiques essentiels, dont la pertinence, la fiabilité et la facilité de collecte des données. Les indicateurs doivent être non seulement en adéquation avec les objectifs de l'étude, mais également capables de refléter de manière précise les impacts directs et indirects des infrastructures vertes sur le bien-être des populations. Par exemple, des indicateurs comme la satisfaction de vie ou la qualité de l'air sont largement influencés par la présence et la gestion des espaces verts urbains (de Vries et al., 2003; Nowak et al., 2006). Ces éléments sont indispensables pour comprendre la relation entre les structures vertes et les bénéfices qu'elles apportent aux habitants.

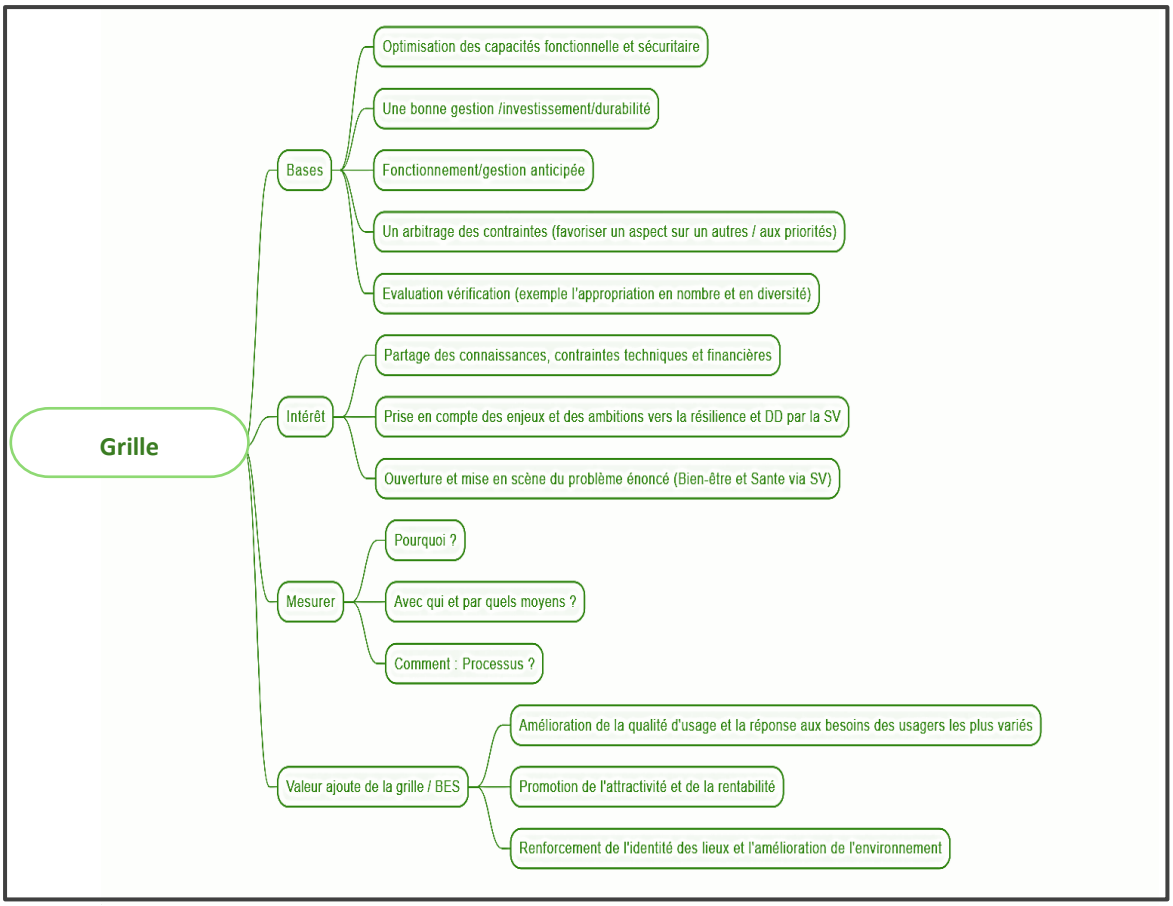



**Figure 99 .**la grille d'indicateurs : bases ,intérêts , et valeur ajoutée .Conception auteure 2023

La fiabilité des indicateurs est primordiale afin d'assurer la répétabilité des résultats et la comparabilité entre différents contextes. Ils doivent reposer sur des méthodes de collecte de données validées scientifiquement, garantissant ainsi une précision dans l'analyse. La facilité de collecte des données est également essentielle , car elle conditionne la faisabilité de l'étude. Il est nécessaire que les indicateurs puissent être mesurés de manière efficace avec les ressources disponibles, en utilisant des outils accessibles et rentables.

Les indicateurs de bien-être incluent des éléments tels que la satisfaction de vie, les niveaux de stress, et l'activité physique des résidents. Ces indicateurs sont essentiels pour fournir une évaluation précise des bénéfices psychologiques et de la qualité de vie associés à l'accès aux espaces verts. En parallèle, les indicateurs de santé — tels que la prévalence des maladies respiratoires, le taux de mortalité, ou encore l'espérance de vie — permettent de mesurer l'influence des infrastructures vertes sur la santé publique, en démontrant leur rôle dans l'amélioration des conditions sanitaires en milieu urbain. Enfin, les indicateurs environnementaux comme la qualité de l'air, la couverture végétale, et la température urbaine sont essentiels pour évaluer la capacité des espaces verts à réduire la pollution et à atténuer les îlots de chaleur urbains, éléments particulièrement pertinents dans un contexte de changement climatique.

La pertinence de ces indicateurs a été validée dans de nombreuses études. Par exemple, la satisfaction de vie et les niveaux de stress ont montré une forte corrélation avec l'accès aux espaces verts (Kaplan & Kaplan, 1989; Ulrich, 1984). De plus, la prévalence des maladies respiratoires est directement influencée par la qualité de l'air, elle-même impactée par la présence de végétation urbaine (Nowak et al., 2006). Ces indicateurs, largement utilisés dans des recherches antérieures, sont fiables pour évaluer la santé publique dans les villes. De même, les indicateurs environnementaux tels que la couverture végétale et la température urbaine ont prouvé leur pertinence et leur fiabilité dans l'analyse des effets climatiques des espaces verts sur les écosystèmes urbains (Gill et al., 2007).

La sélection des indicateurs se base donc sur leur capacité à refléter fidèlement les dimensions écologiques, sociales, économiques, et psychologiques des structures vertes. La pertinence et la fiabilité de ces indicateurs assurent qu'ils capturent efficacement les aspects cruciaux du bien-être urbain et de la performance environnementale. Par exemple, L'accessibilité et la connectivité des espaces verts sont des critères essentiels pour garantir leur utilisation optimale par la population . De plus, la qualité de l'air peut être mesurée avec des capteurs environnementaux renforçant ainsi la rigueur des analyses.

Ces indicateurs sont intégrés dans une approche systémique visant à évaluer de manière globale les effets des structures vertes sur le bien-être et la santé des résidents. Leur utilisation fournit une évaluation robuste et complète, essentielle pour informer les décisions politiques et orienter les stratégies de développement urbain durable. Cette approche permet aux décideurs d'adopter des politiques fondées sur des données empiriques solides, favorisant ainsi la résilience urbaine et l'amélioration de la qualité de vie.

Le processus méthodologique sous-jacent à la sélection des indicateurs comprend plusieurs étapes. Il commence par une analyse conceptuelle, suivie de la formulation d'un modèle conceptuel définissant les concepts clés. Ce modèle est ensuite décomposé en différentes dimensions pertinentes, chaque dimension étant associée à des variables spécifiques. Ces variables sont traduites en indicateurs mesurables à l'aide de méthodes adéquates, incluant des échelles et des temporalités précises. Les données obtenues sont ensuite pondérées et agrégées pour former un indice composite, offrant ainsi une évaluation synthétique et quantifiable du concept initial. Cette méthodologie garantit que l'analyse soit cohérente et rigoureuse, facilitant ainsi la prise de décisions basée sur des résultats concrets(**Figure 100**).

La sélection des indicateurs pour évaluer le bien-être, la santé et les performances des structures vertes repose sur des critères méthodologiques rigoureux. Ces indicateurs doivent non seulement être pertinents pour les objectifs de l'étude, mais aussi refléter de manière précise les impacts des espaces verts sur les différentes dimensions du bien-être et de la qualité de vie des résidents. Les indicateurs doivent être fiables, reposant sur des méthodes validées scientifiquement, et faciles à collecter, permettant ainsi une évaluation continue et une comparabilité des résultats à travers divers contextes urbains.

**-Indicateurs pour la Dimension Spatiale:** Cette dimension concerne l'accessibilité, la connectivité, l'utilisation des espaces verts, la qualité de l'environnement physique et la sécurité. Ces éléments sont cruciaux pour garantir que les espaces verts sont bien intégrés dans le tissu urbain et répondent aux besoins des utilisateurs.

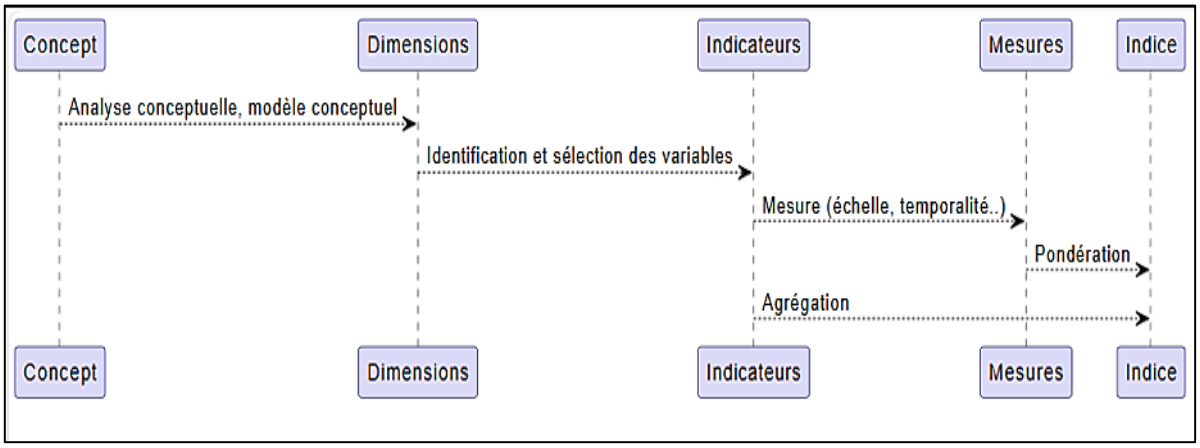



**Figure 100 .**Le processus méthodologique : Du concept aux indices.

Conception auteure 2023

- **Accessibilité :** La distance moyenne et maximale que les résidents doivent parcourir pour accéder aux espaces verts est un indicateur clé. Des infrastructures adaptées pour les personnes à mobilité réduite et la proximité de stationnements renforcent l'accessibilité pour une diversité d'utilisateurs.
- **Connectivité :** L'intégration des espaces verts au réseau de transport piétonnier et cyclable, ainsi que la continuité des sentiers à l'intérieur même des parcs, permet une meilleure connectivité, facilitant ainsi un accès sans voiture et des déplacements fluides entre différents espaces.
- **Usage de l'espace :** La densité d'utilisation des zones fonctionnelles (aires de jeux, zones de repos, etc.) et la variété des activités offertes, comme les terrains de sport ou les installations pour la détente, sont des indicateurs de l'attractivité et de l'adaptabilité des espaces verts aux besoins variés des usagers.
- **Qualité de l'environnement physique :** La qualité des aménagements paysagers, la maintenance des infrastructures (bancs, éclairage, signalisation) et l'absence de barrières physiques ou visuelles sont des éléments qui garantissent un environnement agréable et sécuritaire.
- **Sécurité :** La qualité de l'éclairage, la présence de mesures de sécurité (patrouilles, caméras de surveillance), et la perception de sécurité par les usagers mesurée par des sondages, sont des indicateurs cruciaux pour assurer que les espaces verts sont des lieux sûrs et confortables.

**-Indicateurs pour la Dimension Sociale:** La dimension sociale explore les bénéfices des structures vertes en matière de cohésion communautaire et d'inclusion sociale. Ces espaces jouent un rôle essentiel dans l'amélioration de la qualité de vie des résidents en facilitant les interactions sociales et en offrant des espaces pour des événements communautaires.

- **Inclusion sociale :** La participation aux activités communautaires, les programmes dédiés aux groupes marginalisés, et l'accessibilité des installations sont des indicateurs de l'effort pour inclure toutes les composantes de la population dans les activités des espaces verts.

- **Cohésion communautaire :** Le nombre d'initiatives bénévoles, la diversité des groupes fréquentant les espaces verts, et l'organisation de forums et réunions publiques indiquent le niveau d'implication des résidents et l'importance des espaces verts dans la création de liens sociaux.

- **Diversité des utilisateurs :** La diversité démographique des usagers, la représentation des différentes cultures dans les événements organisés, et la participation des groupes minoritaires ou sous-représentés sont des critères essentiels pour évaluer l'inclusivité des espaces verts.

**-Indicateurs pour la Dimension Écologique:** Les indicateurs écologiques visent à évaluer l'impact environnemental des structures vertes, leur contribution à la biodiversité, la qualité de l'air et de l'eau, la gestion des déchets et la réduction de l'empreinte carbone.

- **Biodiversité :** La perception de la diversité des plantes et animaux, l'évaluation esthétique et écologique, ainsi que la richesse des habitats naturels sont des éléments qui illustrent la contribution des espaces verts à la conservation de la biodiversité urbaine.
- **Qualité de l'air :** Les perceptions subjectives de la fraîcheur de l'air, l'évaluation de la clarté du ciel, et les bénéfices ressentis en lien avec l'air purifié sont des indicateurs de l'impact des espaces verts sur l'amélioration de la qualité de l'air.
- **Qualité de l'eau :** L'appréciation de la transparence et de la pureté des eaux présentes dans les parcs, ainsi que le sentiment de bien-être lié à la présence d'éléments aquatiques, mesurent l'impact positif des espaces verts sur les ressources en eau.
- **Gestion des déchets :** La perception esthétique de la propreté et l'engagement environnemental des usagers sont des critères qui illustrent la durabilité des pratiques de gestion des déchets dans les espaces verts.

**-Indicateurs pour la Dimension Économique:** Cette dimension évalue l'impact économique des espaces verts, notamment en termes de valeur foncière, création d'emplois, impact touristique et attractivité pour les investisseurs.

- **Valeur des biens fonciers :** La perception de l'augmentation de la valeur immobilière autour des espaces verts est un indicateur essentiel de l'impact économique direct de ces infrastructures.
- **Opportunités d'emplois :** La perception des emplois créés dans les secteurs de la gestion, de l'entretien et de l'animation des espaces verts est un critère clé pour évaluer leur contribution à l'économie locale.
- **Impact touristique :** L'augmentation de l'activité touristique et les retombées économiques liées aux événements organisés dans les parcs sont des indicateurs importants pour mesurer l'attractivité des espaces verts en tant que destinations prisées.

**-Indicateurs pour la Dimension Psychologique:** Les indicateurs de cette dimension mettent en lumière les bénéfices émotionnels et psychologiques des espaces verts, notamment en termes de bien-être mental, de réduction du stress et de connexion avec la nature.

- **Bien-être mental :** La satisfaction émotionnelle des usagers, l'amélioration de l'humeur après la visite des espaces verts, et la réduction du stress sont des indicateurs clés pour évaluer l'impact des espaces verts sur la santé mentale.

- **Connexion avec la nature :** La fréquence des observations de la faune et la flore, ainsi que le sentiment de connexion avec la nature, mesurent les effets bénéfiques des espaces verts sur la perception de bien-être des utilisateurs.

Les dimensions et Indicateurs Statistiques pour l'Évaluation du bien être par les structures vertes sont résumés dans le **tableau 7** suivant :

**Tableau 7. :** Dimensions et Indicateurs Statistiques pour l'Évaluation du bien être

| Dimensions | Indicateurs statistiques |
|---|---|
| **Spatiale** | • Accès et degré d'ouverture,<br>• Accès aux personnes à mobilité réduite,<br>• Disponibilité de stationnement,<br>• Les modalités de circulation douce,<br>• La densité des réseaux internes et externes,<br>• Les liaisons,<br>• Aménagement urbain : mobiliers urbains,<br>• Possibilités d'activités physiques,<br>• Maintenances et entretiens,<br>• Degré de fermeture et nombre de barrières,<br>• L'animation nocturne,<br>• Mobiliers urbains de sécurité, |
| **Sociale** | • La participation aux événements et activités communautaires,<br>• Programmation spécifique pour les personnes marginalisées ou défavorisées,<br>• Bénévolat et projets collaboratifs,<br>• Forums et réunions de collaboration,<br>• La convivialité et l'urbanité,<br>• Les échanges et les rencontres,<br>• La perception et le sentiment de sécurité,<br>• Taux de criminalités et d'incidents, |
| **Esthétique** | • Diversité des éléments esthétiques,<br>• La cohésion et la diversité,<br>• L'uniformité et la pertinence,<br>• La qualité visuelle et les vues panoramiques,<br>• La biodiversité,<br>• Mobiliers urbains de décoration, |

| | |
|---|---|
| | • Degré de complémentarité visuelle et fonctionnelle,<br>• Degré d'utilisation des matériaux locaux,<br>• Le degré d'authenticité,<br>• Harmonie en couleurs et en textures,<br>• Uniformité du design, |
| **Ecologique** | • Richesse et biodiversité,<br>• La fraîcheur et de la pureté de l'air,<br>• La visibilité,<br>• La limpidité et la transparence de l'eau,<br>• Connexion et harmonie,<br>• La gestion des déchets,<br>• L'entretien et la maintenance**,**<br>• La durabilité,<br>• L'engagement communautaire de sensibilisation, |
| **Economique** | • La valeur immobilière accrue des propriétés situées à proximité des espaces verts,<br>• L'attractivité,<br>• La valeur patrimoniale,<br>• La création d'emplois,<br>• L'impact économique positif des événements et des activités organisées,<br>• La gestion,<br>• La diversité d'usages,<br>• L'attractivité touristique,<br>• Partenariat public-public, public-privé, privé-privé, |
| **Psychologique** | • Bien être émotionnel,<br>• Taux de fréquentation,<br>• Les niveaux de satisfactions,<br>• Réduction de stress,<br>• Taux d'usages,<br>• Sentiment d'attachement,<br>• La connectivité,<br>• La sécurité,<br>• Le confort d'usage, |
| | |

## 2.4.Les Indices du Bien-Être pourquoi ?

L'utilisation des indices dans l'évaluation des structures vertes présente de nombreux avantages en matière de cohérence, de simplification des données, et de communication des résultats. Ces indices permettent d'agréger plusieurs dimensions en une seule mesure intégrée, offrant une vue d'ensemble des performances des espaces verts. Cette approche facilite la prise de décision en orientant les actions vers les aspects les plus critiques pour l'amélioration et la gestion durable des structures vertes.

- **Intégration et Cohérence**
  Les indices permettent d'intégrer de manière cohérente les dimensions spatiales, sociales, écologiques, économiques, esthétiques et psychologiques des structures vertes en une seule mesure synthétique. Cela fournit une vue d'ensemble claire des performances globales d'un projet ou d'un espace vert, facilitant ainsi la comparaison entre différents sites et initiatives . (Van Kamp, I., & al . 2003, Haq, S. M. A. ,2011)

- **Simplification des Données**
  L'une des principales fonctions des indices est de simplifier les données brutes et complexes en les transformant en valeurs compréhensibles. Les données multidimensionnelles sont synthétisées en indicateurs clairs, ce qui rend l'information plus accessible pour les décideurs, les gestionnaires, et même le grand public (Böhringer & Jochem, 2007). Cela favorise une meilleure appropriation des résultats par les parties prenantes.
- **Identification des Priorités**
  En fournissant une évaluation globale et synthétique, les indices permettent de repérer rapidement les points forts et les faiblesses des espaces verts, facilitant ainsi l'identification des priorités d'intervention. Cela aide à orienter les investissements vers les zones nécessitant le plus d'améliorations, optimisant l'efficacité des interventions (Nardo et al., 2005; Haase et al., 2014).

- **Suivi et Évaluation**
  Les indices offrent un cadre pour le suivi continu des performances des structures vertes. Ils permettent de mesurer l'impact des politiques et des interventions mises en place, et d'évaluer les progrès réalisés par rapport aux objectifs de durabilité et de bien-être (Kabisch & Haase, 2013). Ces outils fournissent des bases solides pour une évaluation longitudinale et comparative.
- **Communication et Sensibilisation**
  Les indices sont des outils de communication puissants qui permettent de rendre compte des performances des espaces verts de manière simple et compréhensible.
  Ils aident à sensibiliser les décideurs, les gestionnaires et le public à l'importance des structures vertes, tout en justifiant leur préservation et leur valorisation (United Nations, 2015).

### 2.4.1. Les Indices du Bien-Être : la Construction du Tableau de Bord pour une Évaluation Globale des Structures Vertes

Les indices sont des outils synthétiques permettant de mesurer et de comparer de manière intégrée et cohérente les performances des structures vertes. En agrégeant plusieurs indicateurs en une seule mesure, les indices facilitent l'évaluation globale de l'impact des

espaces verts sur des dimensions telles que la santé, le bien-être, l'écologie, et l'économie . Ces indices permettent de transformer des données complexes et multidimensionnelles en valeurs simples et compréhensibles. Cette simplification aide à identifier rapidement les points forts et les domaines nécessitant des améliorations, fournissant ainsi des informations exploitables pour les décideurs, les gestionnaires d'espaces verts, et les chercheurs (Kondo et al., 2018). Pour organiser ces données de manière pratique et exploitable, un tableau de bord est élaboré. Ce tableau regroupe plusieurs indices spécifiques qui permettent de mesurer la performance des espaces verts sur des aspects clés comme la connectivité, la cohésion sociale, et le bien-être des résidents. Il s'agit d'un outil décisionnel essentiel, offrant une visualisation claire des résultats pour permettre aux responsables urbains de prendre des décisions éclairées concernant la gestion et l'amélioration des structures vertes.

Dans le cadre de cette étude, plusieurs indices spécifiques ont été élaborés pour évaluer de manière rigoureuse et intégrée les performances des structures vertes en milieu urbain. Ces indices permettent de mesurer divers aspects tels que l'accessibilité, la sécurité, la biodiversité, la cohésion sociale, ainsi que les impacts économiques et esthétiques . En consolidant ces indices dans le tableau de bord, il devient possible de visualiser clairement les résultats et de formuler des recommandations pour améliorer la gestion des espaces verts.

**-Constitution des Indices Spécifiques**

La sélection des indices spécifiques repose sur une méthodologie rigoureuse fondée sur des critères empiriques et des meilleures pratiques internationales. Les indices retenus couvrent les dimensions écologiques, sociales, psychologiques, économiques et esthétiques des espaces verts, afin de fournir une évaluation multidimensionnelle et complète. Ces indices permettent d'évaluer l'impact des structures vertes sur le bien-être des populations et l'environnement urbain, tout en identifiant les axes d'amélioration pour une gestion durable.

- **Les Indices Spécifiques Utilisés**

Les indices suivants ont été utilisés pour évaluer les performances des espaces verts dans ce travail ,ils sont comme suit :

- **Indice de Connectivité et Accessibilité (ICA) :** mesure la capacité des espaces verts à être reliés entre eux et accessibles à la population environnante. Il prend en compte les réseaux de transport, les chemins piétonniers, et la proximité des espaces verts par rapport aux zones résidentielles et urbaines. Cet indice est essentiel pour évaluer l'intégration des espaces verts dans le tissu urbain et leur contribution à la connectivité écologique et sociale, garantissant un accès équitable pour tous les habitants.
- **Indice d'Utilisation et Qualité de l'Espace (IUQE) :** L'Indice d'Utilisation et Qualité de l'Espace (IUQE) évalue l'usage réel des espaces verts en fonction de leur aménagement, de leur diversité fonctionnelle, et de leur état général. Il prend en compte la présence de zones de loisirs, de détente, ou d'activités sportives, ainsi que la qualité des équipements et des infrastructures. Cet indice permet de déterminer dans quelle mesure les espaces verts répondent aux besoins de la population tout en maintenant leur rôle écologique.
- **Indice de Sécurité (IS) :** L'Indice de Sécurité (IS) analyse la perception et les conditions de sécurité dans les espaces verts. Il s'appuie sur des critères tels que l'éclairage, la visibilité, la présence de zones surveillées ou d'équipements de sécurité, et la prévention des risques naturels ou humains. Cet indice garantit que les espaces verts soient

accueillants et sécurisés pour tous les usagers, encourageant ainsi leur fréquentation et leur appropriation.

- **Indice d'Inclusion et Cohésion Sociale (IICS)** : Cet indice évalue la manière dont les espaces verts favorisent l'inclusion sociale et la participation communautaire. Il s'intéresse à l'accessibilité des lieux pour les personnes de tous horizons, notamment les groupes marginalisés, et mesure leur engagement dans les activités proposées. L'objectif est de créer des espaces verts qui renforcent le sentiment d'appartenance et promeuvent l'équité sociale.
- **Indice de Diversité et Interaction Sociale (IDIS) :** examine la diversité des profils démographiques des utilisateurs et la fréquence des interactions sociales dans les espaces verts. Cet indice souligne l'importance de ces lieux comme plateformes de rencontre et de dialogue entre différentes communautés. Une forte diversité et des interactions fréquentes indiquent que l'espace vert contribue efficacement à la cohésion communautaire et à l'intégration sociale.

- **Indice de Sécurité Perçue (ISP) :** L'Indice de Sécurité Perçue (ISP) recueille les impressions des utilisateurs concernant leur sentiment de sécurité dans les espaces verts. Cet indice repose sur des sondages et des enquêtes visant à identifier les éléments influençant ce ressenti, tels que la présence d'éclairage adéquat, des mesures de surveillance, ou encore la visibilité des zones. Une perception positive de la sécurité contribue à une fréquentation accrue et à l'utilisation régulière des espaces verts.

- **L'Indice de Biodiversité et Qualité de l'Air (IBQA**): examine l'impact des espaces verts sur la biodiversité et leur rôle dans l'amélioration de la qualité de l'air. Ce paramètre évalue la diversité des espèces végétales et animales présentes, ainsi que la capacité des espaces verts à capturer les polluants atmosphériques et à produire de l'oxygène. Cet indice souligne l'importance écologique des espaces verts dans la régulation du microclimat urbain et la promotion d'un environnement sain.

- **L'Indice de Qualité de l'Eau et Gestion des Déchets (IQEGD):** évalue la gestion durable des ressources hydriques et des déchets dans les espaces verts. Il prend en compte la qualité des plans d'eau, leur entretien, ainsi que les pratiques de gestion des déchets, notamment la présence de poubelles adaptées et de politiques de recyclage. Cet indice met en avant l'importance de maintenir des espaces propres et fonctionnels pour garantir un environnement sain et attrayant.

- **L'Indice d'Empreinte Carbone et Durabilité (IECD):** il évalue la contribution des espaces verts à l'atténuation des effets du changement climatique. Cet indice prend en compte la capacité des espaces verts à absorber le dioxyde de carbone, leur rôle dans la réduction des îlots de chaleur urbains, et les pratiques de gestion durable adoptées pour maximiser leur impact environnemental. En favorisant des plantations stratégiques et des pratiques respectueuses de l'environnement, cet indice reflète l'engagement des espaces verts dans une démarche écologique et durable.
- **Indice de Valeur Foncière et Opportunités d'Emploi (IVOE):il** examine l'influence des espaces verts sur la valeur des biens immobiliers environnants et leur contribution à la création d'emplois locaux. Les parcs et jardins améliorent non seulement l'attractivité des quartiers, augmentant la valeur foncière, mais génèrent également des opportunités d'emploi dans des secteurs tels que l'entretien des espaces verts, l'aménagement

paysager, et les services de loisirs. Cet indice souligne ainsi leur rôle socio-économique crucial dans les zones urbaines.

- **Indice d'Impact Touristique et Développement (IITD): il** met en évidence l'importance des espaces verts dans l'attractivité touristique et leur contribution au développement économique local. Cet indice évalue la capacité des espaces verts à accueillir des événements, à attirer des visiteurs, et à renforcer l'image de marque de la ville en tant que destination verte. Par l'organisation de manifestations culturelles, sportives ou éducatives, les espaces verts deviennent des catalyseurs pour le dynamisme économique local tout en offrant des bénéfices sociaux et environnementaux.

- **Indice d'Ambiance Visuelle et Agrément (IAVA): il** analyse la qualité esthétique globale des espaces verts en se concentrant sur la diversité et l'harmonie des éléments paysagers. Il inclut des critères tels que l'agencement des plantes, la présence d'éléments décoratifs, et la satisfaction visuelle des usagers. Cet indice contribue à évaluer l'attractivité visuelle des espaces verts et leur rôle dans l'amélioration du cadre de vie urbain.

- **Indice d'Intégration Paysagère et Harmonie Visuelle (IIPH):** L'IIPH évalue l'intégration des espaces verts dans leur environnement urbain. Il se penche sur l'équilibre entre les éléments naturels (végétation, plans d'eau) et artificiels (mobilier urbain, constructions). Cet indice met en lumière la capacité des espaces verts à s'inscrire harmonieusement dans le paysage urbain tout en renforçant l'identité visuelle de la ville.

- **Indice de Bien-être et Réduction du Stress (IBRS):** Le IBRS mesure les effets des espaces verts sur la santé mentale et le bien-être des utilisateurs. Il évalue des aspects tels que la tranquillité, l'évasion face au bruit urbain, et l'impact psychologique des espaces verts sur la réduction du stress. Cet indice illustre le rôle crucial des espaces verts dans la promotion de la santé publique et l'amélioration de la qualité de vie.
- **Indice de Connexion à la Nature et Sécurité Psychologique (ICNSP) :** Cet indice évalue la relation émotionnelle et psychologique que les utilisateurs développent avec les espaces verts. Il se concentre sur le sentiment d'apaisement, de bien-être, et de reconnexion à la nature qu'offrent ces environnements. En parallèle, il analyse la perception de sécurité psychologique dans ces espaces, en tenant compte de facteurs comme la tranquillité, l'absence de nuisances, et l'environnement visuellement rassurant.

- **Indice de Satisfaction Globale (ISG) :** Cet indice regroupe l'ensemble des perceptions et expériences des usagers des espaces verts pour évaluer leur satisfaction générale. Il inclut des critères tels que la fonctionnalité des infrastructures, la qualité esthétique des lieux, la propreté, la diversité des activités disponibles et le confort social ressenti dans ces espaces.

### ➢ Construction du Tableau de Bord

Le tableau de bord regroupe ces différents indices pour offrir une vue d'ensemble des performances des espaces verts. Il permet aux décideurs de visualiser facilement les résultats des évaluations, d'identifier les zones d'amélioration et de prendre des décisions éclairées pour optimiser la gestion des structures vertes.

**Tableau 8. :**Critères Synthétiques et Indices Spécifiques pour l'Évaluation

| Dimensions | Critères synthétiques | Indices spécifiques |
|---|---|---|
| **Spatiale** | -accessibilité<br>-connectivite<br>-usage de l'espace<br>-Qualité de l'Environnement Physique<br>-sécurité | -Indice de Connectivité et Accessibilité (ICA)<br>-Indice d'Utilisation et Qualité de l'Espace (IUQE)<br>-Indice de Sécurité (IS) |
| **Sociale** | -Inclusion sociale<br>-cohésion communautaire<br>-diversité des utilisateurs<br>-interaction sociale<br>-sécurité perçue | -Indice d'Inclusion et Cohésion Sociale (IICS)<br>-Indice de Diversité et Interaction Sociale (IDIS)<br>-Indice de Sécurité Perçue (ISP) |
| **Ecologique** | -biodiversité<br>-qualité de l'air<br>-qualité de l'eau<br>-Gestion des déchets<br>-empreinte carbone | -Indice de Biodiversité et Qualité de l'Air (IBQA)<br>-Indice de Qualité de l'Eau et Gestion des Déchets<br>-Indice d'Empreinte Carbone et Durabilité (IECD) |
| **Economique** | -Valeur des biens fonciers<br>-opportunités d'emplois<br>-Impact Touristique et Économique<br>-Investissement et Développement | - Indice de Valeur Foncière et Opportunités d'Emploi (IVOE)<br>-Indice d'Impact Touristique et Développement (IITD) |
| **Esthétique** | -ambiances visuelles<br>-agréments des espaces verts<br>-intégration paysagère<br>-harmonie visuelle | - Indice d'Ambiance Visuelle et Agrément (IAVA)<br>- Indice d'Intégration Paysagère et Harmonie Visuelle (IIPH) |
| **Psychologique** | -bien être mental<br>-réduction du stress<br>-connexion avec la nature<br>-satisfaction globale | - Indice de Bien-être et Réduction du Stress (IBRS)<br>-Indice de Connexion à la Nature et Sécurité Psychologique (ICNSP)<br>- Indice de Satisfaction Globale (ISG) |

### ➢ Notation et Valeurs des Indices

Une fois les indices définis, il est nécessaire de procéder à leur évaluation à travers une méthodologie à la fois quantitative et qualitative. Cette évaluation permet d'identifier les seuils d'impact des structures vertes sur la santé et le bien-être des usagers en utilisant une échelle de notation à cinq niveaux. L'objectif est de donner une valeur mesurable à chaque indice afin d'offrir une vue précise de l'influence des espaces verts.

- **Évaluation Qualitative et Quantitative**

Pour chaque indice, une unité de mesure qualitative et quantitative est attribuée. Ces unités de mesure sont référencées à une échelle nominale où la présence ou absence d'un critère est notée comme 1 ou 0. Ainsi, le poids de chaque indice est fixé à 01, conformément aux méthodologies recommandées dans diverses études (R. Talavera-Garcia, 2015 ; I. Erahimzadeh, 2016 ; A. Benzerara, 2019, 2022). Cette approche permet de traduire des éléments complexes, tels que la connectivité ou la biodiversité, en valeurs simples et comparables, facilitant ainsi l'interprétation des résultats.

- **Notation des Indices**

L'évaluation repose sur une notation à 5 niveaux qui suit une progression allant de très faible à très élevée. Chaque niveau de cette échelle correspond à un seuil de performance ou d'impact. Par exemple, un score faible pourrait indiquer une accessibilité limitée, tandis qu'un score élevé représenterait une accessibilité optimale, avec de nombreuses options pour les usagers (piétons, cyclistes, etc.). L'approche permet de graduer les performances des indices selon des critères prédéfinis et mesurables.

- **Visualisation des Résultats sous Forme de Radar**

Les résultats des scores obtenus pour chaque cas d'étude sont représentés sous la forme d'un diagramme radar intégrant tous les indices. Ce type de visualisation permet une lecture rapide et visuelle des points forts et des zones à améliorer dans la gestion et l'aménagement des structures vertes. En un coup d'œil, il devient possible d'identifier les dimensions où un espace vert excelle, comme l'inclusion sociale ou la biodiversité, et celles nécessitant des améliorations, telles que la connectivité ou la qualité des infrastructures.

- **Subjectivité et Références Normatives**

Bien que l'exercice de notation comporte une certaine subjectivité, il s'appuie sur des éléments concrets tels la mesure et le calcul. Cela assure un niveau de rigueur nécessaire à l'évaluation. Une fois les valeurs notées pour les indices spécifiques établies, elles sont comparées à des valeurs de référence provenant de ratios, de normes, de standards ou d'exemples similaires. La création de cet référentiel multi-source, issue des recherches bibliographiques, constitue une base essentielle pour garantir la validité des évaluations. Ce référentiel est conçu pour guider l'évaluation des structures vertes de manière cohérente et

fonctionnelle, tout en assurant une comparabilité entre différents projets et contextes urbains. La notation des indices est donc un processus indispensable qui permet d'objectiver l'impact des structures vertes sur le bien-être et la santé, tout en fournissant des bases solides pour l'amélioration continue des espaces verts .

### ➢ Application de l'Outil Multidimensionnel aux Cas d'Étude

L'application de l'outil multidimensionnel aux trois zones distinctes d'Annaba (centre-ville, périphérie, et extensions urbaines) permet de mieux comprendre les disparités spatiales dans la gestion et l'impact des espaces verts sur le bien-être des résidents. Cette approche enrichit l'analyse des politiques urbaines en prenant en compte non seulement la présence des espaces verts, mais aussi leur qualité, leur accessibilité, et leur capacité à répondre aux besoins des populations dans des contextes urbains variés.

- **Centre-ville :**Dans les zones urbaines à forte densité comme le centre-ville, l'accès aux espaces verts est souvent limité par la rareté de l'espace et la pression foncière. Toutefois, des études montrent que même de petits espaces verts, bien aménagés et stratégiquement situés, peuvent avoir un impact significatif sur le bien-être des résidents, en particulier en termes de réduction du stress et de fourniture d'espaces de loisirs (Tyrväinen et al., 2014). L'évaluation se concentre ici sur l'utilisation efficace de l'espace disponible pour maximiser l'impact des structures vertes, avec un accent particulier sur l'importance de la conception paysagère, de l'ombre, et de l'accès aux infrastructures de loisir. De plus, il est essentiel d'évaluer la connectivité entre les espaces verts existants et d'autres infrastructures urbaines, telles que les réseaux de transports publics et les équipements publics. Une bonne connectivité peut favoriser l'utilisation des espaces verts par un plus grand nombre de résidents, tout en réduisant l'impact des îlots de chaleur urbains et en améliorant la qualité de l'air .

- **Périphérie :**Les zones périphériques, souvent caractérisées par des espaces verts plus vastes mais moins bien entretenus, présentent des défis spécifiques. La distance par rapport aux zones résidentielles et la mauvaise qualité des infrastructures (chemins mal entretenus, manque d'équipements récréatifs) peuvent limiter l'utilisation de ces espaces verts.

Pourtant, ces zones ont un potentiel énorme pour améliorer le cadre de vie des résidents si elles sont mieux connectées aux centres urbains et correctement entretenues. Les initiatives de planification doivent se concentrer sur l'amélioration de la connectivité à ces espaces verts à travers des réseaux de transport doux, tels que des pistes cyclables et des chemins piétonniers (Kondo et al., 2018). De plus, l'étude vise à développer des recommandations pour une meilleure gestion écologique de ces espaces, afin de promouvoir la biodiversité et d'accroître leur attrait auprès des résidents locaux.

- **Extensions urbaines :**Les zones nouvellement développées offrent une opportunité unique d'intégrer des principes de durabilité dès la conception. Ici, les espaces verts peuvent être planifiés de manière à être non seulement accessibles, mais également multifonctionnels, en contribuant à la gestion des eaux pluviales, à la réduction des îlots de chaleur, et à la promotion de la biodiversité. Ces espaces doivent également répondre aux besoins récréatifs des résidents, tout en étant flexibles pour s'adapter aux futurs changements démographiques et climatiques.

Dans ce contexte, l'évaluation dans les extensions urbaines se concentre sur la création de modèles de planification durable qui intègrent de manière systématique les structures vertes dans le développement urbain. Cela inclut la mise en place de réseaux verts connectés qui permettent aux résidents de se déplacer facilement entre les espaces verts, tout en créant des corridors écologiques qui renforcent la résilience urbaine face aux impacts du changement climatique.

L'outil multidimensionnel appliqué aux trois zones permet non seulement de comprendre les disparités en termes de qualité et d'accessibilité des espaces verts, mais aussi de formuler des recommandations adaptées pour améliorer la gestion de ces infrastructures dans des contextes variés. Cela renforce l'idée que les espaces verts ne sont pas simplement des lieux de récréation, mais des infrastructures essentielles à la durabilité et à la résilience des villes, jouant un rôle clé dans la santé publique, la biodiversité, et l'adaptation climatique. Les espaces verts bien planifiés et bien entretenus dans ces différentes zones peuvent améliorer de manière significative le bien-être des résidents, tout en contribuant à une meilleure gestion urbaine durable et à une qualité de vie plus élevée.

### 2.4.2. Enquête Sociologique : Contribution à l'Évaluation via la Grille d'Indicateurs

L'évaluation des structures vertes, bien que robuste lorsqu'elle repose sur des indices environnementaux, économiques, et spatiaux, ne peut être pleinement exhaustive sans une dimension sociologique. En effet, les perceptions, comportements, et besoins des usagers jouent un rôle clé dans la compréhension de l'efficacité et de l'appropriation des espaces verts. On note que la manière dont les usagers perçoivent et utilisent ces espaces influence directement leur satisfaction et leur impact sur la qualité de vie. Une enquête sociologique complémentaire permet donc d'ajouter une couche qualitative essentielle à l'analyse quantitative des indicateurs, en capturant la dimension humaine des interactions avec les espaces verts. Cette enquête vise à recueillir les perceptions, les expériences et les attentes des usagers vis-à-vis des espaces verts, offrant ainsi une perspective comportementale et sociale qui permet de mieux comprendre comment ces infrastructures peuvent être améliorées pour répondre aux besoins des différentes catégories de la population (adolescents, personnes âgées, familles, etc.).

- **Objectifs de l'Enquête Sociologique**

L'enquête sociologique a plusieurs objectifs stratégiques qui s'inscrivent dans le cadre d'une évaluation globale des structures vertes :

- Comprendre les attentes et les perceptions des usagers des structures vertes : Les perceptions des usagers peuvent varier en fonction de facteurs socio-économiques et culturels. Celle-ci varient en fonction de l'accès aux infrastructures et des besoins communautaires. Il est important de recueillir ces perceptions pour améliorer la planification et la gestion des espaces verts.

- Identifier les besoins spécifiques des différentes catégories de population : Une enquête bien structurée permet d'identifier les besoins distincts des différentes catégories sociales, y compris les groupes vulnérables (enfants, personnes âgées, personnes à mobilité réduite). Ces besoins spécifiques doivent être intégrés dans la planification urbaine pour garantir l'équité d'accès et d'utilisation des espaces verts.

- Identifier les comportements d'utilisation et les préférences en matière d'aménagement : Différents groupes sociaux peuvent utiliser les espaces verts de manières variées. Les données comportementales recueillies permettent de mieux comprendre l'utilisation des infrastructures et d'ajuster les aménagements en fonction de ces besoins, renforçant ainsi l'efficacité des interventions.

- Mesurer la satisfaction des usagers vis-à-vis des infrastructures vertes existantes : Mesurer le niveau de satisfaction est essentiel pour évaluer l'efficacité des espaces verts actuels et comprendre comment ils répondent aux besoins des usagers ,car , il existe un

lien direct entre l'accès à des espaces verts de qualité et la satisfaction globale des résidents urbains.

- Recueillir des suggestions pour améliorer les espaces verts : En interrogeant directement les usagers, il est possible de recueillir des idées précieuses pour améliorer les infrastructures, notamment en termes de sécurité, d'accessibilité et de diversité des activités proposées.

- Évaluer l'impact perçu des espaces verts sur la santé et le bien-être des usagers : Plusieurs études montrent que la proximité des espaces verts améliore non seulement la santé physique (en encourageant l'activité physique), mais aussi la santé mentale (en offrant des lieux de détente et de relaxation). L'évaluation de cet impact perçu permet d'établir des recommandations basées sur des preuves empiriques.

- Détecter les barrières à l'utilisation des espaces verts et proposer des solutions pour les surmonter : L'identification des obstacles à l'utilisation des espaces verts (tels que la distance, la sécurité, ou l'absence d'équipements adaptés) est primordiale pour proposer des solutions ciblées.

### ➢ Méthodologie de l'Enquête Sociologique

- **Échantillonnage**

Pour garantir des résultats représentatifs, l'échantillonnage doit inclure une diversité démographique, incluant des résidents de différentes tranches d'âge, genres, et statuts socio-économiques. Une enquête bien structurée doit prendre en compte non seulement la diversité démographique, mais également la répartition géographique des participants pour évaluer l'impact des infrastructures vertes dans différents types de zones urbaines (centre-ville, périphérie, extensions urbaines). Cela permettra d'obtenir un panorama complet des besoins et des attentes.

- **Outils de Collecte de Données**

Les questionnaires structurés sont l'un des outils de collecte de données les plus courants pour les enquêtes sociologiques. Ils permettent de recueillir des données quantitatives, mais peuvent être enrichis par des questions ouvertes pour capturer des réponses qualitatives sur les perceptions et expériences des usagers. De plus, des entretiens semi-directifs peuvent être menés auprès d'un échantillon restreint pour obtenir des informations plus détaillées et nuancées sur les préférences des usagers, leurs suggestions d'amélioration et les obstacles rencontrés.

- **Analyse des Données**

Les données quantitatives recueillies à travers les questionnaires structurés seront traitées à l'aide de techniques statistiques (analyse descriptive, corrélations, régressions) pour identifier les tendances principales et les corrélations entre les variables démographiques et les perceptions des usagers. L'analyse qualitative des réponses ouvertes et des entretiens semi-directifs permettra de dégager des thèmes récurrents et des expériences spécifiques liées à l'utilisation des espaces verts. Comme l'explique Bryman (2016), la combinaison de méthodes qualitatives et quantitatives dans une enquête permet une analyse plus complète et une

triangulation des résultats. Elle permet de contextualiser les résultats quantitatifs et d'approfondir la compréhension des perceptions et des comportements[100] .

- **Résultats Attendus et Applications**

Les résultats de l'enquête sociologique compléteront les évaluations quantitatives et fourniront des informations précieuses pour :

- Améliorer la conception et la gestion des espaces verts en tenant compte des besoins et des attentes des usagers.
- Informer les politiques publiques pour promouvoir l'inclusion sociale et l'accessibilité des espaces verts.
- Évaluer l'efficacité des interventions visant à améliorer le bien-être et la santé des populations urbaines .

L'enquête sociologique complémentaire enrichit cette évaluation en apportant une perspective humaine et contextuelle, essentielle pour des politiques publiques efficaces et inclusives.

### 2.4.3.L'entretien avec les acteurs : une méthode essentielle pour l'étude des structures vertes

Dans le cadre de cette étude, l'entretien avec les acteurs constitue un outil essentiel pour compléter les données quantitatives et qualitatives recueillies auprès des usagers et des indicateurs d'évaluation des structures vertes. Les acteurs-clés incluent non seulement les responsables politiques et les gestionnaires d'espaces verts, mais également les urbanistes, les architectes paysagistes, les ONG locales, les associations de quartier et les experts en environnement. Le dialogue avec ces parties prenantes permet de recueillir des informations stratégiques sur les dynamiques de planification, de gestion, et de gouvernance des espaces verts en milieu urbain.

- **Objectifs des entretiens avec les acteurs :** Les entretiens ont plusieurs objectifs spécifiques :

- **Comprendre la planification et la gestion des espaces verts :** Les entretiens visent à obtenir des informations approfondies sur les politiques de planification urbaine et

sur les pratiques de gestion des espaces verts. Cela permet de mieux comprendre les objectifs, les contraintes et les défis rencontrés par les décideurs et les gestionnaires dans la création et l'entretien de ces infrastructures. La planification des espaces verts est souvent influencée par des considérations politiques, économiques, et sociales complexes, qu'il est essentiel de prendre en compte pour une analyse complète.

[100] Honorine Pegdwendé Sawadogo .L'approche qualitative et ses principales stratégies d'enquête https://scienceetbiencommun.pressbooks.pub/projetthese/chapter/methodes-qualitatives-de-recherche/

- **Évaluer les perceptions des gestionnaires et des urbanistes :** Tandis que les usagers expriment des attentes souvent centrées sur la qualité de vie et l'utilisation des espaces verts, les gestionnaires et les urbanistes ont une vision plus technique et à long terme des infrastructures vertes. Ces acteurs sont confrontés à des choix difficiles liés à la rentabilité, à la durabilité et à la satisfaction des besoins sociaux. Les entretiens avec ces acteurs permettent d'évaluer leur perception de la performance actuelle des espaces verts et leurs suggestions pour les améliorer.

- **Identifier les défis liés à l'entretien et à la durabilité :** La durabilité des espaces verts dépend en grande partie des ressources financières et humaines disponibles pour leur entretien. Les entretiens permettent d'identifier les obstacles à un entretien efficace (manque de budget, compétences techniques, etc.) et d'explorer des solutions potentielles, comme la collaboration public-privé ou la participation citoyenne dans la gestion des espaces verts. Pincetl et al. (2013) soulignent l'importance de la gouvernance collaborative pour assurer la durabilité des espaces verts urbains.

- **Explorer les synergies possibles entre les différents acteurs :** En réunissant les perceptions de différents acteurs, l'entretien peut révéler des synergies et des opportunités de collaboration. Par exemple, les associations locales peuvent participer à la gestion des espaces verts par des projets communautaires, tandis que les ONG peuvent apporter leur expertise en termes de biodiversité et de gestion environnementale. Cette approche a été mise en avant dans des travaux tels que ceux de Ernston et al. (2010), qui démontrent l'importance des réseaux d'acteurs pour renforcer la résilience des infrastructures vertes.

- **Détecter les obstacles institutionnels à la mise en œuvre des politiques environnementales :** Les entretiens permettent également de mettre en lumière les obstacles institutionnels, tels que les conflits entre différentes instances gouvernementales ou les limitations des cadres réglementaires, qui peuvent freiner la mise en œuvre de politiques efficaces en matière d'espaces verts. Une meilleure compréhension de ces obstacles peut aider à formuler des recommandations pour surmonter ces défis.

### ➢ Méthodologie des entretiens

Dans le cadre de cette étude, l'entretien avec les acteurs prend la forme d'une enquête en ligne visant à évaluer la connaissance du concept de structure verte parmi les professionnels impliqués dans la conception des projets d'urbanisme et d'aménagement, ainsi que leur niveau de considération dans la planification et la mise en œuvre de ces projets. Elle est structurée autour d'un questionnaire conçu pour capturer à la fois des informations quantitatives et qualitatives.

Ce questionnaire est diffusé via google Forms en ligne auprès d'un échantillon de professionnels du secteur de l'urbanisme et de l'aménagement, incluant des urbanistes, des architectes, des ingénieurs, des responsables de collectivités locales, ainsi que des ONG environnementales de différentes villes . Cette enquête est essentielle pour comprendre comment les concepts de durabilité, de résilience et de structures vertes sont intégrés dans les pratiques quotidiennes des acteurs-clés du secteur de l'aménagement urbain.

- **Objectifs de l'enquête en ligne auprès des acteurs**

L'enquête en ligne a pour objectifs spécifiques :

- Évaluer le niveau de compréhension du concept de structure verte : Cette enquête permet de recueillir des informations sur la manière dont les acteurs du secteur de l'urbanisme et de l'aménagement perçoivent et comprennent les structures vertes. Il est important de savoir si ces concepts sont maîtrisés, reconnus comme des éléments clés dans la planification urbaine, ou encore sous-évalués dans les pratiques actuelles.

- Mesurer l'intégration des structures vertes dans les projets : L'enquête explore dans quelle mesure les structures vertes sont prises en compte lors de la conception et la réalisation des projets d'urbanisme . Cette information permet de déterminer si les acteurs-clés de l'urbanisme considèrent les structures vertes comme un élément central dans la gestion des espaces publics et privés, ou si leur intégration est limitée par des obstacles techniques, financiers ou institutionnels.

- Identifier les freins et les opportunités : L'enquête permet d'identifier les obstacles rencontrés par les acteurs dans l'intégration des structures vertes (par exemple, des limitations budgétaires, des lacunes réglementaires ou un manque de sensibilisation). Elle cherche également à déterminer les opportunités et les leviers à actionner pour promouvoir l'intégration plus systématique de ces infrastructures écologiques dans les projets futurs.

- Évaluer la perception de l'importance des structures vertes pour la durabilité urbaine : L'enquête sonde les opinions des professionnels quant à l'importance des structures vertes pour la durabilité, la résilience climatique et la qualité de vie des habitants. Ces perceptions sont importantes pour guider les futures politiques de planification urbaine durable.

- A**nalyse des données de l'enquête en ligne**

Les réponses à l'enquête en ligne seront analysées à l'aide de techniques statistiques descriptives pour les questions fermées, permettant de dégager des tendances générales en matière de compréhension et d'intégration des structures vertes. Une analyse thématique sera réalisée pour les questions ouvertes afin de mieux comprendre les perceptions des acteurs, les freins identifiés, ainsi que les solutions envisagées pour une meilleure prise en compte des structures vertes dans les projets d'urbanisme et d'aménagement .

L'analyse des résultats permettra de trianguler les données issues de cette enquête avec celles des indicateurs quantitatifs liés à la performance des structures vertes et des retours des enquêtes sociologiques sur l'utilisation des espaces verts. En combinant ces différents angles, il sera possible d'obtenir une vision plus complète et nuancée de l'état de la connaissance des structures vertes et de leur intégration dans les projets d'urbanisme et d'aménagement.

- **Contribution des entretiens à l'évaluation globale**

Les résultats de cette enquête permettront de mieux comprendre l'écart entre les connaissances théoriques des acteurs et leur application pratique dans les projets d'aménagement. Ils permettront également d'identifier des leviers d'action pour améliorer la prise en compte des structures vertes dans la planification urbaine, ainsi que des recommandations pour renforcer la formation et la sensibilisation des professionnels sur ces

enjeux environnementaux. Ce travail sera utile aux décideurs publics et aux urbanistes pour ajuster leurs pratiques et politiques d'aménagement en intégrant plus systématiquement les structures vertes.

## Conclusion

Ce chapitre a développé un cadre méthodologique rigoureux et multidimensionnel permettant d'évaluer l'impact des structures vertes sur le bien-être et la santé des populations urbaines et suburbaines. En s'appuyant sur une grille d'indicateurs soigneusement sélectionnés, cette approche intègre la complexité des interactions entre les usagers et leur environnement tout en tenant compte des dynamiques sociales, écologiques et territoriales.

L'élaboration de cette méthodologie repose sur une démarche interdisciplinaire, mobilisant des concepts issus de l'urbanisme, de l'écologie, de la psychologie environnementale et de la santé publique. Cette convergence disciplinaire enrichit l'évaluation des structures vertes en combinant des critères quantitatifs et qualitatifs. L'intégration d'indicateurs variés – connectivité écologique, accessibilité, qualité paysagère, sécurité perçue et biodiversité – permet une approche globale, capturant à la fois les dimensions objectives et subjectives des espaces verts urbains.

L'analyse méthodologique proposée s'inscrit dans un contexte d'urbanisation croissante où les enjeux environnementaux, sociaux et économiques s'entrelacent. Longtemps perçues comme des aménagements secondaires, les structures vertes sont désormais reconnues comme des leviers stratégiques pour faire face aux défis du changement climatique, de la justice environnementale et de la santé publique. Ainsi, cette méthodologie ne se limite pas à une évaluation de la performance des espaces verts ; elle vise à produire des connaissances empiriques solides susceptibles d'éclairer les politiques publiques et d'orienter les stratégies d'aménagement vers des modèles plus durables, inclusifs et résilients.

Un des apports majeurs de cette approche réside dans son adaptabilité. Les indicateurs retenus sont non seulement applicables à des contextes géographiques divers, mais également modulables en fonction des dynamiques locales et des spécificités socio-économiques. Cette flexibilité méthodologique permet de mieux appréhender les disparités spatiales et d'adapter les stratégies d'intervention aux besoins des territoires étudiés. L'intégration d'indicateurs subjectifs, reposant sur la perception des usagers, apporte une dimension humaine souvent négligée dans les évaluations classiques, favorisant ainsi une approche participative de la gestion des espaces verts.

D'un point de vue opérationnel, cette méthodologie constitue un outil d'aide à la décision pour les urbanistes, les décideurs et les gestionnaires d'espaces verts. Elle permet d'identifier les priorités d'intervention en fonction des performances des différentes zones et de mettre en évidence les leviers d'action pour améliorer la qualité des espaces verts, notamment dans les secteurs les moins bien dotés. Les disparités observées entre le centre-ville et la périphérie soulignent ainsi la nécessité de stratégies différenciées, prenant en compte les spécificités locales en matière de connectivité, de gestion écologique et de perception de la sécurité.

Toutefois, cette approche présente certaines limites inhérentes à l'évaluation des indicateurs de bien-être et de santé, qui demeurent en partie subjectifs et influencés par des contextes socioculturels variés. Il est donc essentiel de poursuivre l'affinement de ces outils d'analyse, notamment en intégrant des enquêtes longitudinales pour suivre l'évolution des perceptions des usagers dans le temps et en diversifiant les échantillons d'étude afin de mieux refléter la diversité des contextes urbains.

En définitive, ce chapitre a proposé un cadre méthodologique innovant et adaptable pour l'évaluation des structures vertes, contribuant ainsi à enrichir la compréhension des interactions entre espaces verts et bien-être en milieu urbain. En ouvrant de nouvelles perspectives pour l'aménagement urbain, cette méthodologie offre une base scientifique solide pour repenser la place de la nature en ville face aux défis contemporains. Elle invite à approfondir les recherches sur les interactions entre les différentes dimensions de la structure verte et leurs effets à long terme sur la qualité de vie des citadins. Ainsi, en intégrant pleinement la nature dans les politiques urbaines, cette approche participe à la construction de villes plus durables, où l'équilibre entre environnement et urbanité devient un principe structurant du développement territorial.

# CHAPITRE 3
# CONTEXTE D'ÉTUDE : PRÉSENTATION ET IDENTIFICATION DE LA STRUCTURE VERTE D'ANNABA

# Introduction

Dans le cadre de la transition vers des villes plus durables et résilientes, la structure verte urbaine émerge comme un élément stratégique pour la planification et le développement urbain. Le présent chapitre vise à établir une compréhension approfondie du contexte spécifique de la ville d'Annaba, future métropole de l'est algérien, en analysant les facteurs physiques, climatiques, morphologiques et socio-démographiques qui influencent la structure verte de ce territoire. En s'appuyant sur des approches géospatiales et écologiques, cette étude s'inscrit dans une démarche visant à identifier, analyser et évaluer la répartition, la typologie, ainsi que les rôles et impacts des espaces verts dans le tissu urbain annabi.

Ce chapitre s'articule autour de plusieurs sections majeures. Tout d'abord, une présentation du cadre d'étude et du périmètre choisi sera réalisée, abordant les caractéristiques géographiques, administratives, morphologiques, et climatiques d'Annaba, ainsi que l'évolution historique de son urbanisation. L'analyse des composantes de la structure verte sera ensuite approfondie, en mettant en lumière les différents types d'espaces verts, leur usage et leur répartition spatiale à travers le territoire.

Dans une perspective globale d'occupation des sols, une étude de l'évolution des espaces verts et des corridors écologiques permettra de mieux cerner les continuités et fragmentations écologiques à Annaba, ainsi que les enjeux d'urbanisation qui en découlent. Ce travail se poursuivra par la cartographie des espaces verts, appuyée par des méthodes avancées de télédétection et d'analyse géospatiale, afin de rendre compte de la couverture verte actuelle et de son influence sur la résilience environnementale.

Enfin, une section aborde les défis et opportunités associés à la préservation et au développement de la structure verte dans un contexte d'urbanisation rapide. En proposant une identification des échantillons pour étudier les effets des îlots de chaleur urbains et du bien-être des habitants, ce chapitre contribuera à une analyse détaillée des dynamiques urbaines en interaction avec les espaces verts, ouvrant la voie à des recommandations stratégiques pour une urbanisation durable et respectueuse de l'écosystème local.

Ce chapitre vise ainsi à poser les bases méthodologiques et analytiques de l'étude de la structure verte d'Annaba, en offrant une vue d'ensemble des caractéristiques du territoire et des spécificités écologiques, démographiques et spatiales qui façonneront les réflexions autour du développement d'espaces verts urbains en Algérie.

# 3.Présentation du contexte d'étude :rôle et intérêt

Annaba, par sa position géostratégique et ses riches potentialités naturelles, se distingue comme un carrefour d'importance régionale et internationale. Son littoral s'étend sur 80 km le long du bassin méditerranéen, offrant des perspectives d'ouverture et de rayonnement international. Dotée d'un réseau infrastructurel diversifié et multimodal, la ville bénéficie d'une connectivité exceptionnelle, intégrant des infrastructures terrestres, maritimes et aériennes. Plusieurs routes nationales et de wilayas (comme la RN44 et la RN16) la traversent, facilitant ainsi les échanges et renforçant son intégration au réseau national. En outre, Annaba abrite des complexes industriels majeurs tels que le complexe d'engrais d'Asmidal à Seybouse et celui de la sidérurgie d'El Hadjar, ainsi que deux pôles universitaires de renommée internationale, contribuant à son attractivité et à sa dynamique de développement.

Depuis son désignation comme pôle de développement dans les années 1960, Annaba s'affirme progressivement comme un centre de commandement urbain, dépassant les limites d'une simple agglomération pour s'ériger en future métropole, conformément aux perspectives définies par le Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT) 2030. Son espace de fonctionnement s'étend aujourd'hui sur l'ensemble de la plaine d'Annaba, façonnant ainsi une nouvelle configuration spatiale et urbaine. Cette expansion, ancrée sur une base industrielle robuste, amplifie son influence régionale et redéfinit le territoire environnant, marquant le passage d'un espace autrefois agricole vers une aire métropolitaine dynamique.

L'urbanisation rapide d'Annaba est marquée par un étalement urbain accéléré par une forte croissance démographique et l'expansion des activités et fonctions vers la périphérie. Ce phénomène de périurbanisation a modifié de manière significative l'organisation et les relations entre le centre urbain et ses zones environnantes. Ces changements entraînent des impacts notables sur l'environnement, altérant la durabilité écologique du territoire. La progression des trames grises, telles que les infrastructures et les zones bâties, au détriment des trames vertes, souligne une rupture dans la structure écologique de la ville, compromettant ainsi sa résilience et posant des défis importants en termes de planification urbaine durable.
Ce contexte d'étude met en lumière l'importance de la structure verte dans la ville d'Annaba. Elle est essentielle non seulement pour la préservation de l'environnement et le bien-être des habitants, mais également pour la mise en œuvre d'un modèle de développement durable qui s'adapte aux dynamiques d'urbanisation et à la transformation continue du territoire.

## 3.1.Cadre physique

- **Situation géographique**

Annaba est située sur la rive sud du bassin méditerranéen, à environ 600 km à l'est d'Alger, à proximité du golfe de Khalij El Morjane. La ville se distingue par une géographie contrastée, où un relief montagneux abrupt côtoie une vaste plaine côtière. Ce contraste confère à Annaba un caractère unique et une diversité de paysages qui influencent non seulement son développement urbain, mais aussi ses écosystèmes locaux. En tant que ville côtière algérienne, Annaba présente des caractéristiques climatiques méditerranéennes typiques, avec des étages bioclimatiques subhumides à humides, marqués par une saison humide douce et une saison sèche modérée.

Quatrième plus grande ville d'Algérie après Alger, Oran, et Constantine, Annaba est située à l'extrême nord-est du pays, ouverte sur le littoral méditerranéen sur une longueur de 80 km. Ses coordonnées géographiques s'étendent entre les latitudes nord de 36°36' et 37°05' et les longitudes est de 07°17' et 07°49'. La superficie totale de la wilaya d'Annaba est de 1 439,20 km², représentant environ 0,06 % de la superficie nationale.

Les limites géographiques de la wilaya d'Annaba sont définies comme suit :
-Au Nord : bordée par la mer Méditerranée,
-Au Sud : limitrophe de la wilaya de Guelma,
-À l'Est : adjacente à la wilaya d'El Tarf,
-À l'Ouest : bordée par la wilaya de Skikda.

Le contexte physique de la métropole est diversifié, avec des plaines, des montagnes, des collines et un littoral. Les plaines, principalement la plaine de Kherraza, couvrent 18,08%

du territoire (255 km²). La partie nord est dominée par les reliefs étendus de l'Edough, qui représentent 52,16% du territoire (736 km²) et comprennent le massif de l'Edough, culminant au Mont Bouzizi à 1100 m d'altitude. Les collines et les piémonts occupent 25,82% de la superficie totale (365 km²), se trouvant au piémont sud du massif de l'Edough et au piémont nord des reliefs de Guelma au sud. Annaba dispose également d'un réseau hydrographique dense, comprenant le lac Fetzara (eau douce) de 18670 ha et l'Oued Seybouse de 127,5 km de longueur. (ANDI, 2013)

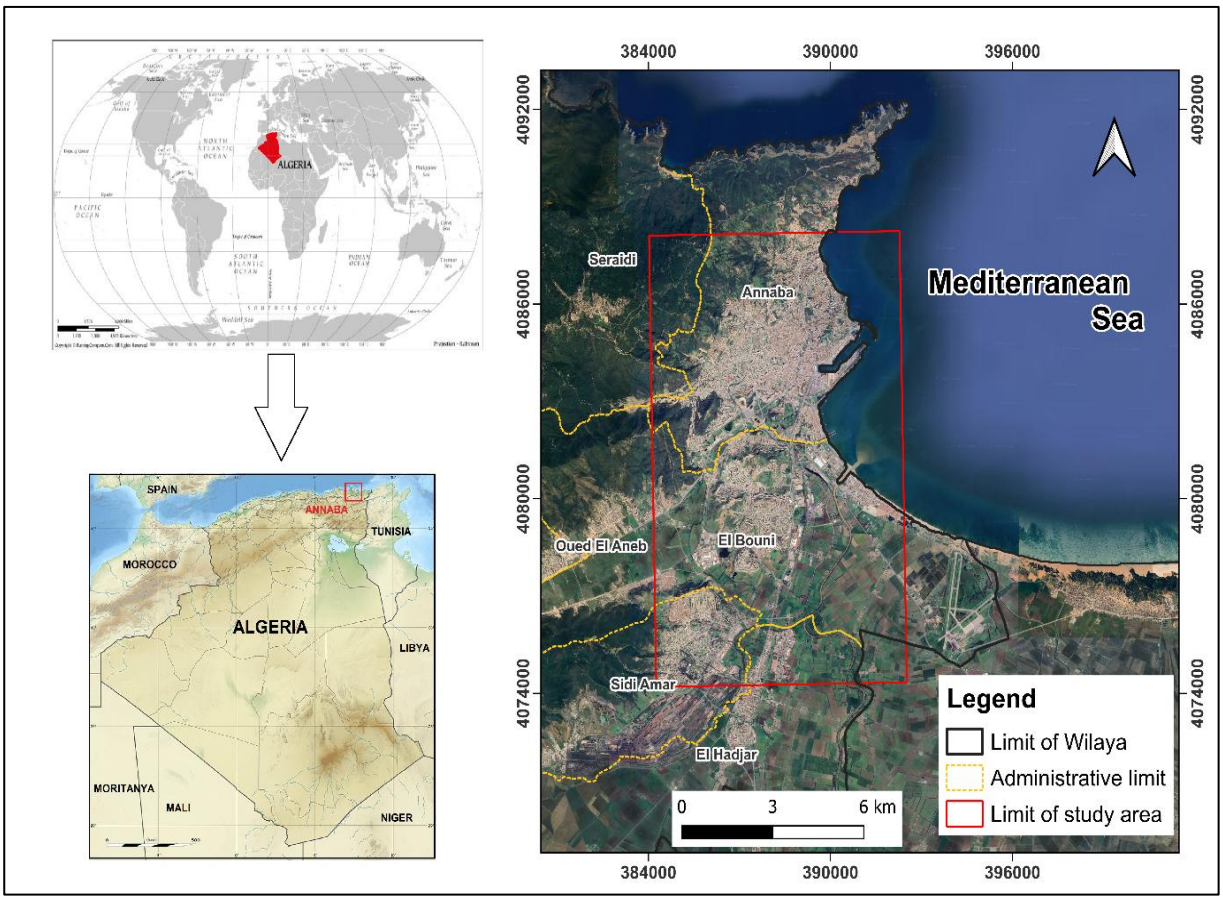



**Figure 101.** Situation du site d'étude et de la future métropole Annaba

Le contexte délimité pour cette étude couvre une superficie d'environ 526.25 km2 et se compose des communes ; Annaba, El Bouni, Sidi Ammar, El Hadjar, El Berda, Berahel, Oued El Aneb ainsi que la nouvelle ville Draa Erich. La région est caractérisée par des plaines 25 m d'altitude. La plus élevée des altitudes est celle du Mont Edough futur Parc National (environ 1000 m d'altitude au-dessus du niveau moyen de la mer). Les plaines sont principalement situées à l'Ouest, l'Est et le Sud, tandis que les montagnes et les collines se trouvent au Nord et aussi en partie au Sud.

- **Situation administrative**

Administrativement, la Wilaya d'Annaba est divisée en 12 communes et 6 daïras, comme indiqué dans le tableau ci-dessous. Cette organisation administrative joue un rôle fondamental dans la gestion locale, la planification urbaine et le développement régional. Les principales communes incluent Annaba, El Bouni, El Hadjar, Berrahal, Ain Berda, et Chetaïbi, chacune possédant des spécificités géographiques et économiques qui contribuent au

dynamisme de la wilaya. Cette structuration permet d'adopter une approche décentralisée dans la gestion des ressources, favorisant une distribution équilibrée des services publics et une prise en charge efficace des besoins de la population.

**Tableau 9 .**Découpage administratif

| **Daïras** | **Commune rattachée** | **Superficie (km2)** | **% commune / Wilaya** |
|---|---|---|---|
| *ANNABA* | Annaba<br>Seraïdi | 50<br>110 | 3.58<br>7.89 |
| *EL-BOUNI* | El-Bouni | 95,18 | 6.83 |
| *EL HADJAR* | El-Hadjar<br>Sidi Amar | 64,74<br>44,90 | 4.64<br>3.22 |
| *BERRAHAL* | Berrahal<br>O. Aneb<br>Tréat | 174,14<br>191,53<br>124,05 | 12.49<br>13.74<br>8.90 |
| *AIN BERDA* | Ain Berda<br>Cheurfa<br>Eulma | 139,60<br>97,19<br>165,35 | 10.02<br>6.97<br>11.86 |
| *CHETAIBI* | Chétaïbi | 136,52 | 9.79 |
| **TOT.WILA** | **12** | **1393.20** | **100** |

La répartition administrative de la Wilaya d'Annaba offre une perspective essentielle pour comprendre les dynamiques spatiales et territoriales de la région. En mettant en évidence les limites des daïras et des communes, elle va au-delà d'une simple division géographique, en devenant un outil stratégique d'analyse et de planification. Cette organisation permet de visualiser l'étendue de chaque commune, leur relation avec les zones naturelles, industrielles et urbaines, ainsi que leur positionnement par rapport aux frontières de la wilaya.

Ce cadre administratif révèle les interconnexions et les flux entre les différentes entités, tout en mettant en lumière les priorités en matière d'aménagement et de développement durable. Les articulations spatiales qui en découlent sous-tendent le développement régional, en soulignant les zones où convergent les besoins en gestion des ressources, en infrastructures et en préservation des espaces naturels et verts qui. Cette structuration devient ainsi un levier pour orienter une stratégie de développement équilibrée et durable, prenant en compte les spécificités et les exigences propres à chaque secteur du territoire.

Dans une perspective de développement durable, cette structuration territoriale devient un levier pour orienter les politiques publiques de manière à répondre aux enjeux spécifiques de chaque commune, qu'il s'agisse de zones à forte densité urbaine nécessitant des infrastructures adaptées, de secteurs industriels clés pour l'économie régionale, ou de zones naturelles sensibles à protéger. La carte permet également de comprendre les gradients de pression urbaine et les interactions avec les wilayas limitrophes, informant ainsi une planification plus résiliente et intégrée.

En outre, cette organisation administrative sert de fondement pour une gouvernance territoriale optimisée, facilitant la coordination entre les différents acteurs locaux et étatiques. Elle ouvre la voie à des initiatives de développement spatial cohérentes et adaptées aux

spécificités topographiques, écologiques et socio-économiques de chaque secteur. Ainsi, la carte géographique, au-delà de sa fonction illustrative, se positionne comme un support fondamental pour la prise de décision en matière d'aménagement du territoire, contribuant à l'élaboration de stratégies de croissance qui harmonisent développement économique, bien-être des populations et préservation environnementale. Dans ce contexte, elle incarne un outil de réflexion et de prospective indispensable pour envisager le futur de la métropole d'Annaba.

**Figure 102.**Le découpage administratif de la Wilaya d'Annaba

## 3.2. Cadre morphologique

- **Topographie**

La topographie de la Wilaya d'Annaba se caractérise par une diversité marquée de reliefs, de pentes et d'altitudes, qui jouent un rôle central dans l'urbanisation, l'utilisation des terres et l'accessibilité aux différentes zones, en particulier aux structures vertes .Ce relief varié structure le territoire en une mosaïque de zones de faible, moyenne et forte pente, chacune apportant des particularités et des contraintes spécifiques pour le développement

urbain et la conservation écologique. Cette organisation topographique influence de manière significative la configuration spatiale des espaces verts, et donc leur accessibilité et leur usage par la population. Une compréhension approfondie de cette topographie est essentielle pour une planification urbaine intégrée et respectueuse des dynamiques naturelles, en particulier dans le cadre de la future métropole d'Annaba.

**Pentes :**Les zones de **faible pente**, dont les inclinaisons varient entre 0° et 5°, se situent principalement dans les plaines côtières et les vallées fluviales, notamment autour des communes d'Annaba et d'El Bouni. Ces secteurs plats et facilement accessibles représentent des terrains propices à l'urbanisation et au développement agricole. Leur topographie relativement plane permet une intégration harmonieuse et aisée des structures vertes dans le tissu urbain. Ces espaces verts, qu'il s'agisse de parcs publics, de jardins urbains ou d'espaces récréatifs, contribuent au bien-être des résidents et améliorent la qualité de vie en favorisant des activités en plein air, le sport et le contact direct avec la nature. La topographie plane de ces zones rend ces espaces verts facilement accessibles, ce qui est un atout majeur pour l'inclusion sociale et la promotion de la santé publique. Cette facilité d'accès permet aussi une meilleure connectivité entre les espaces verts, formant un réseau écologique intégré dans la trame urbaine.

**Les zones de pente modérée**, dont les inclinaisons varient entre 5° et 15°, sont principalement situées en périphérie des plaines et se caractérisent par des reliefs collinaires. Bien que ces zones soient moins accessibles que les plaines, elles représentent néanmoins des espaces potentiels pour des aménagements spécifiques, tels que des parcs en terrasses, des sentiers de randonnée ou des zones de conservation paysagère. Ces aménagements nécessitent une planification particulière pour respecter les caractéristiques naturelles du terrain tout en maximisant l'accessibilité. Les espaces verts situés dans ces zones collinaires offrent des avantages écologiques et sociaux considérables, contribuant à la préservation de la biodiversité, à la régulation thermique locale et à la création d'opportunités récréatives pour les habitants. Cependant, l'aménagement de ces espaces doit être soigneusement pensé pour limiter les risques d'érosion, en intégrant des infrastructures adaptées qui soutiennent le développement durable tout en maintenant une accessibilité raisonnable.

**Enfin, les zones de forte pente**, qui dépassent les 15° et atteignent jusqu'à 30° ou plus dans certaines régions, se trouvent principalement dans les reliefs montagneux au nord et à l'ouest de la wilaya, autour du massif de l'Edough. Ces reliefs escarpés représentent des barrières naturelles à l'expansion urbaine, limitant l'accessibilité et les possibilités de développement. Cependant, ces zones jouent un rôle important dans la préservation des écosystèmes locaux et dans la régulation des ressources hydriques. Les forêts denses et les zones protégées situées dans ces reliefs constituent des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques essentiels. Bien que leur accès soit plus limité, ces espaces offrent des fonctions écologiques inestimables, notamment en matière de stabilisation des sols, de protection contre l'érosion et de maintien de la qualité des eaux.

La préservation de ces zones de forte pente est donc indispensable pour assurer la résilience environnementale de la région et soutenir un modèle de développement urbain durable. La topographie est illustrée par la **Figure 103** qui suit :

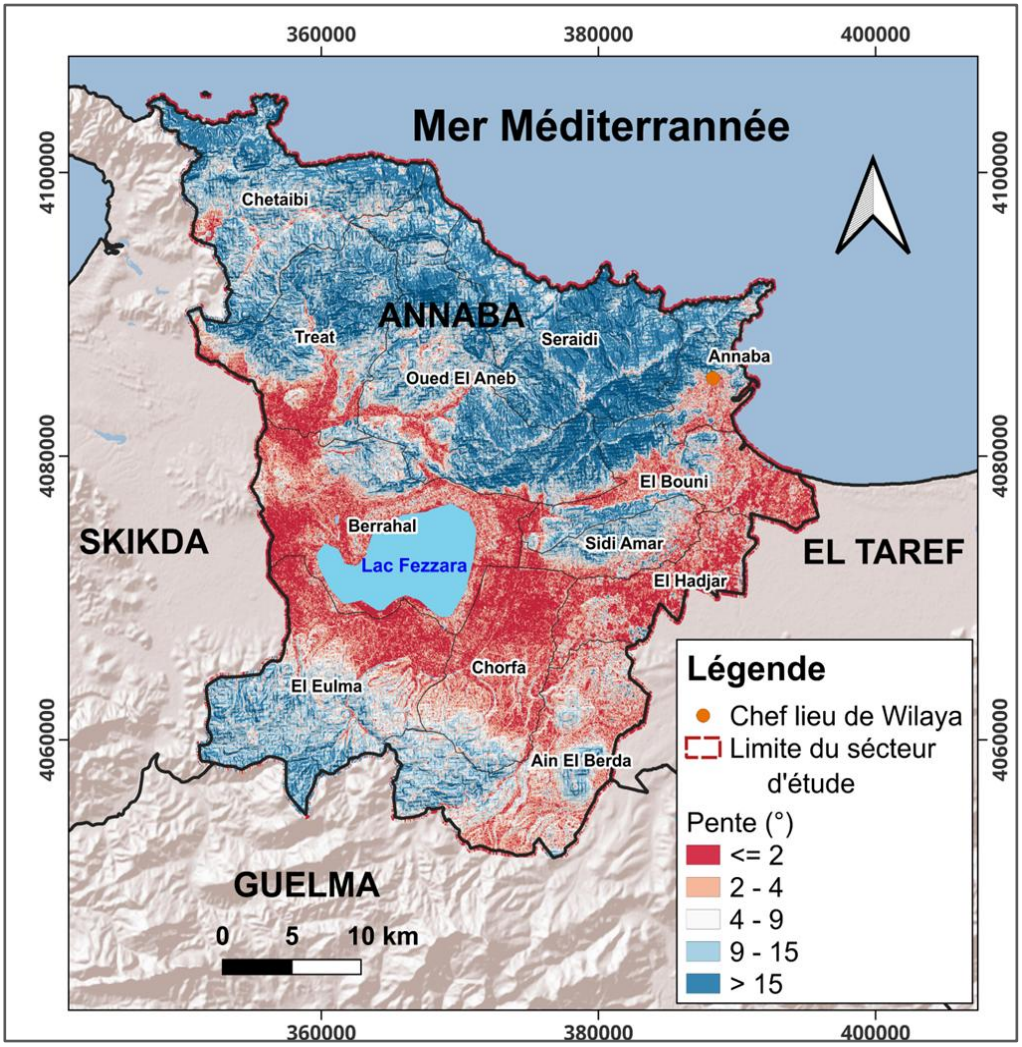



**Figure 103**.La topographie de la Wilaya d'Annaba

Ainsi, la prise en compte des intervalles de pentes est essentielle dans l'élaboration des stratégies de développement urbain et de conservation écologique. Elle permet d'identifier les zones adaptées à l'expansion urbaine, d'éviter les terrains instables ou à risque, et de planifier des infrastructures qui améliorent l'accessibilité aux zones de pente modérée tout en respectant l'environnement. Par ailleurs, la préservation des zones de forte pente en tant qu'espaces naturels protégés devient indispensable pour la biodiversité et les services écosystémiques qu'elles apportent.

Les caractéristiques topographiques d'Annaba ont un impact direct sur la planification urbaine et la gestion des ressources naturelles. Les zones de haute altitude, comme les montagnes et les collines, considérées en tant qu' obstacles à l'expansion urbaine, mais elles offrent également des opportunités pour la conservation des espaces verts et la biodiversité. Les plaines et les zones côtières sont plus propices au développement urbain et à l'agriculture, mais elles nécessitent une gestion prudente pour éviter les problèmes tels que l'érosion et l'inondation.

### ➢ Le Relief

Le relief de la Wilaya d'Annaba s'organise autour de deux principales entités géographiques distinctes : la plaine d'Annaba et le massif de l'Edough. Située au sud et englobant le lac Fetzara, la plaine d'Annaba constitue une vaste étendue de terrain relativement plat, propice à l'expansion urbaine et à l'activité agricole grâce à une accessibilité facilitée et un potentiel de développement élevé. Cette zone permet l'implantation de nombreuses infrastructures urbaines et agricoles, tout en offrant la possibilité de distribuer des espaces verts au sein des zones habitées, favorisant ainsi un cadre de vie équilibré et accessible pour les habitants .

Le massif de l'Edough, localisé au nord de la wilaya, se distingue par ses altitudes élevées et ses pentes abruptes, qui réduisent les possibilités d'urbanisation intensive dans cette zone. Ce relief montagneux, riche en forêts denses et en biodiversité, offre un environnement favorable pour la conservation écologique. Le massif représente non seulement un espace naturel de grande valeur, mais aussi une opportunité pour le développement de parcs naturels et de réserves de biodiversité, contribuant de manière significative à la régulation climatique locale et à la protection contre les risques naturels, tels que l'érosion et les inondations. Cette zone montagneuse constitue un atout majeur pour la durabilité écologique de la wilaya, permettant de renforcer la résilience environnementale de la région.

L'intégration des caractéristiques topographiques, comme le montrent les **Figures 104 et 105** , s'avère essentielle dans la planification stratégique de la structure verte d'Annaba. Elle permet de mettre en place un réseau cohérent d'espaces naturels et de loisirs en lien direct avec les zones urbaines, offrant ainsi aux habitants un accès à des espaces verts naturels pour la détente et les activités récréatives. Ces aménagements contribuent également à promouvoir un développement durable en intégrant les reliefs naturels dans le cadre de vie urbain, créant ainsi un équilibre harmonieux entre l'expansion urbaine et la conservation des ressources écologiques.

Les zones de haute altitude, telles que celles du Djebel Edough, présentent un environnement propice à la biodiversité et à la conservation des espèces endémiques. Ces zones, en raison de leur isolement et de leurs caractéristiques naturelles, nécessitent une gestion attentive pour préserver leur intégrité écologique. Les espaces verts situés dans ces régions offrent des panoramas spectaculaires et des possibilités de développement d'activités écoresponsables, telles que l'écotourisme, qui peuvent constituer un levier de développement durable pour la wilaya.

La topographie, le relief, les pentes et l'altitude d'Annaba jouent un rôle déterminant dans la structuration de la wilaya et dans l'organisation de ses espaces verts. Ces caractéristiques géomorphologiques façonnent les choix d'aménagement et de développement de la future métropole, en orientant les stratégies d'urbanisation vers une meilleure intégration des structures vertes dans le tissu urbain. Une planification qui prend en compte ces éléments contribue non seulement à la durabilité écologique, mais aussi au bien-être de la population et à l'amélioration de la qualité de vie dans un cadre urbain harmonieux.

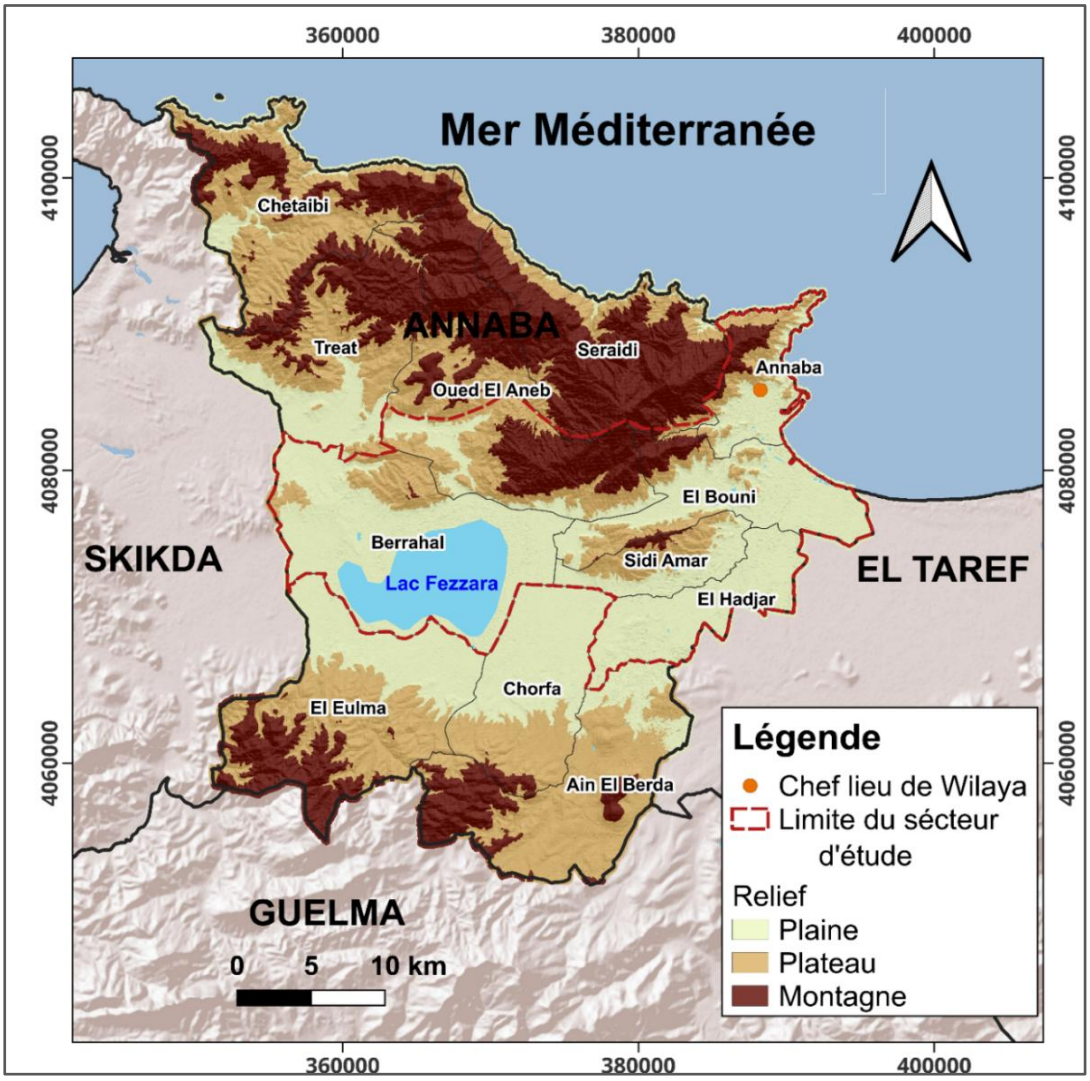



**Figure 104.** Le relief de la Wilaya d'Annaba

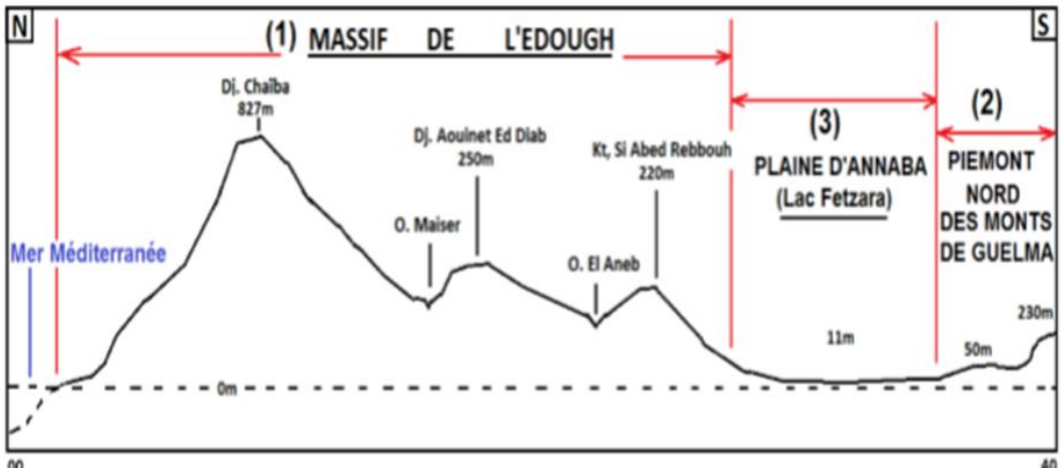



**Figure 105.** Profil topographique de la wilaya de Annaba.

### ➢ Altitude

L'altitude dans la wilaya varie de 0 mètres au niveau de la mer à plus de 800 mètres dans les montagnes du Djebel Edough. Cette diversité altitudinale influence les microclimats et les types d'écosystèmes présents, contribuant ainsi à la richesse écologique de la région.(**Figure** 106) Les zones de basse altitude, situées principalement le long du littoral et dans les plaines, offrent des conditions favorables pour le développement urbain et agricole. Elles permettent également une distribution homogène des espaces verts dans les zones résidentielles, facilitant l'accessibilité et l'intégration de ces structures dans le quotidien des habitants.

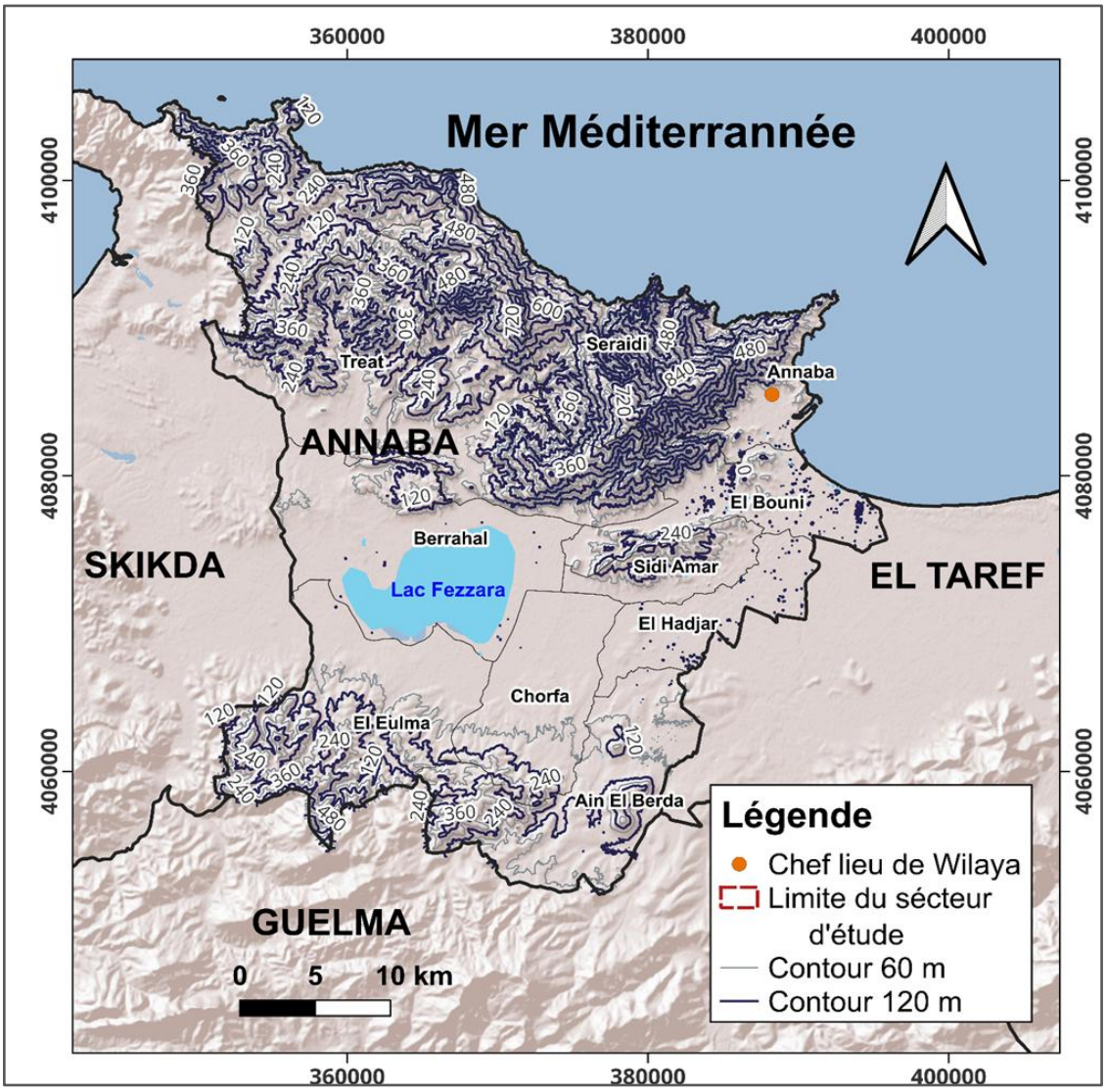



**Figure 106.** L'altimétrie de la Wilaya d'Annaba

### ➢ Géomorphologie

• **La pédologie:** La pédologie de la région d'Annaba est marquée par une grande diversité de types de sols, directement influencée par la variété de formations géologiques qui caractérisent le territoire, allant des alluvions quaternaires aux formations mésozoïques. Dans les plaines autour du lac Fetzara, les sols alluvionnaires, riches en sédiments fins, se révèlent particulièrement fertiles, favorisant une agriculture intensive et un développement végétal abondant. Cette fertilité accrue en fait des zones d'intérêt stratégique pour l'implantation de structures vertes dans le tissu urbain, contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité de vie des habitants par l'intégration d'espaces naturels dans les zones résidentielles.

À l'opposé, les zones montagneuses, telles que le massif de l'Edough, présentent des sols généralement moins productifs en raison des pentes abruptes et de la présence de formations géologiques résistantes, comme les grès et les calcaires. Ces sols sont moins propices à l'agriculture intensive et exigent des pratiques plus conservatrices, adaptées aux conditions difficiles de ces reliefs. Les terres en altitude et à forte pente, en raison de leur faible profondeur et de leur instabilité, sont particulièrement vulnérables à l'érosion, limitant leur utilisation et nécessitant des stratégies de gestion axées sur la conservation pour prévenir la dégradation des sols. Cette diversité pédologique a des implications majeures pour les pratiques agricoles et les stratégies de gestion des terres à Annaba. Les plaines fertiles permettent une intensification agricole bénéfique pour l'économie locale, tandis que les zones montagneuses appellent à une gestion prudente pour éviter l'épuisement des ressources naturelles. Les choix d'utilisation des sols doivent donc être cohérents avec les caractéristiques pédologiques et géologiques de chaque secteur, en adaptant les méthodes d'exploitation et de préservation en fonction des capacités du terrain.

La variété géologique de la région, incluant des formations de roches sédimentaires, métamorphiques et ignées, influence non seulement la composition des sols mais aussi leur stabilité et leur capacité à retenir l'eau. Ces aspects géologiques jouent un rôle essentiel dans la disponibilité des ressources naturelles, les caractéristiques hydrologiques locales et la capacité des sols à soutenir des infrastructures urbaines et agricoles. Les zones rocheuses et montagneuses, notamment celles constituées de formations géologiques anciennes, offrent un potentiel pour les études environnementales et les projets de conservation, soulignant l'importance de la compréhension géo-pédologique pour une gestion durable et une planification territoriale avisée.

Ainsi, cette diversité pédologique et géologique impose une réflexion approfondie dans la mise en œuvre de stratégies de développement durable. Elle oriente la planification territoriale vers une exploitation rationnelle des sols fertiles et une conservation rigoureuse des zones sensibles, dans le respect des dynamiques écologiques et naturelles propres à la région d'Annaba. La reconnaissance de ces spécificités est essentielle pour garantir un équilibre entre développement économique, conservation écologique, et amélioration de la qualité de vie des habitants.

• **L'érosion :** L'érosion dans la région d'Annaba est un phénomène particulièrement prononcé dans les zones de relief marqué, notamment au niveau du massif de l'Edough, où les pentes abruptes facilitent les processus d'érosion hydrique. Les formations géologiques anciennes, constituées de grès et de calcaires, montrent une certaine résistance aux intempéries, tandis que les sols alluvionnaires présents dans les plaines demeurent plus

vulnérables aux phénomènes d'érosion. Les contrastes géologiques entre ces formations accentuent les différences dans les taux d'érosion observés à travers la région.

Les activités anthropiques, telles que l'exploitation agricole intensive et le déboisement, contribuent significativement à l'aggravation de l'érosion, en particulier dans les zones de forte pente. En éliminant la couverture végétale protectrice, ces pratiques rendent les sols plus sensibles à l'action des pluies et augmentent les risques de glissements de terrain. La gestion inadéquate des sols et l'absence de pratiques de conservation dans les secteurs de relief accentuent ces processus érosifs, créant des déséquilibres écologiques et menaçant la stabilité des terres cultivables et des infrastructures.

Dans les plaines, malgré une topographie plus favorable, l'érosion peut également poser des défis, notamment en raison de la forte concentration de sols alluvionnaires, dont la texture légère et la composition sédimentaire sont facilement mobilisables par les eaux de surface en cas de précipitations importantes. La vulnérabilité de ces zones à l'érosion hydrique exige une gestion rigoureuse pour éviter la perte de terres arables et la dégradation de la qualité des sols.

Ces dynamiques érosives, bien que naturelles, sont amplifiées par les interventions humaines et appellent à des stratégies de gestion durable des ressources et à des mesures de conservation des sols. Les données géologiques et pédologiques sur la carte géologique (**voir Annexe** …..), fournissent à leur tour une base essentielle pour identifier les zones à risque et adapter les pratiques de gestion des terres en fonction de la sensibilité à l'érosion, contribuant ainsi à une planification territoriale plus résiliente et respectueuse des caractéristiques géomorphologiques de la wilaya d'Annaba.

- **Hydrologie :** L'hydrologie de la région d'Annaba est caractérisée par un réseau hydrographique dense et bien structuré, qui contribue significativement à la dynamique écologique et au développement durable de la wilaya. Le lac Fetzara, s'étendant sur 18 670 hectares, et l'Oued Seybouse, avec ses 127,5 km de long, représentent des ressources hydriques essentielles. Ces deux éléments jouent un rôle fondamental non seulement dans l'approvisionnement en eau pour les activités agricoles, domestiques, et industrielles, mais aussi dans le maintien des écosystèmes locaux. En effet, la présence de ces masses d'eau soutient les habitats naturels, favorise la biodiversité, et contribue à la résilience écologique de la région. Ce dernier est complété par des ressources en eau souterraine, particulièrement présentes dans la plaine d'Annaba et les zones alluvionnaires qui l'entourent. La carte hydrographique (**Figure 107**) révèle la présence de plusieurs aquifères majeurs, alimentés principalement par les précipitations et les infiltrations issues des rivières et des oueds, tels que l'Oued Seybouse. Les formations géologiques perméables, notamment les calcaires et les grès, favorisent l'infiltration et la recharge de ces nappes souterraines, ce qui est crucial pour assurer la disponibilité en eau sur le long terme.

Ces ressources hydrologiques jouent un rôle central dans le maintien de la structure verte et bleu d'Annaba, notamment en assurant un approvisionnement régulier pour les espaces verts urbains et périurbains. Elles permettent la création et le maintien de parcs, de jardins publics et d'autres espaces verts, qui participent à l'amélioration de la qualité de l'air, à la régulation du climat local et à la réduction des îlots de chaleur. L'eau est ainsi un vecteur indispensable pour la planification écologique et le renforcement de la structure verte et bleu dans le tissu urbain.

**Figure 107.**Réseau hydrographique , Annaba.

En outre, la disposition géologique et hydrologique de la région impose une gestion hydrique adaptée, avec des zones spécifiques consacrées à la recharge des nappes et d'autres à l'extraction. Cette gestion différenciée permet d'optimiser les ressources en eau tout en protégeant les aquifères contre la surexploitation, assurant ainsi la pérennité de la structure verte de la ville. Dans cette optique, des stratégies de conservation des ressources en eau sont mises en place pour renforcer la résilience écologique d'Annaba face aux changements climatiques et aux pressions urbaines croissantes. L'interaction entre ces différents aspects à Annaba constitue donc un élément clé de la durabilité environnementale de la wilaya.

La planification urbaine et la gestion des ressources naturelles doivent intégrer ces dimensions pour garantir un équilibre entre le développement économique, la conservation des écosystèmes, et l'amélioration de la qualité de vie des habitants. Les ressources en eau, qu'elles soient de surface ou souterraines, renforcent la durabilité de la structure verte et jouent un rôle fondamental dans l'orientation des politiques de développement territorial à Annaba.

En combinant ces éléments, il est possible de dégager des perspectives de gestion intégrée de l'érosion, de la préservation des sols et de la gestion des ressources en eau souterraines, en vue de soutenir le développement durable et la structure verte de la ville d'Annaba. Ces caractéristiques géomorphologiques constituent des points cruciaux pour l'analyse environnementale de la région, permettant de mieux comprendre les défis posés par l'érosion, les potentiels de conservation des sols et les dynamiques hydrologiques dans la planification territoriale et urbaine.

## 3.3. Contexte Climatique

Le climat de la ville d'Annaba est fortement influencé par sa géomorphologie, caractérisée par trois éléments naturels majeurs : le mont Edough, la mer Méditerranée et les plaines environnantes, incluant le lac Fetzara. Cette configuration unique génère un microclimat spécifique, modulant les variations climatiques locales et impactant directement les écosystèmes ainsi que les dynamiques urbaines. Le mont Edough, en s'élevant à une altitude significative, agit comme une barrière climatique qui favorise la rétention de l'humidité et induit une variabilité des précipitations. Parallèlement, la proximité de la mer Méditerranée joue un rôle de régulateur thermique, atténuant les écarts de température et conférant à Annaba un climat subhumide.

La ville connaît des saisons bien distinctes : des hivers doux et pluvieux et des étés chauds et humides selon l'étage climatique auquel elle appartient subhumide comme l'illustre la **Figure 108**. Les températures maximales moyennes atteignent environ 32°C en août, mois le plus chaud de l'année, tandis que les minimales descendent jusqu'à 6,5°C en janvier, période la plus froide. Cette amplitude thermique modérée favorise une biodiversité riche et variée, contribuant au développement d'espaces verts essentiels à la structure écologique de la ville.

Les précipitations régulières, caractéristiques du climat subhumide, soutiennent une agriculture productive où prospèrent des cultures méditerranéennes telles que les agrumes et les oliviers, renforçant ainsi la résilience économique et environnementale d'Annaba. De plus, ces conditions climatiques favorisent la constitution d'une structure verte dynamique, articulée autour des forêts, des parcs et des espaces verts urbains, jouant un rôle central dans l'amélioration du cadre de vie et l'atténuation des îlots de chaleur.

Ainsi, les spécificités climatiques d'Annaba mettent en évidence la nécessité d'une gestion environnementale intégrée, conciliant conservation des espaces naturels et aménagement d'une structure verte durable. Celle-ci constitue un levier essentiel pour répondre aux défis de l'urbanisation croissante, tout en garantissant des espaces de loisirs, de détente et de résilience écologique au service des habitants.

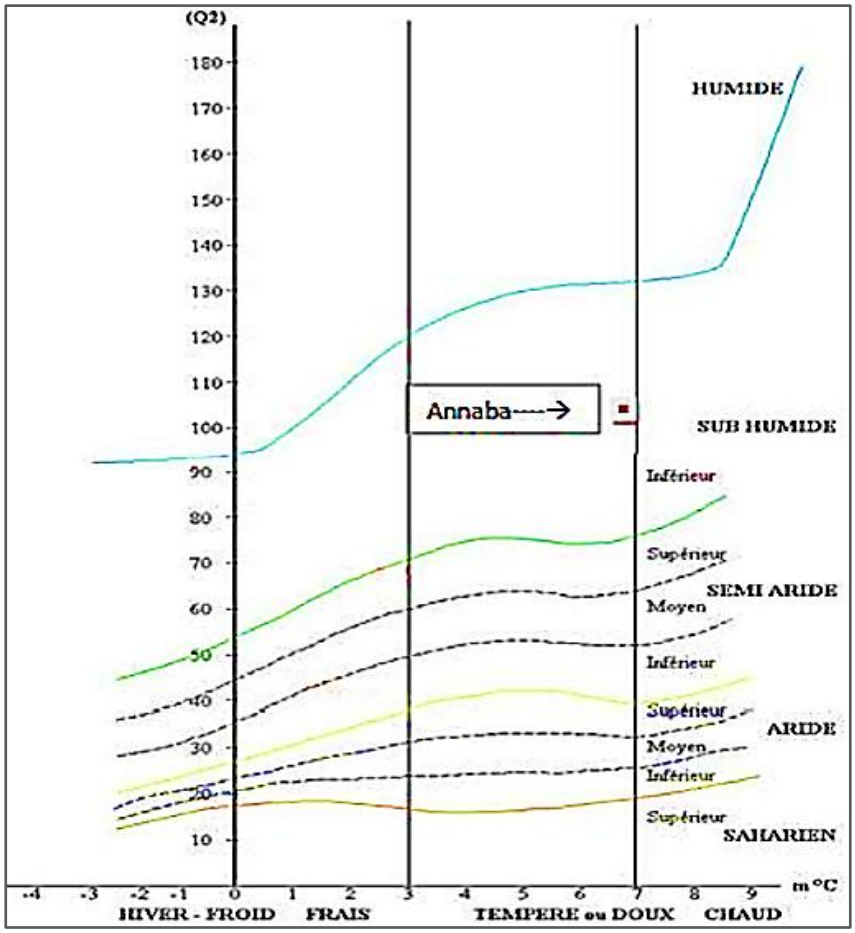



**Figure 108.** Diagramme bioclimatique, Annaba, Source : PATW, Annaba

- **Température et Humidité**

Dans le contexte climatique de la région d'Annaba, la température représente un facteur environnemental déterminant, influençant directement la croissance et le développement des plantes, depuis la phase végétative jusqu'à la phase productive. La température, en synergie avec d'autres éléments tels que la luminosité, le dioxyde de carbone, l'humidité de l'air, l'eau, et les nutriments, constitue un système équilibré essentiel pour la santé et le rendement des cultures. Ce facteur agit à la fois à court terme, en influençant le cycle quotidien de la plante, et à long terme, en modulant la capacité des espèces végétales à s'adapter aux conditions locales. Chaque facteur doit être correctement équilibré. La température affecte les plantes à court et à long terme((Hatfield & Prueger, 2015)

En hiver, l'influence maritime au nord et les effets de l'altitude dans les reliefs de l'intérieur du pays contribuent à une baisse notable des températures minimales, allant jusqu'à 8°C sur le littoral d'Annaba. Cette variation de température entre les zones côtières et les zones d'altitude modifie les conditions de croissance des plantes et affecte la structuration des espaces verts dans la région. En été, les températures maximales moyennes augmentent de manière significative, pouvant atteindre jusqu'à 35°C, comme illustré dans la **Figure 110**. Cette chaleur intense influence la physiologie des plantes et leur besoin en eau, ce qui est particulièrement crucial pour le maintien de la biodiversité et la gestion des espaces verts urbains pendant les périodes les plus chaudes de l'année.

Ainsi, dans le cadre de l'étude sur la structure verte de la ville d'Annaba, la température, conjuguée à d'autres facteurs climatiques, oriente les stratégies de gestion et de développement des espaces verts. Ces derniers jouent un rôle essentiel dans la régulation thermique urbaine, créant des îlots de fraîcheur et atténuant les effets des fortes températures estivales, contribuant ainsi au confort et au bien-être des habitants.

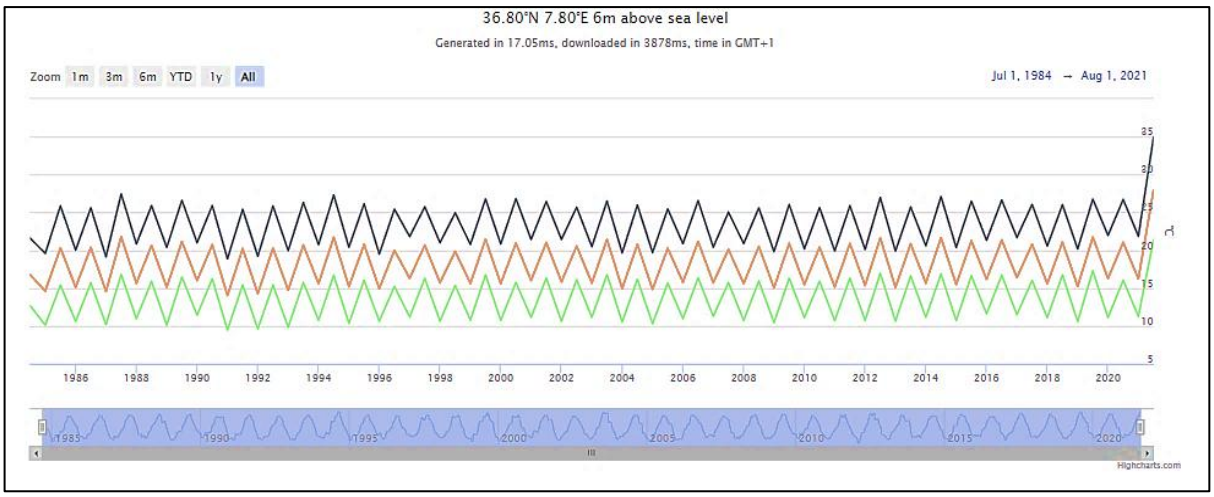



**Figure 109**. : Variation moyenne de la température, Annaba (Période : 1984 - 2021), Source : https://open-meteo.com/en/docs/historical-weather-api#latitude=36.83&longitude=7.81&start_date=2022-12-26&end_date=2023-01-25&hourly=temperature_2m,relativehumidity_2m,rain-,

- **Pluviométrie**

La région d'Annaba, située dans l'une des zones les plus arrosées d'Algérie, enregistre une pluviométrie moyenne annuelle d'environ 670 mm, avec une concentration marquée durant la saison hivernale. En effet, plus de 70 % des précipitations annuelles, soit environ 460 mm, tombent entre octobre et février, structurant un régime climatique méditerranéen, caractérisé par des hivers doux et humides et des étés secs où le déficit hydrique est particulièrement sévère (**Figure 110**). Ce cycle de précipitations influence fortement la végétation locale, créant un stress hydrique durant les mois les plus chauds, qui limite la croissance et la diversité des structures vertes urbaines, un obstacle déjà mis en avant par Vennetier et Ripert (2010) dans leurs travaux sur les écosystèmes méditerranéens.

La répartition géographique des précipitations montre un noyau de fortes pluviométries au niveau des monts de l'Edough, où les valeurs moyennes annuelles dépassent les 800 mm. Cette disponibilité accrue en eau favorise une biodiversité dense et une couverture végétale riche dans ces zones montagneuses, qui jouent un rôle crucial dans la conservation de la biodiversité. Ces conditions hydriques, en plus des températures et du rayonnement solaire, soutiennent des écosystèmes méditerranéens diversifiés, essentiels pour la durabilité écologique et l'esthétique paysagère de la structure verte d'Annaba.

La gestion des espaces verts en milieu urbain est directement affectée par le stress hydrique saisonnier, qui réduit leur capacité de croissance et de résilience face aux variations climatiques. En région méditerranéenne, la disponibilité en eau constitue le facteur limitant

principal pour la végétation. Par conséquent, pour assurer la pérennité de la structure verte d'Annaba, il est essentiel d'adopter des stratégies qui intègrent des techniques de rétention et de gestion de l'eau, surtout en période estivale.

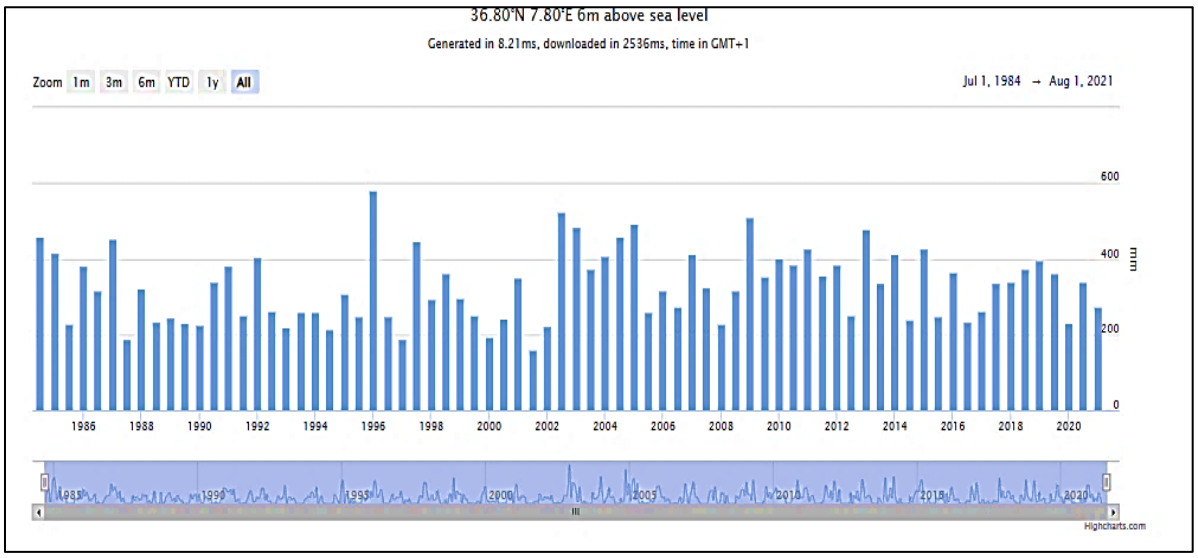



**Figure 110.** .Average rainfall variation over Annaba (Period : 1984 - 2021), Source : https://open-meteo.com/en/docs/historical-weather-api#latitude=36.83&longitude=7.81&start_date=2022-12-26&end_date=2023-01-25&hourly=temperature_2m,relativehumidity_2m,rain-

En outre, les activités anthropiques, telles que la déforestation et la transformation des zones forestières en terres agricoles, modifient l'équilibre hydrique et climatique local. Ces changements, notamment la diminution de la couverture végétale, influent sur des variables clés comme l'humidité de l'air et la température, en perturbant les échanges énergétiques entre le sol, la végétation, et l'atmosphère. Ces transformations entraînent des effets environnementaux cumulatifs, réduisant la capacité de la région à maintenir un écosystème stable et équilibré, ce que Monteny (1987) a observé dans ses travaux sur les interactions entre la végétation et le climat. Ces modifications dans la physionomie des espaces verts affectent directement l'absorption, le stockage de l'eau et, par conséquent, la résilience des écosystèmes locaux. En somme, la dynamique de la pluviométrie et des pratiques humaines façonne profondément la gestion des ressources hydriques et l'aménagement des espaces verts à Annaba. L'étude de cette dynamique et de ses impacts est indispensable pour élaborer des stratégies de gestion durable, visant à renforcer la structure verte de la ville tout en assurant la résilience écologique et le bien-être des habitants.

## 3.4. Contexte Démographique

Le contexte démographique d'Annaba, ville stratégique du nord-est de l'Algérie, illustre une dynamique de croissance rapide et soutenue. En 1998, la population de la ville s'élevait à 559 896 habitants, augmentant de manière significative pour atteindre 625 689 habitants en 2008, ce qui représente plus du triple par rapport aux quatre décennies précédentes. Les projections actuelles estiment que la population d'Annaba atteindra environ 759 137 habitants à l'horizon 2030 (**Figure 111**), ce qui met en évidence une tendance de croissance démographique accélérée. Cette augmentation pourrait avoir des répercussions

notables sur la durabilité des ressources urbaines, notamment en matière d'espace et de gestion territoriale, si elle n'est pas accompagnée de politiques de gestion efficaces.

En 2023, la population urbaine d'Annaba est estimée à 364 040 habitants, plaçant la ville en 6ème position au niveau national. En 2019, la population dans la zone urbaine spécifique atteignait 206 570 habitants, également au 6ème rang à l'échelle algérienne. La densité moyenne, selon les données du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) de 1998, était de 387,6 habitants par km², un chiffre largement supérieur à la moyenne régionale de 192,4 habitants par km². Cette forte densité témoigne de l'importance de la mise en œuvre de stratégies de gestion de l'espace et des ressources urbaines pour garantir un cadre de vie durable et équilibré.

La pression démographique exerce des contraintes croissantes sur les infrastructures urbaines et les services essentiels, ainsi que sur les structures vertes, qui jouent un rôle crucial dans l'amélioration de la qualité de vie des habitants. Dans ce contexte, la planification d'espaces verts accessibles devient une priorité pour répondre aux besoins de détente et de récréation des citoyens tout en contribuant à la préservation de l'environnement urbain. Le défi réside donc dans l'équilibre entre une urbanisation adaptée à la croissance démographique et la préservation des ressources naturelles, afin de construire un cadre urbain résilient et inclusif pour les générations futures. Le graphique de la figure ci-dessous montre l'évolution de la population de la zone urbaine d'Annaba depuis 1950. Il affiche une croissance continue, avec une accélération marquée au cours des dernières décennies. Cette croissance s'accompagne de défis en termes de gestion des ressources et de l'espace urbain.

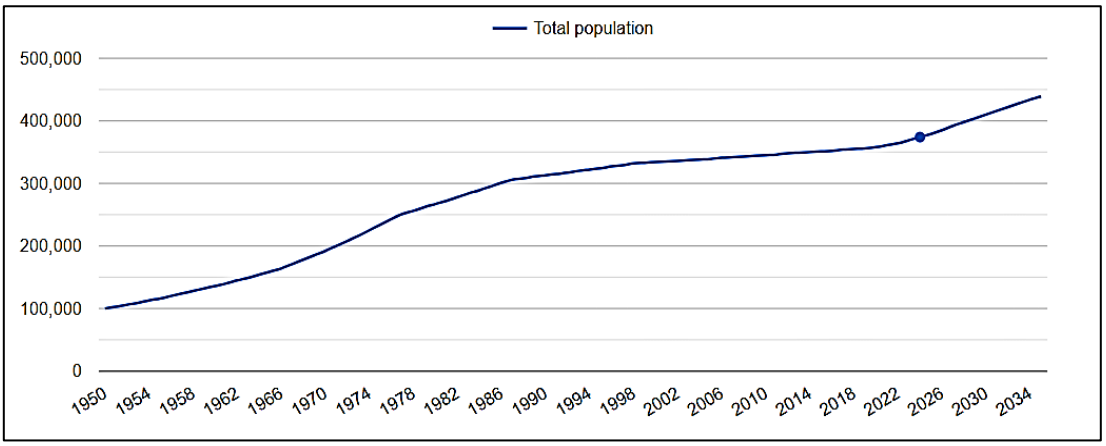



**Figure 111.**Graphique de la population de la zone urbaine d'Annaba. Source : shttps://populationstat.com/

- **Projections démographiques de la zone urbaine d'Annaba**

L'évolution historique de la population de la zone urbaine d'Annaba de 1950 à 2022 révèle que la progression démographique est un indicateur de la pression croissante sur les infrastructures , les services urbains , la qualité de vie et la performance environnementale , d'ailleurs L'évolution démographique de la future métropole d'Annaba reflète la tendance nationale et régionale : La population de la ville représente 1,79 % de la population totale de l'Algérie et environ 12 % de la population totale de la région Nord-est. Cette proportion est un élément encourageant pour une meilleure prise en charge de cette population et pour garantir qu'elle puisse jouir d'un environnement sain et durable. La structuration actuelle de la

population, avec 72,23 % des habitants agglomérés, plaide pour une meilleure adaptation des modes de gestion de l'espace et des ressources.

Les projections démographiques pour Annaba montrent une croissance continue jusqu'en 2035, atteignant 439 000 habitants. Cette augmentation exige une planification rigoureuse pour éviter les pressions excessives sur l'environnement et les infrastructures. La croissance démographique d'Annaba s'accompagne de programmes colossaux de logements, d'équipements et de services, ce qui entraîne inévitablement une expansion des espaces urbains. Cette expansion influence la ville sur le plan spatial, générant une croissance urbaine qui se répercute sur la consommation des ressources naturelles et accentue les tensions sur le foncier vert, notamment les terrains forestiers et agricoles (Bousmaha, 2019). Les résultats préliminaires des données démographiques montrent que 451 953 habitants sont concentrés dans des zones agglomérées, représentant 72,23 % de la population totale. Ce mode de structuration et de répartition de la population nécessite une gestion adaptée pour optimiser l'utilisation de l'espace et des ressources disponibles.

Le périmètre d'étude de cette recherche inclut les communes les plus peuplées avec des densités de population variées. Les densités vont de 1000 habitants par km² à 5000 habitants par km² pour trois communes sur sept, de 100 habitants par km² à 500 habitants par km² pour trois autres communes, et une commune sur sept avec une densité faible de l'ordre de 70 habitants par km². Cette variation dans la densité de population entre les communes souligne la nécessité d'approches de gestion différenciées et adaptées aux spécificités locales pour assurer une gestion durable des ressources et un développement équilibré.

- **Répartition de la population par commune**

La répartition de la population par commune dans la Wilaya d'Annaba reflète une concentration importante dans certaines zones urbaines, avec une densité qui varie considérablement d'une commune à l'autre. En 2018, Annaba, la commune chef-lieu, comptait 268 697 habitants avec une densité de 5 374 habitants par km², la plus élevée de la région. Cette forte densité témoigne du caractère urbain de la commune d'Annaba, qui attire une population croissante en raison de ses infrastructures et de ses opportunités économiques. Elle représente également un défi majeur pour la gestion de l'espace et des ressources, notamment en ce qui concerne la création et la préservation de structures vertes dans un environnement très urbanisé.

À l'opposé, des communes comme Seraïdi, Chetaïbi et Treat présentent des densités beaucoup plus faibles, respectivement de 74, 63, et 60 habitants par km². Ces zones, en grande partie rurales ou situées dans des zones de relief marqué, comme les montagnes de l'Edough, sont moins peuplées. La faible densité dans ces communes offre des opportunités pour le développement de réserves naturelles et de corridors écologiques, qui jouent un rôle crucial dans la conservation de la biodiversité et dans la régulation climatique. Cependant, leur éloignement relatif et le faible accès aux services de base posent des défis pour les populations locales. El Bouni et Sidi Amar se démarquent également par des densités de 1 497 et 2 155 habitants par km², ce qui en fait des communes densément peuplées après Annaba. Ces communes, souvent considérées comme des zones périurbaines, absorbent une partie de la croissance démographique de la région centrale et sont soumises à une forte pression pour l'aménagement de nouvelles infrastructures. L'urbanisation rapide de ces zones nécessite une approche proactive de planification pour préserver les espaces verts et éviter une saturation qui pourrait nuire à la qualité de vie des habitants( **Figure 112**).

La répartition démographique par commune à Annaba révèle donc une dualité entre les zones fortement urbanisées et densément peuplées, nécessitant une gestion rigoureuse de l'espace, et les communes rurales ou montagneuses, moins peuplées, où les structures vertes et les espaces naturels peuvent être intégrés de manière plus extensive. Une telle analyse est essentielle pour adapter les stratégies de développement urbain et environnemental aux spécificités de chaque commune, en favorisant un équilibre entre urbanisation et préservation écologique .La croissance démographique d'Annaba représente à la fois un défi et une opportunité. Une gestion efficace de cette croissance est essentielle pour prévenir les pressions excessives sur l'environnement et les ressources urbaines, et pour garantir que les habitants puissent bénéficier d'un cadre de vie sain et durable. Les stratégies de développement doivent donc intégrer des mesures pour gérer cette croissance tout en préservant et en améliorant les structures vertes existantes, qui sont cruciales pour la durabilité écologique et le bien-être des habitants de la ville.

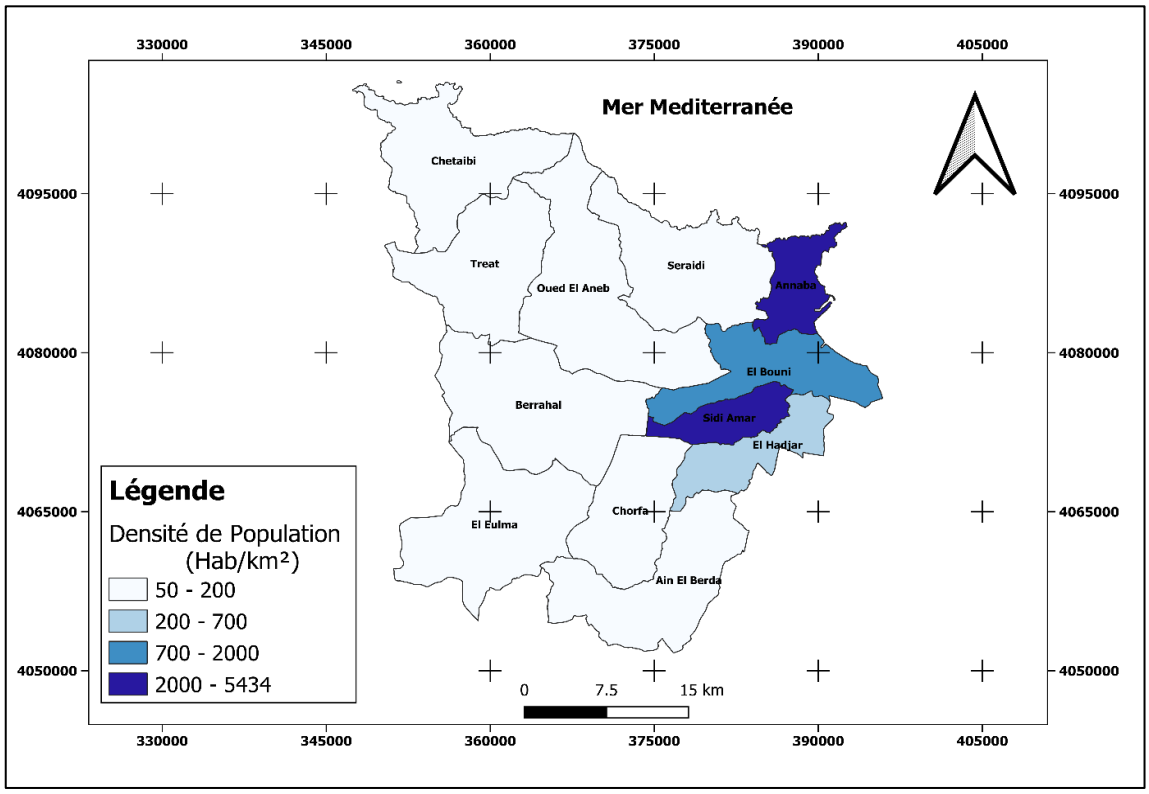



**Figure 112.**Densité de population par commune

## 3.5. Contexte Historique et Évolution de la Ville

Le contexte historique d'Annaba, anciennement connue sous le nom de Bône, constitue un pilier fondamental pour comprendre son évolution urbaine et l'organisation spatiale de ses structures vertes, en lien avec les objectifs de développement durable. Annaba est l'une des plus anciennes villes d'Afrique du Nord. Sa riche histoire, marquée par plusieurs périodes clés, a contribué à façonner son identité actuelle et à définir les dynamiques sociales, culturelles et économiques qui influencent encore aujourd'hui la planification de la ville.

L'histoire d'Annaba commence avec la fondation de la colonie phénicienne de Hippo Regius au 12e siècle avant notre ère. Hippo Regius, qui devint une cité majeure sous l'Empire romain, est également connue pour avoir été la résidence de Saint Augustin, figure

emblématique de l'Église latine, au 4e siècle. Cette période de l'Antiquité romaine fit de la ville un centre de commerce et de culture, bénéficiant de sa position stratégique en bord de mer. Les vestiges de cette époque, notamment les ruines romaines, témoignent de la richesse historique de la ville et de l'importance de préserver ces sites dans une optique de conservation patrimoniale et de développement de structures vertes autour de ces zones historiques pour valoriser le patrimoine urbain. La chute de l'Empire romain, Hippo Regius passa successivement sous le contrôle des Vandales au 5e siècle, des Byzantins au 6e siècle, puis des Arabes au 7e siècle, qui la renommèrent Bouna. Sous l'influence arabe, Annaba devint un centre commercial et culturel important du monde islamique, intégrant des éléments architecturaux et urbanistiques propres à cette période. Ce brassage culturel et religieux a profondément influencé l'identité de la ville, et l'intégration d'espaces verts dans les zones historiques permettrait de préserver et valoriser ce riche patrimoine pour les générations futures.

Au 16e siècle, Annaba fut intégrée à l'Empire ottoman, qui renforça son rôle stratégique en tant que port commercial. L'architecture de cette période, bien que partiellement effacée par les influences postérieures, demeure un élément central de l'identité d'Annaba. La préservation de ces édifices ottomans, notamment par la création de zones vertes autour des bâtiments historiques, contribuerait à la réhabilitation du patrimoine tout en offrant des espaces de détente aux habitants.

En 1832, Annaba fut occupée par les forces coloniales françaises et rebaptisée Bône. Sous l'occupation française, la ville subit une transformation majeure avec la construction d'infrastructures modernes, telles que des bâtiments publics, des routes et des installations portuaires. Cette période vit également l'émergence de quartiers résidentiels et industriels, influençant le tissu urbain d'Annaba. Cependant, ces changements rapides ont contribué à la perte de certains espaces verts traditionnels, remplacés par des infrastructures. Aujourd'hui, un effort est requis pour réintégrer des structures vertes dans ces zones densément urbanisées, afin de restaurer un équilibre environnemental dans le cadre de la gestion urbaine durable .

Après l'indépendance de l'Algérie en 1962, Annaba reprit son nom actuel et connut une croissance démographique rapide, stimulée par l'industrialisation et l'urbanisation. La ville devint un centre industriel majeur, notamment dans les secteurs de la sidérurgie et de la pétrochimie, avec des infrastructures concentrées autour du port et des zones industrielles. Cependant, cette industrialisation rapide a accru la pression sur les ressources naturelles et les espaces verts, générant des défis en termes de pollution et de dégradation environnementale. Dans ce contexte, la planification d'espaces verts dans les zones industrielles pourrait offrir des solutions pour atténuer les impacts environnementaux et promouvoir le bien-être des habitants.

L'évolution Urbaine d'Annaba s'est accompagnée de plusieurs plans d'aménagement visant à moderniser la ville tout en préservant son patrimoine historique. Des quartiers entiers ont été créés pour répondre à la demande croissante en logements . La conservation des espaces verts et la création de parcs urbains dans ces nouveaux quartiers sont capitales pour maintenir un équilibre entre l'urbanisation et le respect de l'environnement. Aujourd'hui, Annaba fait face à de nombreux défis liés à son urbanisation rapide, notamment la gestion de ses ressources naturelles, la préservation de son patrimoine historique et l'amélioration de ses infrastructures urbaines. Le développement de la ville doit tenir compte de l'importance de son héritage historique, en intégrant des structures vertes dans les zones patrimoniales et en favorisant un développement durable. Les autorités locales travaillent à mettre en œuvre des stratégies qui

visent à équilibrer croissance urbaine et durabilité, afin de préserver la richesse culturelle et historique de la ville tout en répondant aux besoins modernes de ses habitants . Ainsi, l'histoire riche d'Annaba, de l'Antiquité à nos jours, a façonné une ville dynamique et culturelle dont l'évolution urbaine continue de refléter cet héritage. L'adaptation de son développement aux enjeux environnementaux contemporains, par la préservation de son patrimoine et l'intégration de structures vertes, est essentielle pour garantir un avenir prospère et équilibré à cette métropole historique.

## 3.6. Analyse Globale de la structure verte

- **Méthodologies Utilisées pour l'Étude de l'Occupation des Sols**

L'analyse de l'occupation des sols dans la future métropole d'Annaba repose sur une combinaison de méthodologies géospatiales et de techniques de télédétection. Ces approches permettent une compréhension approfondie de la répartition spatiale des différentes classes de couverture terrestre et de leur évolution au fil du temps. La première étape de cette analyse implique l'utilisation d'images satellitaires haute résolution, qui fournissent une base de données précise pour cartographier et classifier les différentes catégories d'occupation des sols, incluant les zones résidentielles, industrielles, agricoles, et les espaces verts. Pour garantir une classification précise, plusieurs algorithmes de traitement d'image, tels que la classification supervisée, la classification non supervisée et l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), sont appliqués aux images. Ces méthodes permettent d'identifier avec précision les zones de végétation et d'autres types de couverture terrestre. La classification supervisée repose sur des échantillons de données terrain pour entraîner l'algorithme à reconnaître les différentes classes, tandis que la classification non supervisée est utilisée pour découvrir des motifs de couverture terrestre sans pré-assignassions.

Une fois la classification achevée, les données sont intégrées dans un système d'information géographique (SIG), où elles sont superposées à des cartes historiques et des données cadastrales pour étudier l'évolution de l'occupation des sols au cours des dernières décennies. L'utilisation d'un SIG facilite l'analyse temporelle des changements d'occupation, permettant de détecter les tendances de l'étalement urbain, de l'artificialisation des sols, et de la fragmentation des espaces verts. Cette approche est complétée par des visites de terrain pour valider et affiner les données recueillies par satellite, renforçant ainsi la fiabilité des résultats.

- **Impact de l'Occupation des Sols sur la Résilience Environnementale**

L'occupation des sols a un impact direct et profond sur la résilience environnementale de la métropole d'Annaba, en particulier dans un contexte de changement climatique et d'urbanisation rapide. La conversion des terres agricoles et naturelles en zones résidentielles et industrielles a réduit les espaces verts, compromettant leur capacité à fournir des services écosystémiques essentiels, tels que la régulation thermique, la purification de l'air, et la gestion des eaux de pluie. La réduction de ces espaces verts intensifie les effets d'îlots de chaleur urbains, augmente le ruissellement des eaux pluviales et aggrave les risques d'inondation, en particulier dans les zones à faible perméabilité. L'impact de l'occupation des sols sur la résilience environnementale est particulièrement visible dans la fragmentation écologique. La fragmentation des espaces verts entraîne la rupture des corridors écologiques, limitant ainsi la circulation des espèces et réduisant la biodiversité urbaine. Cette perte de connectivité écologique affaiblit la capacité des écosystèmes à s'adapter aux perturbations environnementales et aux variations climatiques, compromettant leur résilience à long terme.

La transformation rapide des sols vers une urbanisation incontrôlée met également en péril les ressources en eau, avec des conséquences néfastes sur les réserves souterraines. L'imperméabilisation des sols due aux infrastructures bétonnées empêche l'infiltration des eaux de pluie dans les nappes phréatiques, augmentant la vulnérabilité hydrique de la région. En réduisant les espaces verts, qui jouent un rôle de recharge aquifère, l'occupation des sols dégrade la résilience hydrologique de la ville, exacerbant les périodes de sécheresse. Pour renforcer la résilience environnementale d'Annaba, une gestion stratégique de l'occupation des sols est cruciale. Cela inclut la conservation et la restauration des espaces verts existants, la création de corridors écologiques pour maintenir la connectivité biologique, et la promotion de pratiques d'urbanisme durable, telles que les toitures végétalisées et les parcs urbains. Une planification proactive qui intègre l'importance des espaces verts permettrait de concilier croissance urbaine et préservation des ressources naturelles, assurant ainsi un développement résilient et durable de la future métropole d'Annaba.

### 3.6.1. Analyse de l'Occupation des Sols et Évolution des Espaces Verts

Pour une analyse rigoureuse de la structure verte d'Annaba et de son évolution, il est crucial d'examiner l'occupation des sols de la région en mettant en évidence les interactions entre les surfaces urbaines, agricoles, forestières et aquatiques, ainsi que les dynamiques de transformation de ces espaces dans un contexte de pression urbaine croissante. Annaba, avec son profil d'aire urbaine industrielle, se trouve aujourd'hui confrontée à des défis écologiques majeurs, exacerbés par une pollution atmosphérique importante due à la circulation des véhicules, les émissions industrielles, et le recul progressif des surfaces végétalisées. Ce phénomène est mesurable par des indicateurs de pollution, tels que les particules fines (PM10) et le dioxyde d'azote ($NO_2$), collectés par les stations de surveillance de la qualité de l'air, et qui ont un impact direct sur la santé publique et la biodiversité locale.

La carte d'occupation des sols (**Figure 113**) illustre la répartition des différentes classes d'utilisation des terres dans la wilaya d'Annaba. **Les zones urbaines**, marquées en rouge, dominent les environs d'Annaba et d'El Bouni, témoignant de l'expansion non maîtrisée des espaces bâtis qui empiètent sur les terrains autrefois destinés aux activités agricoles et forestières. Cette urbanisation effrénée a conduit à une fragmentation accrue des espaces verts, affaiblissant ainsi la connectivité écologique entre les différents éléments de la structure verte. Les corridors écologiques naturels, tels que les espaces forestiers et les cours d'eau, voient leur continuité interrompue, ce qui nuit à la circulation des espèces et à la résilience des écosystèmes locaux.

**Les espaces forestiers**, situés principalement dans le massif de l'Edough au nord de la région, représentent une composante cruciale de la structure verte. Ces zones boisées jouent un rôle clé dans la régulation climatique locale, la préservation de la biodiversité et la protection contre l'érosion. Cependant, ils sont menacés par l'empiétement urbain et les pratiques agricoles non durables. La diminution des zones forestières et des terres agricoles fertiles autour du lac Fetzara, comme l'indique la carte, est particulièrement préoccupante, car elle réduit les surfaces capables de capter le carbone et de modérer les températures locales, tout en mettant en péril les ressources naturelles essentielles.

**Les zones agricoles**, en jaune sur la carte, sont concentrées autour des plaines et constituent une ressource stratégique pour l'approvisionnement alimentaire de la région. Toutefois, ces surfaces agricoles sont progressivement transformées en zones urbanisées, du fait de la pression démographique et du besoin en nouveaux logements. Ce processus

d'urbanisation a non seulement réduit la capacité de production agricole locale, mais il a également aggravé le phénomène de pollution des sols et des eaux, en raison de l'utilisation accrue d'intrants chimiques et de l'accumulation de déchets.

En ce qui concerne **les espaces aquatiques**, le lac Fetzara et le réseau hydrographique environnant sont des éléments indispensables de la structure verte d'Annaba. Ces plans d'eau, représentés en bleu sur la carte, offrent non seulement des services écosystémiques importants en termes de régulation hydrique et de recharge des nappes phréatiques, mais ils soutiennent également une faune et une flore spécifiques. Cependant, les activités industrielles et urbaines intensives ont entraîné une pollution significative de ces ressources en eau, affectant les habitats aquatiques et la qualité de l'eau disponible pour la population et les activités agricoles.

La réalité de la structure verte à Annaba est donc marquée par des coupures, des liens affaiblis et des menaces sur la continuité écologique, dues principalement à une volonté de croissance urbaine et industrielle qui privilégie l'extension des espaces bâtis au détriment des zones naturelles. Pour pallier ces défis, il devient impératif d'intégrer des stratégies de gestion des espaces verts dans les politiques d'aménagement de la wilaya. Cela inclut la création de corridors écologiques pour rétablir la connectivité entre les espaces verts, la mise en place de ceintures vertes pour protéger les zones agricoles et la restauration des zones dégradées pour promouvoir la résilience des écosystèmes. Ainsi, une approche globale de l'occupation des sols, orientée vers la conservation et le développement durable, s'avère essentielle pour préserver le patrimoine naturel d'Annaba. Des efforts coordonnés entre les autorités locales, les urbanistes, et les acteurs environnementaux sont nécessaires pour inverser le processus de dégradation environnementale, en redéfinissant les priorités d'aménagement afin de répondre aux besoins croissants de la population tout en respectant les limites écologiques du territoire.

Les espaces non occupés, qu'il s'agisse de zones forestières non exploitées ou de terrains laissés en jachère, représentent des réserves foncières encore préservées de l'urbanisation. Ces espaces constituent un potentiel stratégique pour la région d'Annaba, en offrant des possibilités d'aménagement futur, que ce soit pour répondre aux besoins croissants d'expansion urbaine ou pour des projets de conservation environnementale. Leur valorisation pourrait, selon les priorités locales, soutenir des initiatives écologiques, renforcer la résilience des écosystèmes, ou encore fournir des zones tampons contre les pressions anthropiques.

Le réseau hydrographique de la région, dominé par le lac Fetzara et l'Oued Seybouse, joue un rôle central dans le maintien des équilibres hydriques et écologiques. Ces ressources en eau sont fondamentales pour le soutien de l'agriculture, l'approvisionnement industriel et les besoins domestiques, contribuant ainsi à la sécurité hydrique de la région. En outre, leur préservation et gestion durable sont essentielles pour le maintien des écosystèmes aquatiques locaux, qui dépendent de ces apports pour prospérer. La valorisation de ces ressources hydrologiques dans le cadre d'une gestion intégrée pourrait non seulement renforcer les écosystèmes, mais également soutenir un modèle de développement harmonieux, équilibrant exploitation économique et conservation environnementale.

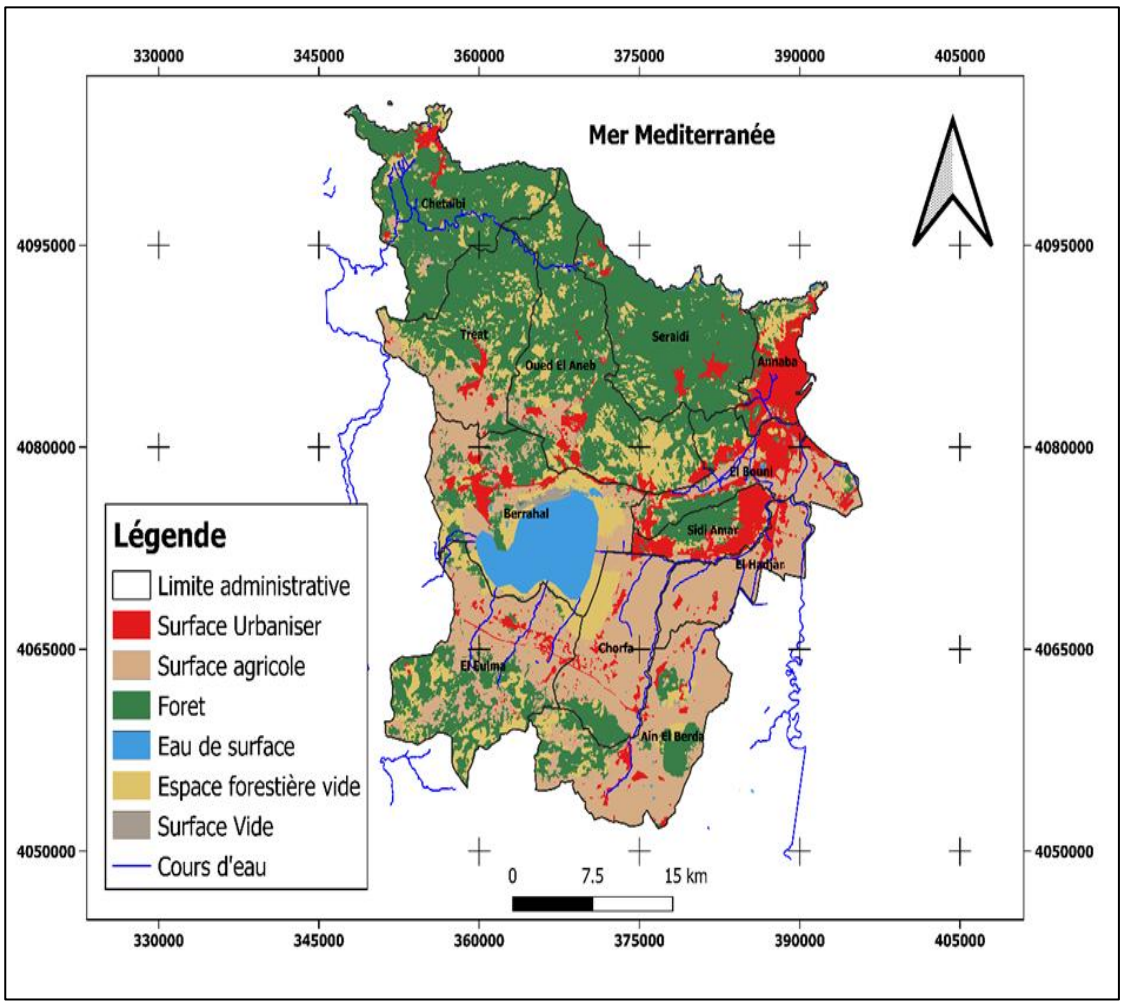



**Figure 113.** Distribution spatiale et couverture verte selon occupation des sols. Conception auteure

### 3.6.2. Typologie des Espaces Verts et Usage des Sols

Les espaces verts d'Annaba, constituant une composante très importante de l'infrastructure écologique urbaine, présentent une grande diversité en termes de localisation, de fonction et de conception. Cette diversité permet de distinguer trois principales typologies d'espaces verts : les verts urbains ou suburbains dont des espaces verts planifiés, et non planifiés, les parcs et forêts et les espaces verts agricoles. Les espaces verts urbains planifiés sont principalement situés dans les quartiers anciens et historiques de la ville, particulièrement dans le centre urbain(**Figure 114**). Ils comprennent des parcs publics, des jardins aménagés et des places urbaines conçues pour offrir des services récréatifs, esthétiques et environnementaux aux habitants. Ces espaces, organisés de manière stratégique, visent à améliorer le cadre de vie en fournissant des zones de détente et de loisirs, tout en jouant un rôle essentiel dans la réduction des îlots de chaleur et la purification de l'air.

**Figure 114.**Espaces verts urbains partie centre d'Annaba .Source :inconnue

Les espaces verts non planifiés incluent des espaces de reconquête écologique. Ces espaces résultent souvent d'anciens sites industriels ou de friches urbaines, transformés naturellement ou de manière volontaire en zones de végétation dense. En l'absence d'aménagement structuré, ces espaces peuvent servir de refuges pour la biodiversité urbaine et d'écosystèmes semi-naturels, mais ils nécessitent une gestion adaptée pour prévenir les risques environnementaux tels que la prolifération d'espèces invasives. Les espaces verts résiduels, quant à eux, se retrouvent dans des zones interstitielles entre les constructions et constituent des parcelles marginales, souvent délaissées. Bien que non aménagés, ces espaces jouent un rôle dans la trame verte de la ville en assurant une certaine continuité écologique entre les zones vertes plus importantes. Les forêts et parcs constituent une autre catégorie importante d'espaces verts dans le territoire d'Annaba. Ces zones, souvent situées en périphérie de la ville ou dans les zones de reliefs comme le massif de l'Edough (**Figure 115**.), représentent des écosystèmes naturels ou semi-naturels qui abritent une grande diversité de faune et de flore. Les forêts jouent un rôle écologique majeur, non seulement en tant que réservoirs de biodiversité, mais également dans la régulation du climat local, la purification de l'air et la rétention des sols, contribuant ainsi à la lutte contre l'érosion.

**Figure 115.**Partie maritime et terrestre du parc Edough .
Source https://www.leguidetouristique.com/

Les parcs, quant à eux, bien qu'aménagés et accessibles au public, offrent des espaces de récréation(**Figure117**.) tout en intégrant des zones de végétation dense qui favorisent la biodiversité. Ces espaces forestiers et de parcs sont essentiels pour assurer une continuité écologique entre les zones urbaines et les espaces naturels environnants, et ils permettent également d'atténuer les effets du changement climatique en réduisant les îlots de chaleur urbains tout en étant des espaces de recréation, d'agrément et de loisirs.

**Figure 116.**Espaces verts naturels du parc Edough.Source :inconnue .
Un lieu de pique-nique, d'épanouissement et de rencontre

Enfin, les espaces verts agricoles représentent les terres utilisées pour l'agriculture périurbaine autour de la ville. Bien que non strictement considérés comme des espaces verts récréatifs, ils contribuent significativement à la diversité des paysages urbains et fournissent des services écosystémiques essentiels, tels que la production alimentaire locale, le maintien de la biodiversité et la séquestration du carbone. Ces espaces agricoles, bien que menacés par l'expansion urbaine, constituent un atout pour le développement durable de la région, en offrant des opportunités de valorisation agroécologique et de préservation de l'identité rurale autour du milieu urbain.

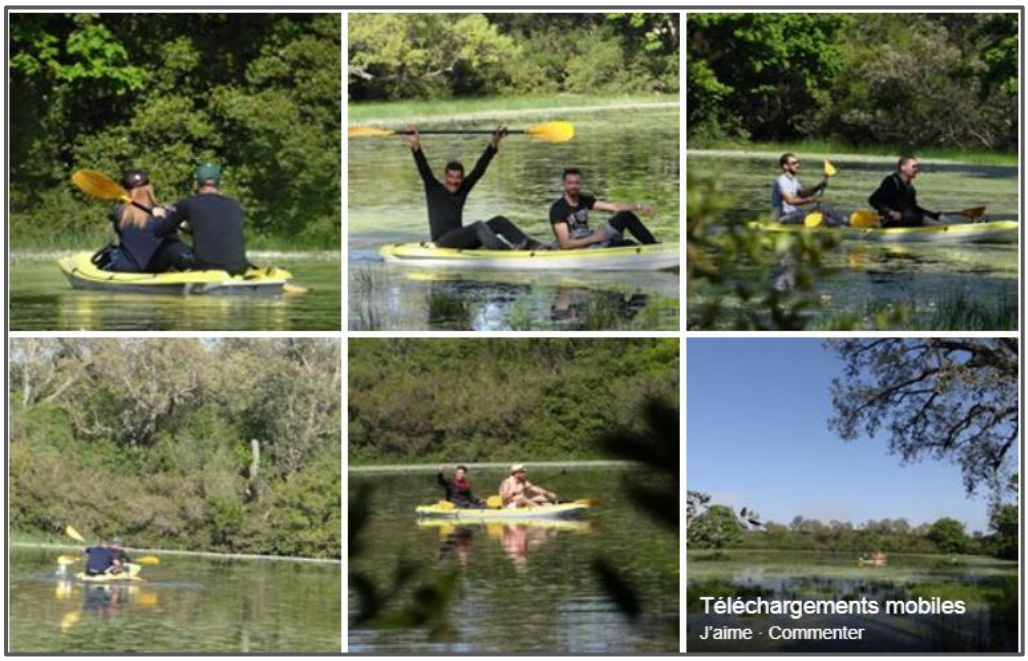



**Figure 117.**Espaces verts de loisirs du Parc Edough. Source :inconnue .

En combinant ces différentes typologies d'espaces verts, le territoire d'Annaba possède un ensemble de trames vertes variées, mais inégalement réparties .Ceci génère globalement une rupture dans la structure verte de la future métropole. Tandis que les zones centrales bénéficient de la présence d'espaces verts planifiés, les nouvelles zones urbaines et les franges périurbaines, en pleine expansion, restent souvent sous-équipées en termes de verdure. Ce déséquilibre dans l'occupation des sols révèle une priorité accordée à l'urbanisation rapide aux dépens de la planification écologique, un choix qui compromet à long terme la qualité de vie des habitants et la résilience environnementale de la ville.

L'usage des sols à Annaba met donc en évidence un déséquilibre dans la distribution des espaces verts, reflet d'une planification urbaine qui ne privilégie pas suffisamment les infrastructures vertes. Le développement rapide de la ville, particulièrement après la période coloniale et au début de l'industrialisation, a souvent relégué les espaces verts au second plan, favorisant l'expansion des zones résidentielles et industrielles. En conséquence, les espaces verts sont principalement concentrés dans les zones historiques, tandis que les quartiers développés après l'indépendance souffrent d'un déficit flagrant d'espaces verts structurés (Noui, 2009). Ce manque de verdure dans les nouveaux quartiers se traduit par des impacts significatifs sur la qualité de vie, notamment en termes de régulation thermique, de bien-être social et de réduction de la biodiversité urbaine.

### 3.6.3. Réservoirs et Corridors Écologiques : Analyse Contextuelle et Pertinence

Les corridors écologiques sont essentiels pour la préservation de la biodiversité et le maintien de l'intégrité écologique dans la région d'Annaba. Ils jouent un rôle déterminant en assurant la connectivité entre différents habitats naturels, facilitant ainsi les mouvements et interactions des espèces animales et végétales. Ces corridors permettent aux populations de se déplacer, de se reproduire et de s'adapter aux changements environnementaux, garantissant ainsi leur résilience face aux pressions croissantes de l'urbanisation.

- **Réservoirs Écologiques**

Les réservoirs écologiques de la région comme illustrés dans la **Figure 118.** ci-dessous , incluent des zones stratégiques telles que :

-Le massif de l'Edough, une aire protégée abritant une biodiversité exceptionnelle, allant des forêts de chêne-liège aux espèces animales endémiques comme le triton de Poiret.

-Les zones humides, comme le lac Fetzara, qui jouent un rôle critique dans le maintien des habitats aquatiques et humides, nécessaires à de nombreuses espèces fauniques et floristiques.

-Les milieux agricoles, qui, bien que soumis à des pressions anthropiques, continuent de fournir des services écosystémiques précieux tels que la séquestration du carbone et la régulation climatique. Ces réservoirs assurent non seulement des fonctions de conservation, mais servent également de pôles de biodiversité permettant aux espèces d'accomplir leur cycle de vie complet. Ils agissent comme des « poumons écologiques » pour la ville d'Annaba, contribuant à la résilience environnementale face aux défis de l'urbanisation et du changement climatique.

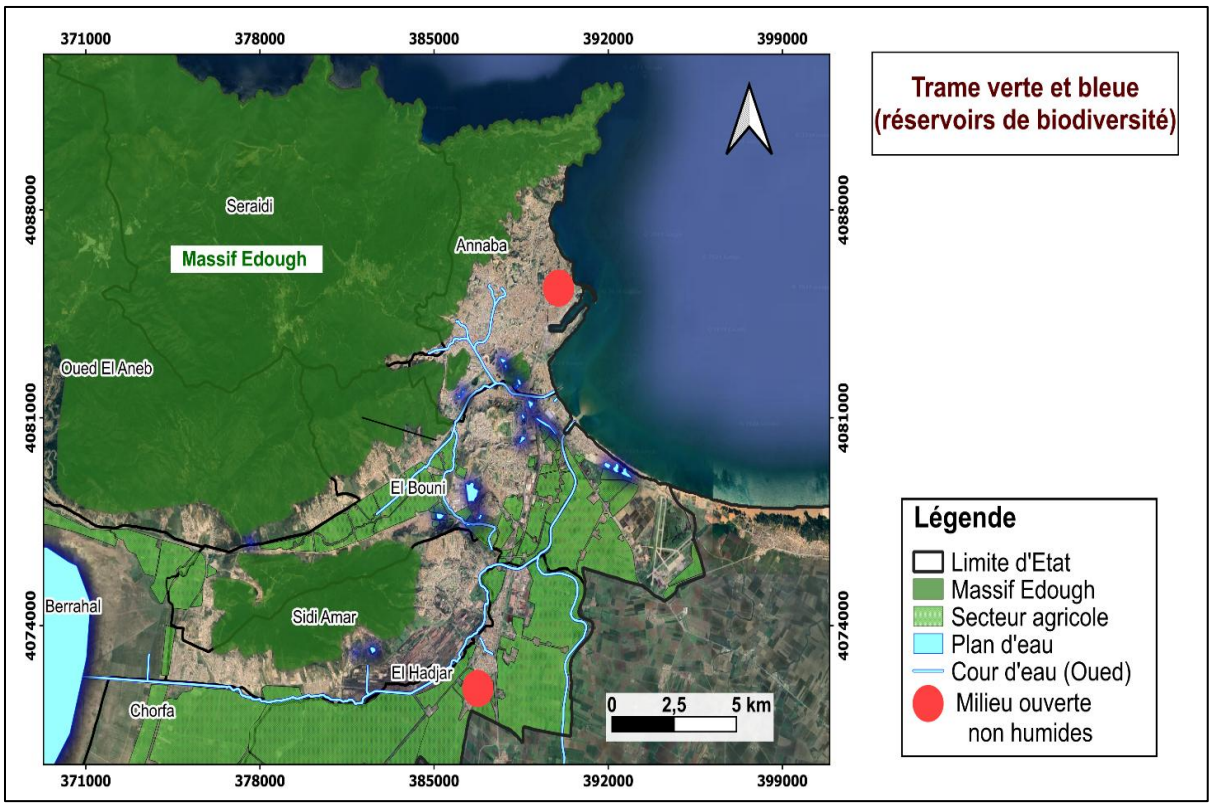



**Figure 118.**Les réservoirs de biodiversité

La **Figure 119** illustre la répartition des réservoirs de biodiversité par échelle dans la région de Annaba, en Algérie, dans le cadre de la mise en œuvre de la trame verte et bleue. Cette approche stratégique, qui vise à concilier préservation de la biodiversité et développement territorial, met en évidence l'importance des réservoirs écologiques à différentes échelles pour garantir la connectivité et la résilience des écosystèmes.

**À l'échelle nationale**, le Massif d'Edough, visible sur la carte, se distingue comme un réservoir de biodiversité majeur. Cette zone forestière constitue un habitat essentiel pour de nombreuses espèces endémiques et protégées, tout en jouant un rôle fondamental dans la

régulation des équilibres écologiques à l'échelle du pays. **À l'échelle régionale**, la figure met en avant des secteurs agricoles, des cours d'eau majeurs (oueds) et des zones en friche qui contribuent à maintenir la dynamique des écosystèmes locaux. Ces espaces servent non seulement de zones de refuge pour certaines espèces, mais agissent également comme des corridors écologiques, facilitant les déplacements et les interactions biologiques nécessaires au maintien de la biodiversité.

**Enfin, à l'échelle locale**, les réservoirs comprennent des zones forestières et agricoles qui jouent un rôle primordial dans la fourniture de services écosystémiques tels que la protection des sols, la régulation des flux hydriques et le soutien à une agriculture durable. Ces éléments, bien que de moindre envergure par rapport aux niveaux national et régional, contribuent néanmoins de manière significative à la connectivité écologique globale de la région. Les différents éléments cartographiés, tels que les cours d'eau, les plans d'eau et les secteurs en friche (voir figure), témoignent de la diversité des composantes de la trame verte et bleue. Les cours d'eau, en particulier, jouent un rôle structurant en reliant les différentes zones écologiques, tandis que les plans d'eau constituent des points de ressources essentiels pour la faune et la flore locales.

Par ailleurs, les friches, souvent perçues comme des espaces improductifs, représentent un fort potentiel pour la régénération écologique et l'amélioration de la connectivité des habitats. Cartographier ces éléments offre une vision intégrée des réservoirs de biodiversité dans la région de Annaba, et constitue un outil précieux pour les acteurs impliqués dans la planification territoriale. Elle permet d'orienter les décisions vers une gestion durable des ressources naturelles et une meilleure prise en compte des enjeux écologiques dans l'aménagement du territoire.

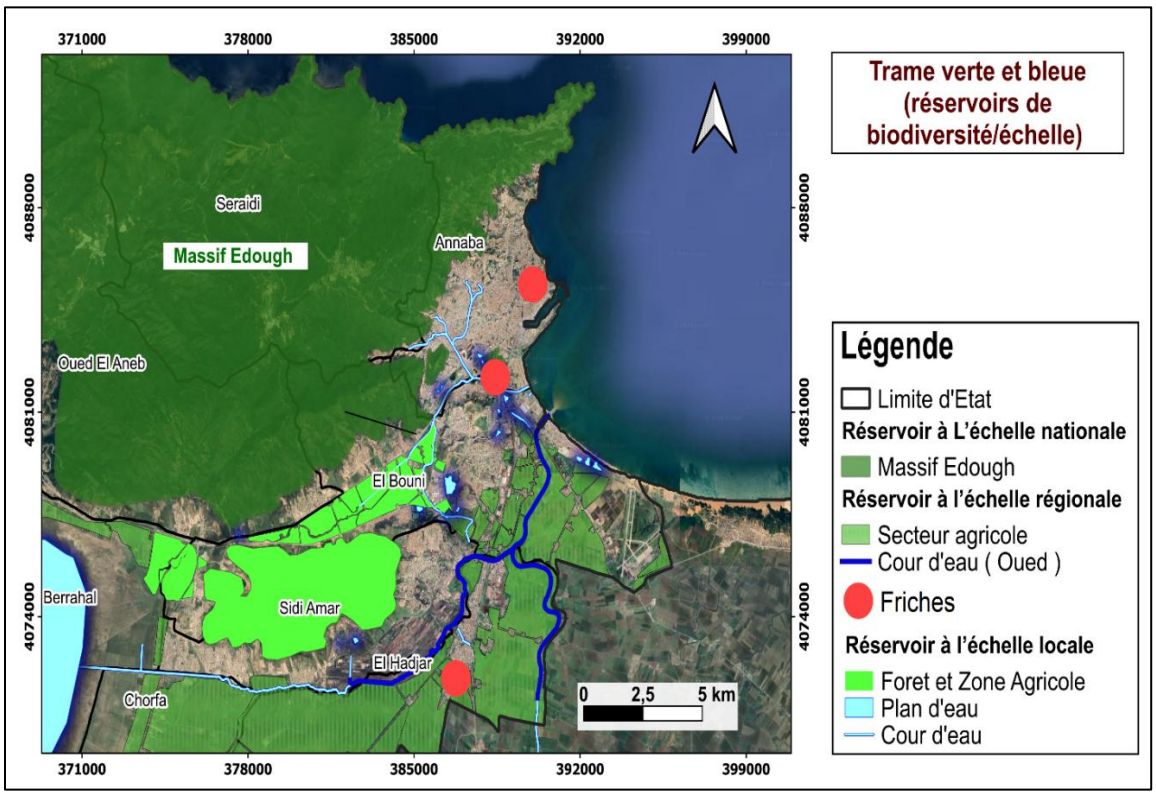



**Figure 119.** réservoirs de Biodiversité par échelle

- **Corridors Écologiques**

Les corridors écologiques jouent un rôle déterminant dans la connectivité entre les réservoirs de biodiversité, en facilitant la migration et les interactions des espèces au sein du territoire étudié. Dans la région de Annaba, ces corridors se distinguent par leur diversité et leur intégration dans un réseau écologique global visant à atténuer les effets de la fragmentation des habitats provoquée par une urbanisation croissante et des pressions anthropiques variées. Ces corridors sont particulièrement importants pour contrecarrer les effets de la fragmentation des habitats causée par l'urbanisation rapide. Ils permettent non seulement de maintenir une diversité biologique mais renforcent également les services écosystémiques tels que la régulation hydrique et la pollinisation.Ils sont illustrés dans la **Figure 120** ci-dessous.

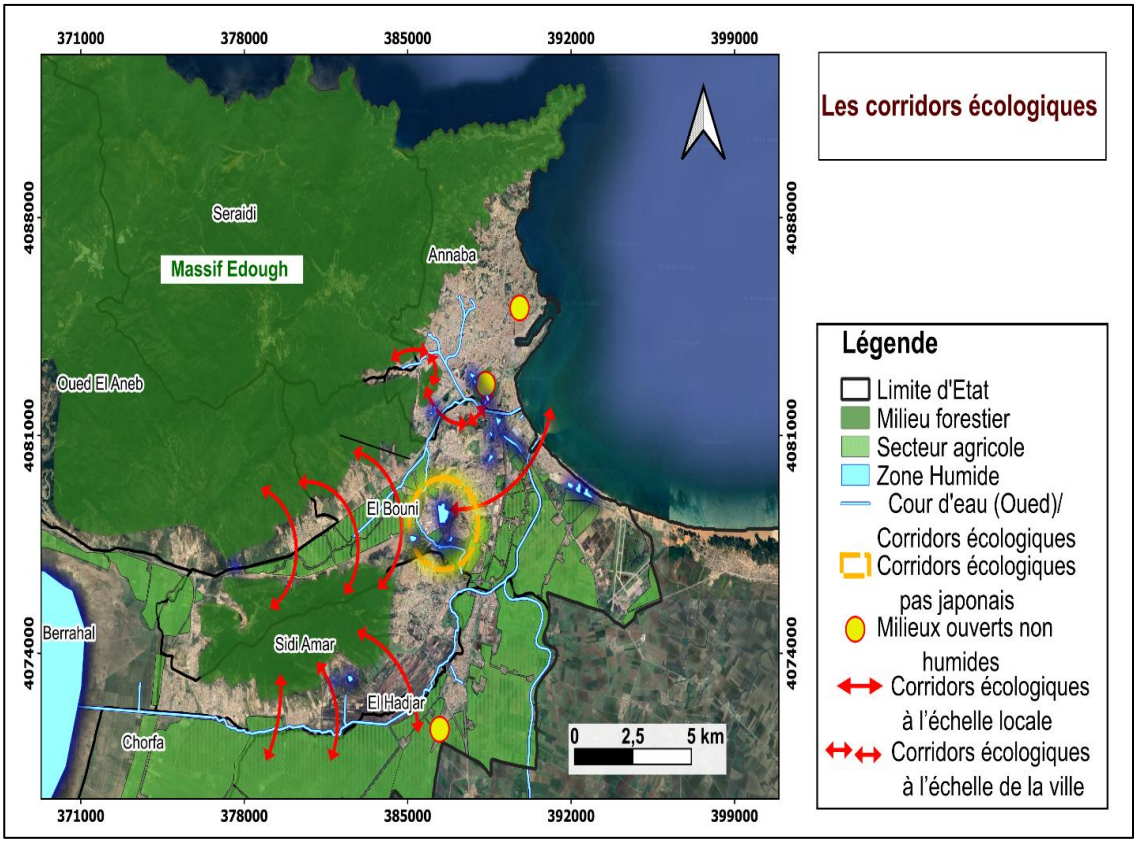



**Figure 120**.Les corridors écologiques

Les cours d'eau majeurs, tels que l'Oued Seybouse et l'Oued Meboudja, constituent des éléments centraux de ce réseau. Ces cours d'eau, représentés dans la **Figure 121**, traversent des milieux variés, incluant des zones agricoles et forestières, et longent des bandes riveraines riches en végétation, ce qui en fait des voies de passage essentielles pour les espèces aquatiques et terrestres. Leur rôle est particulièrement critique dans le maintien de la diversité biologique locale et régionale. Les bandes riveraines et les haies naturelles, souvent présentes le long des zones agricoles, établissent des ponts écologiques qui relient les espaces forestiers aux secteurs cultivés, assurant une transition écologique fluide.

Ces connexions sont bien visibles dans la **Figure 121**, qui met en évidence les principales zones agricoles structurantes du territoire. Par ailleurs, les espaces ouverts, tels que les friches industrielles ou agricoles et les zones non humides, complètent ce maillage écologique en fournissant des habitats temporaires ou alternatifs pour les espèces.

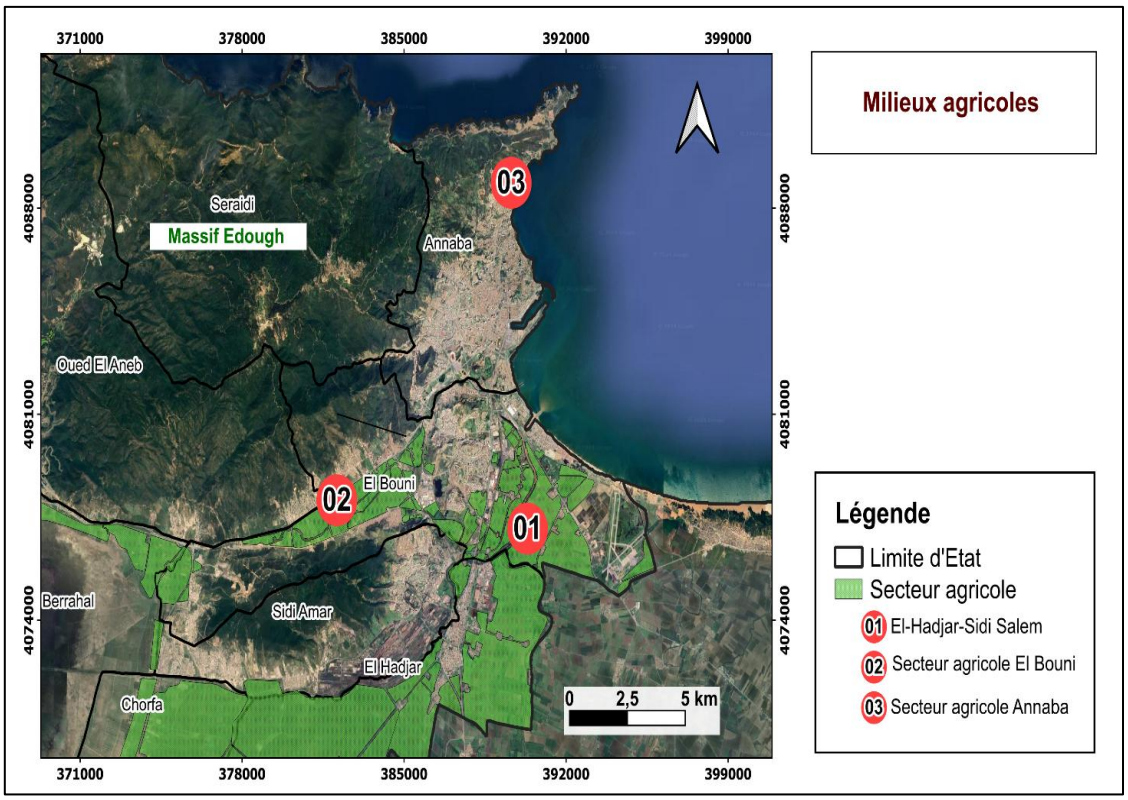



**Figure 121.**Les milieux agricoles

Les milieux aquatiques et humides, tels que les marécages et les zones humides autour de Chorf et Sidi Salem, jouent également un rôle majeur en tant que zones refuges pour de nombreuses espèces animales et végétales. Ces zones, en interaction avec les oueds, agissent comme des régulateurs hydriques et des éponges naturelles pour les cycles de l'eau. Ces milieux, bien que souvent négligés, jouent un rôle important pour la biodiversité, comme illustré dans la **Figure 122** qui présente les friches portuaires et agricoles en lien avec le réseau écologique.

Enfin, les milieux forestiers(**Figure 123**), représentés par le massif d'Edough et d'autres formations boisées, complètent ce réseau écologique. Ces espaces, riches en biodiversité, sont essentiels pour les échanges génétiques entre populations animales et végétales. Le massif d'Edough, classé parc national, abrite des espèces emblématiques telles que le chêne-liège et le triton de Poiret, comme montré dans la figure "Milieux forestiers et milieux non humides ouverts".

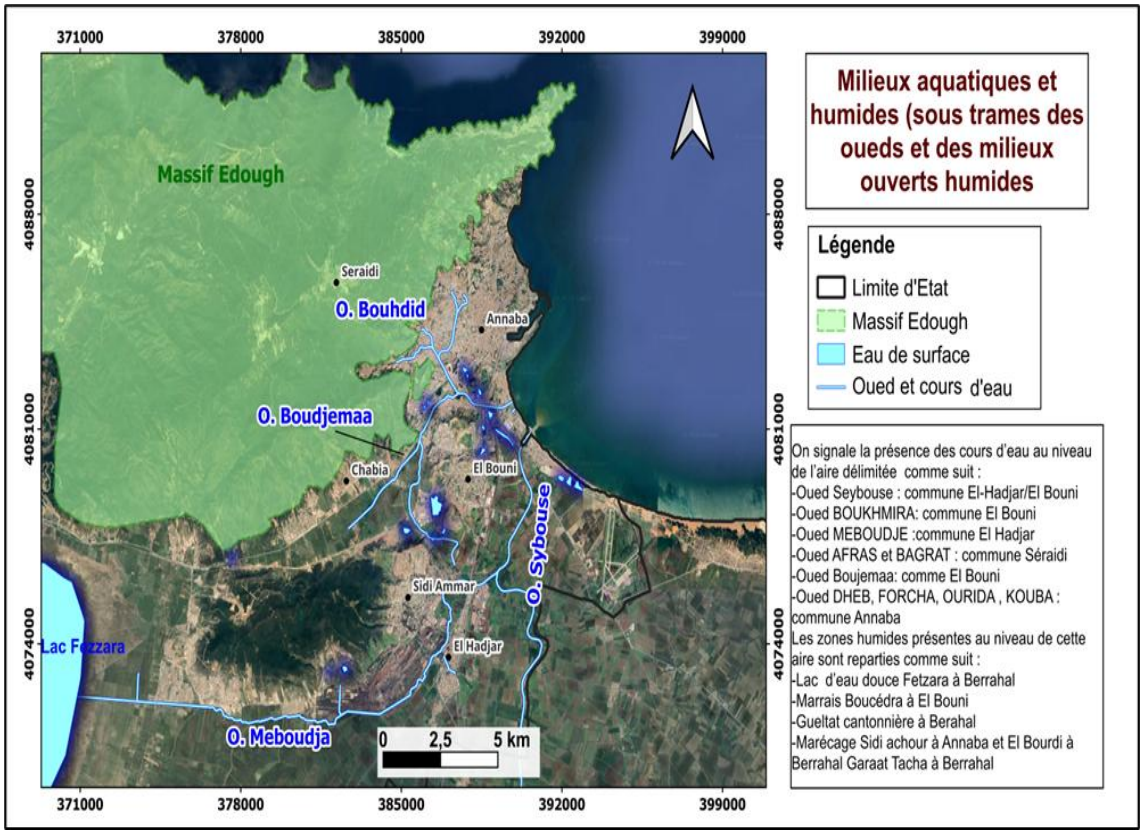



**Figure 122.**Les milieux aquatiques

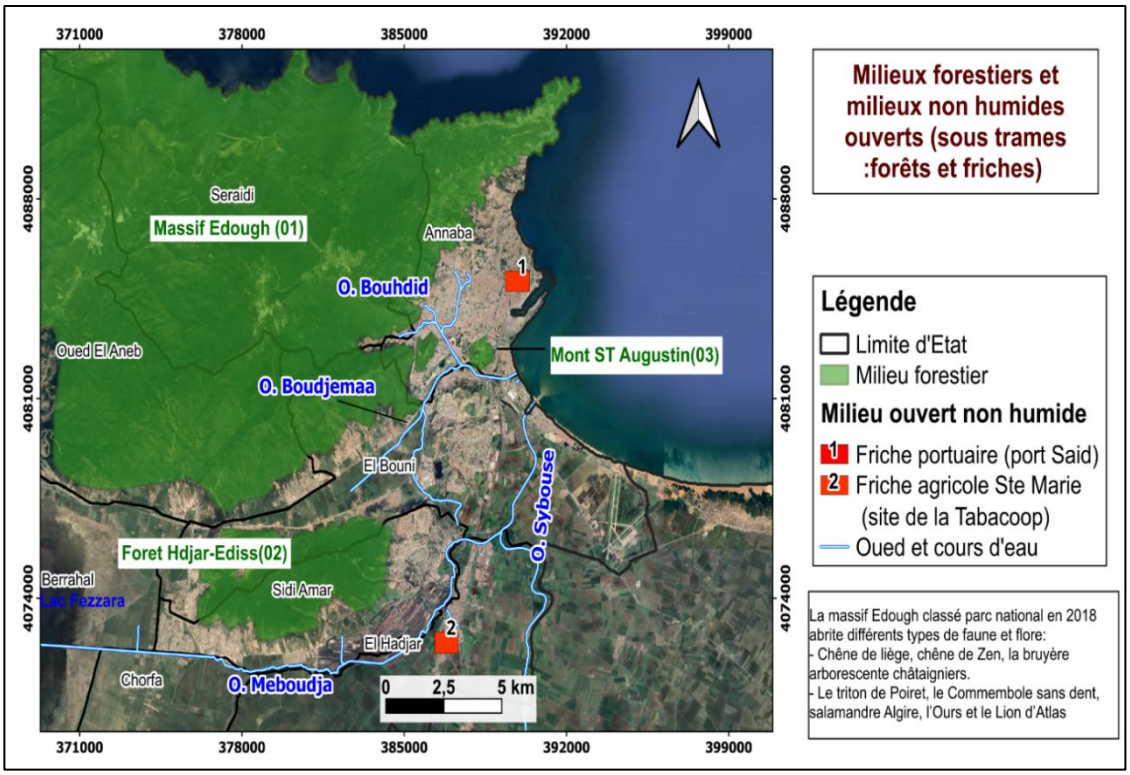



**Figure 123.**Les milieux forestiers non humides ouverts

Malgré leur importance écologique, les réservoirs et corridors d'Annaba sont soumis à des pressions croissantes et en conséquence sont confrontés au défis suivants :

-La fragmentation des habitats, due à l'étalement urbain et aux infrastructures routières.
-La dégradation des zones humides et des milieux ouverts, causée par, l'urbanisation , l'industrialisation et l'agriculture intensive.
-La faiblesse des politiques de conservation, qui ne reconnaissent pas pleinement l'importance de ces infrastructures écologiques.

Cependant, des opportunités existent pour renforcer la résilience écologique de la région. La mise en œuvre de stratégies intégrées, telles que l'aménagement de zones tampons autour des réservoirs et la restauration des corridors dégradés, pourrait améliorer significativement la connectivité écologique. En intégrant ces approches dans les plans de développement urbain, Annaba pourrait non seulement préserver ses ressources naturelles, mais également renforcer son attractivité en tant que métropole durable.

Les réservoirs et corridors écologiques d'Annaba, s'ils sont bien protégés et connectés, peuvent jouer un rôle central dans la transition vers un modèle de développement urbain durable. Leur intégration dans la trame verte et bleue régionale est essentielle pour garantir la cohabitation harmonieuse entre l'homme et la nature, tout en répondant aux besoins socio-économiques de la future métropole. Cette approche nécessite une coordination interdisciplinaire et un engagement fort des parties prenantes pour transformer ces éléments en leviers de durabilité et de résilience.

### 3.6.4. Fragmentation des Espaces Verts et Problématiques d'Urbanisation de la future métropole

La fragmentation de la structure verte à Annaba est une conséquence directe d'une urbanisation mal planifiée, où les espaces composant cette dernière sont souvent considérés comme des éléments secondaires ou résiduels dans la dynamique urbaine. L'étalement urbain incontrôlé, en particulier dans les zones périphériques de la ville, conduit à une conversion rapide de certains espaces verts en zones résidentielles ou en infrastructures routières et industrielles. Ce processus entraîne une perte de continuité verte , phénomène qui engendre des impacts écologiques et sociaux significatifs et compromet le potentiel de la ville à devenir une métropole durable.

Le développement rapide de la ville, sans une stratégie solide de préservation et de gestion des espaces verts, contribue non seulement à la perte de biodiversité ,mais aussi à l'aggravation des conditions de vie urbaine. La densification croissante des zones bâties intensifie les îlots de chaleur urbains et accentue les problèmes de pollution atmosphérique, créant des environnements de plus en plus minéralisés où la végétation devient rare. Cette situation affecte directement le bien-être des habitants, limitant leur accès à des espaces de détente et de loisirs essentiels pour la qualité de vie en milieu urbain. La réduction des espaces verts (Noui,2009) contribue également à l'isolement de certaines communautés, en restreignant l'inclusion et l'équité sociale, car les quartiers périphériques se retrouvent souvent dépourvus d'infrastructures vertes adaptées.

Sur le plan écologique, la fragmentation affecte des fonctions environnementales importantes . La disparition des zones végétalisées réduit la capacité de la ville à réguler les températures, à gérer les eaux de pluie et à maintenir un bon niveau de qualité de l'air. En effet, les espaces verts jouent un rôle majeur dans la régulation thermique, particulièrement en réduisant les îlots de chaleur grâce à l'ombre et à l'évapotranspiration des plantes. De plus, en l'absence de continuité verte, les corridors écologiques indispensables au déplacement de la faune et à la propagation de la flore sont brisés, menaçant ainsi la résilience des écosystèmes locaux face aux changements climatiques et aux pressions anthropiques.

Pour répondre à ces défis, une gestion proactive de la structure verte d'Annaba est impérative. Cette gestion devrait s'appuyer sur une approche intégrée qui valorise les trames vertes non seulement comme des éléments esthétiques, mais aussi comme des infrastructures écologiques essentielles. Les politiques urbaines devraient prioriser la conservation, l'expansion et la reconnectivité des espaces verts, en particulier dans les zones à forte densité et dans les nouveaux quartiers. Cela pourrait inclure des mesures de protection des espaces naturels restants, la création de parcs et de jardins dans les zones urbaines, ainsi que l'aménagement de corridors écologiques pour assurer la continuité entre les différents espaces verts. En intégrant les espaces verts dans une vision d'urbanisme durable, Annaba peut relever les défis liés à la fragmentation et assurer un développement harmonieux et équilibré. La mise en place de politiques publiques visant à reconnecter et à protéger les espaces verts permettrait non seulement de préserver les services écosystémiques, mais aussi de renforcer le bien-être des résidents et de promouvoir une ville inclusive et résiliente.

### 3.6.5. Cartographie de la Structure Verte d'Annaba via SIG (QGIS)

- **Téléchargement des images satellitaire haute résolution de la zone du grand Annaba :** La cartographie de la structure verte de la ville d'Annaba repose sur l'utilisation des images satellitaires haute résolution, combinées aux outils des systèmes d'information géographique (SIG), pour une analyse approfondie des espaces verts et de l'infrastructure urbaine. Le processus commence par le téléchargement des images satellitaires couvrant la zone du grand Annaba, afin d'obtenir une base de données visuelle riche et détaillée pour analyser la répartition des espaces verts dans le contexte urbain. Ces images satellitaires sont ensuite prétraitées pour éliminer les zones d'ombre et améliorer la clarté visuelle. Le traitement colorimétrique appliqué aux images permet de distinguer clairement les éléments naturels et artificiels, facilitant ainsi l'identification des routes, des bâtiments, et des espaces verts.

Ce processus de traitement est primordial pour garantir une précision maximale dans l'analyse spatiale. Les images traitées sont intégrées dans un SIG et superposées à des données géoréférencées. Cette intégration permet de créer des couches spécifiques pour chaque type d'élément urbain, notamment les infrastructures vertes et les zones construites. Le SIG offre ainsi une plateforme dynamique pour visualiser et analyser la structure verte de manière systématique. La figure ci-dessous **(Figure 124 )** présente une vue détaillée de la région du grand Annaba, avec les routes et les bâtiments clairement identifiés à partir des images satellitaires. Cette carte constitue un outil essentiel pour les urbanistes et les décideurs, fournissant une vue d'ensemble des corridors écologiques, des espaces verts, et des zones urbanisées. Elle facilite également la prise de décisions éclairées pour la préservation et l'expansion des espaces verts dans un cadre de développement urbain durable.

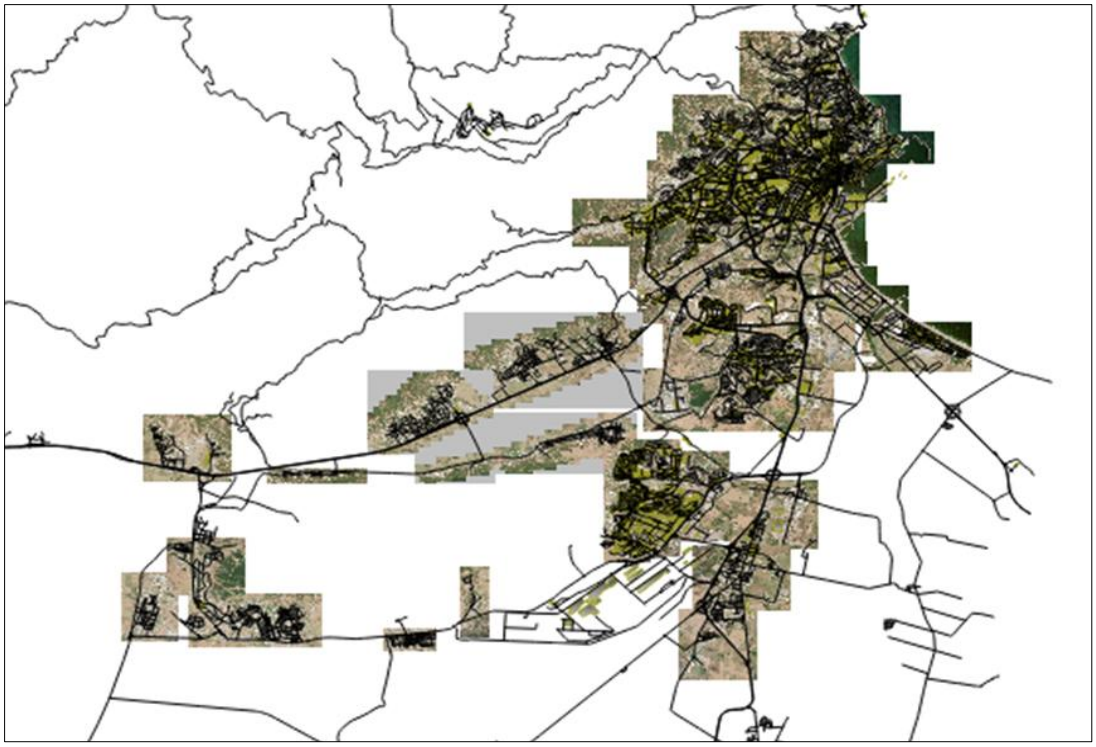


**Figure 124.** Identification et cartographie des espaces verts à Annaba via l'imagerie satellitaire

➢ **Analyse et traitement des données géospatiales**

- **Création de la couche Route et BATI**

Dans le cadre de la planification de la future métropole d'Annaba, la création de couches géospatiales pour les infrastructures routières et les bâtiments constitue une étape clé dans l'analyse et la cartographie des espaces verts. En se basant sur des images satellitaires haute résolution et des données cadastrales, cette approche permet d'établir une base de données géospatiale fiable et précise. Les routes sont numérisées en fonction de leur hiérarchisation (routes principales, secondaires et tertiaires), tandis que les bâtiments sont cartographiés selon leur usage (résidentiel, commercial, industriel, public). Cette classification détaillée permet de mieux comprendre les dynamiques d'occupation du sol et les besoins en matière d'infrastructure pour une métropole en pleine expansion. Ces informations sont intégrées dans un système d'information géographique (SIG), permettant la génération de couches distinctes et facilitant les analyses ultérieures. La validation des données est minutieusement effectuée, avec des comparaisons aux données de référence et, si nécessaire, des vérifications de terrain pour garantir une exactitude maximale.

Cette rigueur méthodologique permet d'assurer que les décisions d'urbanisation reposent sur des données précises, contribuant ainsi à un développement urbain optimal et durable. L'analyse spatiale approfondie qui suit la création des couches inclut l'évaluation de la densité et de la distribution des routes et bâtiments. Cette analyse met en évidence la connectivité des espaces verts par rapport aux infrastructures urbaines. Une telle compréhension des interactions spatiales est nécessaire pour identifier les zones nécessitant des améliorations, tant en termes d'accessibilité que de continuité écologique. En se focalisant sur la future métropole, cette approche permet de détecter les corridors potentiels pour renforcer les espaces verts et d'assurer une meilleure intégration écologique.

La carte de la répartition des routes et des bâtiments dans Annaba (**Figure 125**) illustre cette distribution, montrant les routes (en noir) et les bâtiments (en rouge) dans l'aire urbaine de la future métropole d'Annaba. Cette représentation visuelle est un outil essentiel pour les urbanistes et les décideurs, car elle offre une vue d'ensemble de la structure urbaine et de la manière dont les infrastructures sont distribuées par rapport aux espaces verts. En se basant sur cette répartition, Annaba peut élaborer des stratégies de développement qui renforcent l'interaction entre les espaces verts et le tissu urbain, favorisant ainsi une métropole résiliente et durable. En intégrant ces données, la ville pourra mettre en place des politiques qui maximisent les avantages écologiques et sociaux des espaces verts tout en assurant une croissance harmonieuse, répondant aux besoins d'une métropole moderne et respectueuse de l'environnement.

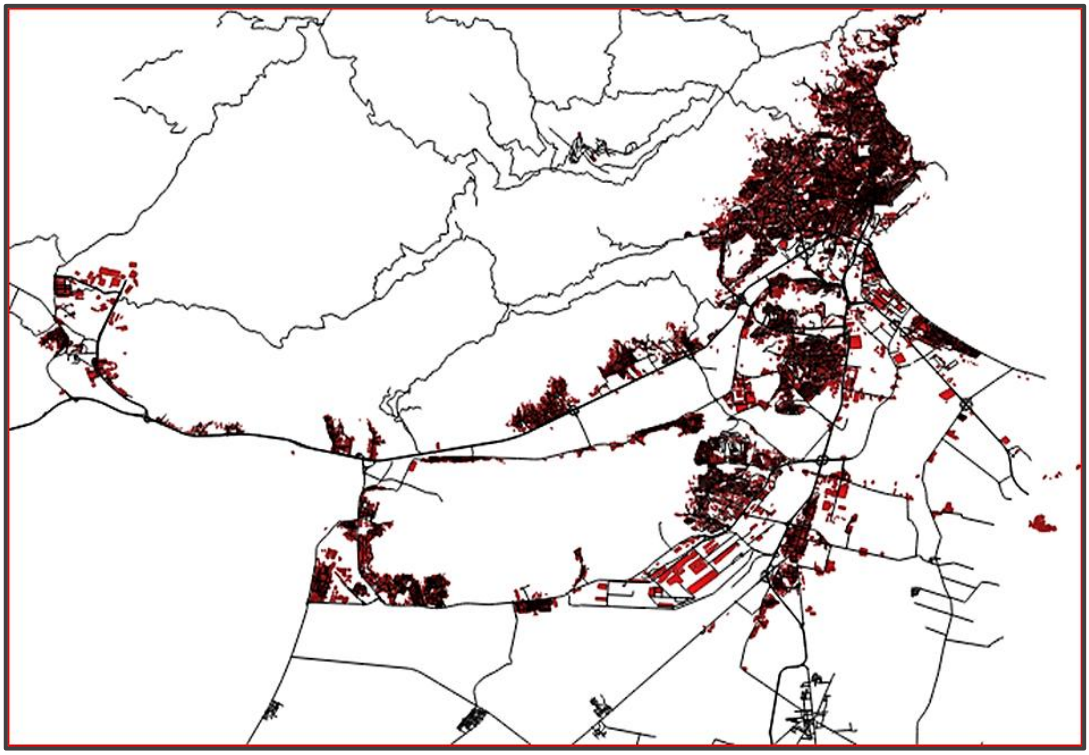


**Figure 125.**Répartition des Routes et des Bâtiments à Annaba

- **Classification et extraction des espaces verts :pour définir la structure verte**

La **Figure 126** présente l'identification et la classification des espaces verts de la future métropole d'Annaba à partir d'images satellitaires haute résolution. Cette approche permet une délimitation précise des zones végétalisées au sein du tissu urbain, facilitant l'analyse de la répartition et de la connectivité écologique. Grâce à la précision géospatiale des images, chaque parcelle végétale, espace urbain et infrastructure construite est fidèlement représenté, offrant ainsi une base solide pour une planification urbaine durable et une meilleure gestion de l'environnement urbain.

**Figure 126.** Image Haute Résolution pour la classification et l'Extraction des espaces Verts

Dans ce cadre, un traitement méticuleux a été appliqué pour supprimer manuellement les zones d'ombre, susceptibles de générer des erreurs de classification. Cette étape vise à éliminer toute ambiguïté causée par les ombres projetées des bâtiments et autres structures, garantissant une identification précise des espaces verts.

L'illustration ci-dessous (**Figure 127**) met en évidence l'impact de cette suppression des ombres, qui renforce la clarté et la lisibilité des données géospatiales. En combinant des outils de classification automatique avec des corrections manuelles, cette approche hybride permet une extraction fiable et une représentation exacte de la distribution des espaces verts. Ce traitement rigoureux des données géospatiales fournit une base essentielle pour la planification urbaine et la gestion environnementale, soutenant ainsi les stratégies de développement durable de la ville d'Annaba. Cette cartographie fine devient un outil stratégique pour les décideurs et les urbanistes, facilitant l'identification des zones de végétation existantes et l'identification des corridors écologiques à développer.

**Figure 127.**Suppression manuelle des zones d'ombre

- **Traitement coloré de l'image SAT**

Dans le cadre de l'analyse géospatiale de la ville d'Annaba, un traitement colorimétrique avancé a été appliqué aux images satellitaires haute résolution pour différencier avec précision les classes de couverture terrestre, notamment les espaces verts. Ce procédé permet de visualiser les variations de végétation et de couverture du sol de manière fine, facilitant ainsi l'interprétation des données.

La figure présentée ci-dessous(**Figure 128**) illustre les résultats de cette méthode de traitement appliquée à la ville d'Annaba . Les zones à végétation dense sont représentées en vert foncé, tandis que les espaces bâtis et les secteurs à végétation clairsemée ou absente apparaissent dans une palette de couleurs allant du jaune à l'orange, jusqu'au bleu pour les zones imperméabilisées. Ce code de couleurs optimisé rend l'identification des espaces verts plus intuitive et permet une évaluation précise de leur répartition spatiale au sein du tissu urbain. L'utilisation de ce traitement colorimétrique constitue une étape importante pour la classification et l'extraction des espaces verts dans les données géospatiales. Il contribue non seulement à une analyse plus rapide et plus précise des infrastructures écologiques, mais aussi à une gestion optimisée de la trame verte urbaine. Cette approche considérée essentielle ,notamment dans le contexte des études environnementales et des projets de conservation, elle soutient les efforts de planification pour améliorer la résilience écologique et la qualité de vie au sein de la future métropole d'Annaba.

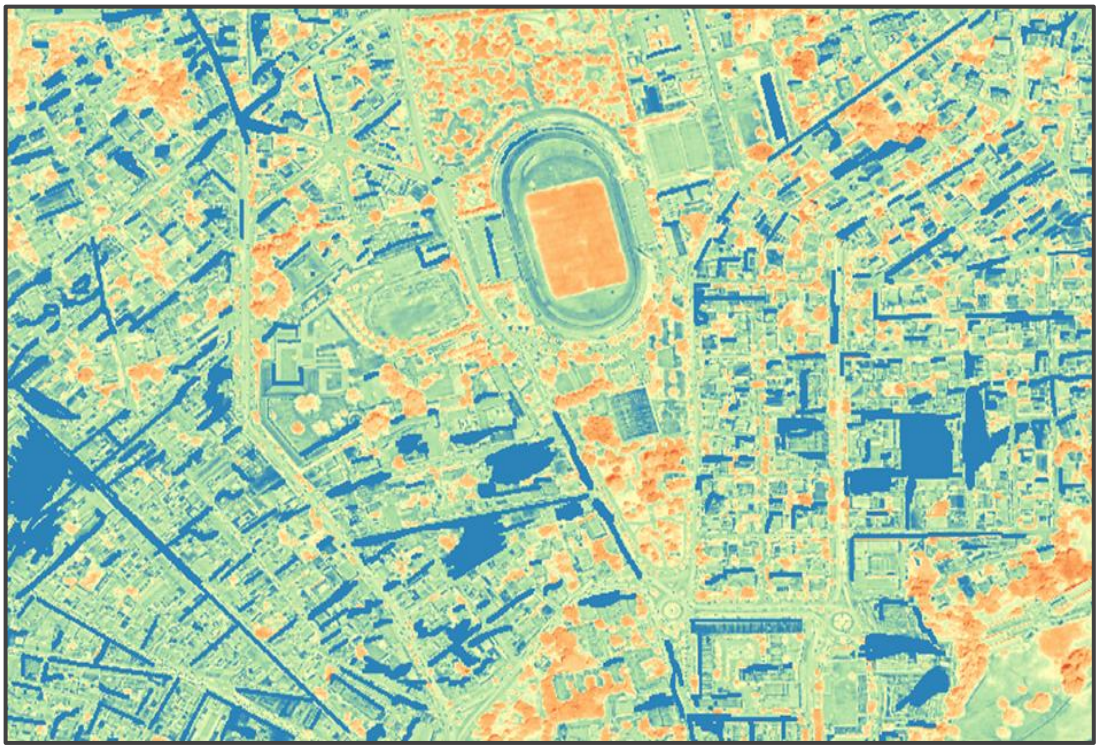


**Figure 128.**Traitement coloré des images satellitaires

- **Classification et extraction des espaces verts comme une couche Shapefile**

La classification et l'extraction des espaces verts en tant que couche Shapefile représentent une étape clé dans l'élaboration d'une cartographie précise des infrastructures vertes pour la ville d'Annaba. À la suite du traitement colorimétrique des images satellitaires haute résolution, les zones de végétation sont identifiées et extraites grâce à des techniques avancées de classification d'image. Cette végétation est ensuite convertie en une couche Shapefile, un format standard dans les systèmes SIG .

La figure ci-dessous(**Figure 129**) illustre le résultat final de cette classification, où les espaces verts sont clairement délimités et représentés en vert. Cette couche Shapefile rend possible une manipulation fluide des données dans divers logiciels SIG, simplifiant ainsi les processus de gestion et de planification des infrastructures vertes. En utilisant ce format, il devient possible de visualiser de manière détaillée la distribution spatiale des espaces verts dans le tissu urbain d'Annaba, de mesurer leur superficie, d'évaluer leur accessibilité, et de planifier des extensions ou de nouvelles implantations d'espaces verts.

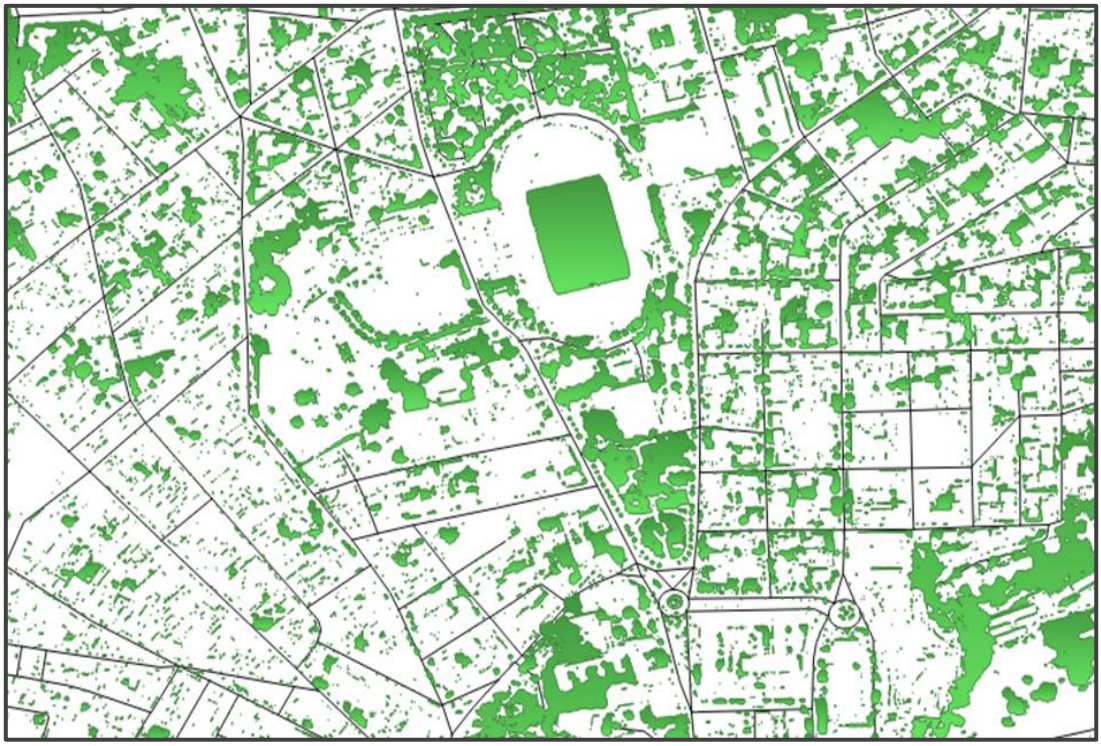


**Figure 129.**La classification et l'extraction des espaces verts comme une couche Shapefile

- **Superposition des Classes Bâti et Espaces Verts**

La **Figure 130** illustre la superposition des classes bâti et espaces verts, aboutissement du processus de classification et d'extraction des infrastructures vertes. Cette représentation cartographique permet d'analyser la répartition spatiale du tissu urbain et des espaces végétalisés, offrant une vision intégrée de l'occupation du sol dans la zone d'étude. Les figures précédentes mettaient en évidence, d'une part, la densité et la distribution des structures bâties, et d'autre part, la répartition des espaces verts. La superposition de ces deux classes révèle leur interaction et leur agencement spatial, facilitant ainsi l'identification des zones à forte artificialisation ainsi que celles bénéficiant d'une couverture végétale significative.

Cette analyse est essentielle pour évaluer l'équilibre entre urbanisation et préservation écologique. Elle met en lumière les secteurs où l'intégration des espaces verts peut être renforcée afin d'améliorer la résilience urbaine, la qualité de vie et l'adaptation aux changements climatiques. En orientant les stratégies d'aménagement vers une meilleure synergie entre bâti et nature, cette approche contribue à une planification urbaine durable et adaptée aux enjeux environnementaux contemporains.

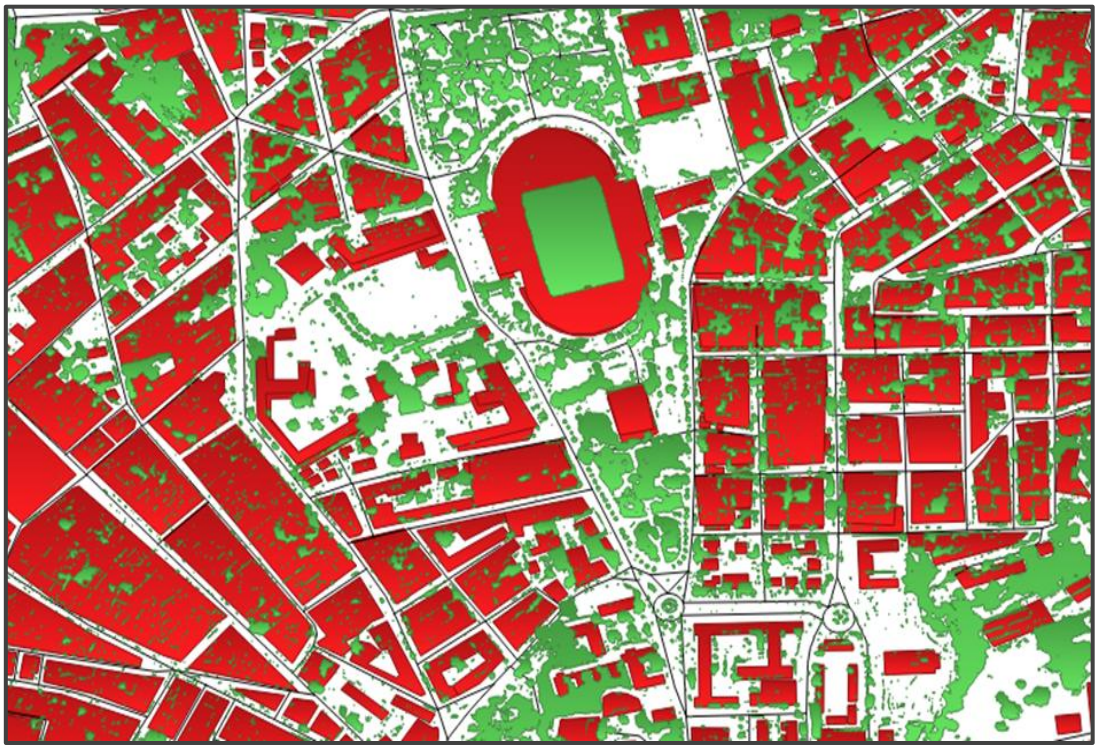


**Figure 130.** Le résultat de classification :place du vert dans l'occupation

- **Lecture et Analyse de la Trame Verte et Bleue de la Ville d'Annaba**

Une lecture et analyse détaillée de la trame verte et bleue dans la région d'Annaba, permet de distinguer différents types d'espaces verts et éléments de la trame bleue. **La trame verte urbaine** ,constituée d'espaces verts urbains, divisés en espaces verts planifiés et non planifiés, jouent chacun un rôle spécifique dans le paysage urbain d'Annaba. Les espaces verts planifiés sont intégrés dans le tissu urbain dans le but de créer des zones de loisirs, de détente et de socialisation pour les habitants. Ils sont conçus pour être facilement accessibles et sont structurés de manière à offrir un cadre agréable dans un environnement dense. Malheureusement ces espaces verts sont majoritairement hérités de la période coloniale . À l'inverse, les espaces verts non planifiés, bien qu'ils ne fassent pas partie d'une stratégie d'aménagement spécifique, offrent des habitats naturels et favorisent la biodiversité locale en connectant divers milieux écologiques.

**La trame verte forestière**, représentée par des forêts et le parc national de l'Edough, constitue des réservoirs de biodiversité essentiels pour la région. Ces zones forestières apportent non seulement une régulation des températures, mais elles agissent aussi comme des corridors écologiques permettant la circulation de la faune et de la flore entre les différentes zones naturelles et les espaces verts urbains.

**La trame verte agricole**, qui inclut les surfaces agricoles au sud de la carte, complète l'écosystème d'Annaba. Ces espaces agricoles contribuent à la préservation des paysages et renforcent la résilience alimentaire de la région tout en servant de zones tampons écologiques entre les espaces naturels et urbains.

**La trame bleue**, composée du réseau hydrographique principal et des surfaces d'eau, joue un rôle essentiel dans la gestion des ressources en eau. En facilitant l'écoulement des eaux pluviales et en réduisant les risques d'inondation, cette trame améliore la résilience de la ville face aux événements climatiques extrêmes. Elle permet également de maintenir des zones humides qui favorisent une biodiversité aquatique riche et diversifiée. Toute ses trames sont illustrées dans la **Figure 131** suivante :

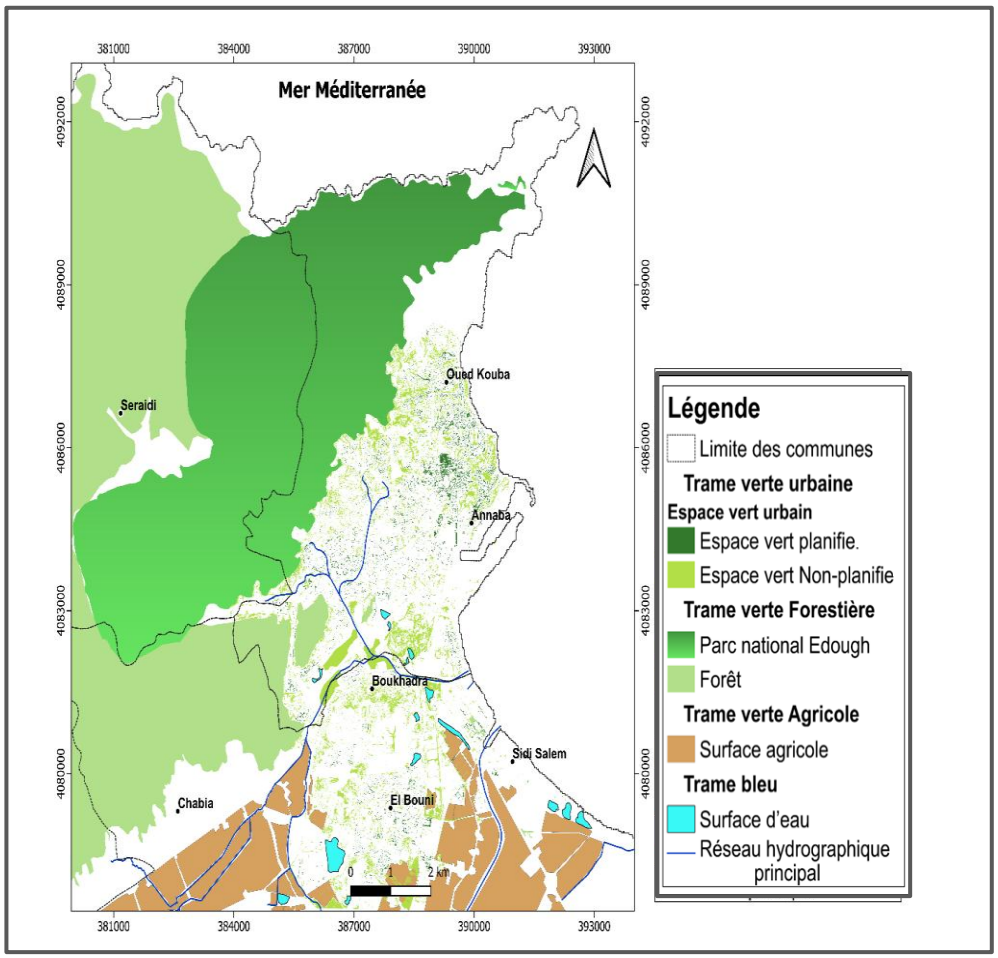



**Figure 131.** Visualisation de la structure verte identifiée à Annaba

### 3.6.6. Identification du Périmètre pour l'Évaluation des Changements et des Ruptures dans la SV

La sélection d'un périmètre d'étude pour l'évaluation des changements et ruptures dans la structure verte de la région d'Annaba nécessite une approche méthodologique rigoureuse et multicritères afin de garantir la pertinence des analyses et la représentativité des résultats. Ce périmètre est choisi en fonction de critères précis, qui assurent que la zone étudiée couvre les aspects écologiques, socio-économiques et urbains clés influençant la dynamique des espaces verts dans cette future métropole.

➢ **Critères de Choix**

- **Accessibilité aux Données :** La disponibilité et l'accessibilité aux données sont des critères déterminants pour le choix du périmètre d'étude. Les zones couvertes par des images satellitaires de haute résolution, des bases de données cadastrales, ainsi que des études topographiques et géomorphologiques détaillées, permettent une analyse géospatiale fine et une extraction fiable des informations. La qualité des données géospatiales est essentielle pour assurer une classification précise des couvertures terrestres, particulièrement pour la délimitation des espaces verts et bâtis.

- **Zones à Forte Urbanisation :** L'urbanisation intense dans la ville d'Annaba, notamment dans les quartiers centraux et périphériques, exerce une pression significative sur les espaces verts. Ce critère est retenu pour inclure dans le périmètre d'étude les zones qui subissent une densification rapide, avec pour conséquence la fragmentation et la disparition progressive des corridors écologiques.

- **Représentativité Écologique :** Le périmètre sélectionné doit couvrir une diversité écologique représentative de la région d'Annaba, y compris des forêts, des zones humides comme le lac Fetzara, et des couloirs naturels tels que les vallées et oueds. La présence de différents types d'écosystèmes dans le périmètre d'étude permet d'évaluer la continuité et la résilience des infrastructures vertes face aux pressions urbaines.

- **Zones à Fortes Pressions Démographiques :** L'inclusion de secteurs densément peuplés est essentielle pour comprendre les interactions entre les espaces verts et les besoins de la population en termes de loisirs, de bien-être et de qualité de vie. Les zones où la pression démographique est forte, comme les quartiers denses d'Annaba, nécessitent une attention particulière pour évaluer l'accessibilité et l'équité dans la répartition des espaces verts. En intégrant ces zones, il est possible de cerner les disparités spatiales et de formuler des recommandations pour une répartition plus homogène et accessible des espaces verts.

- **Corridors Écologiques :** La préservation des corridors écologiques, qui facilitent la connectivité entre les différentes zones naturelles, est primordiale pour maintenir la biodiversité et les processus écologiques à l'échelle du territoire. Les corridors le long de l'Oued Seybouse et autour du massif Edough sont inclus dans le périmètre d'étude en raison de leur rôle stratégique pour la faune et la flore locales. L'inclusion de ces éléments permet d'analyser l'état de la connectivité écologique et d'identifier les ruptures nécessitant des actions de restauration.

Le périmètre d'étude ainsi défini pour l'évaluation des changements et des ruptures dans la structure verte d'Annaba, repose sur une approche intégrative qui prend en compte les impératifs écologiques, les dynamiques urbaines, et les besoins démographiques. Ce choix vise à fournir des résultats fiables pour la planification d'une métropole durable, capable de concilier développement urbain et conservation des écosystèmes, tout en répondant aux défis d'une ville en pleine expansion. Il est illustré par la carte de la **Figure 132** ci-dessous :

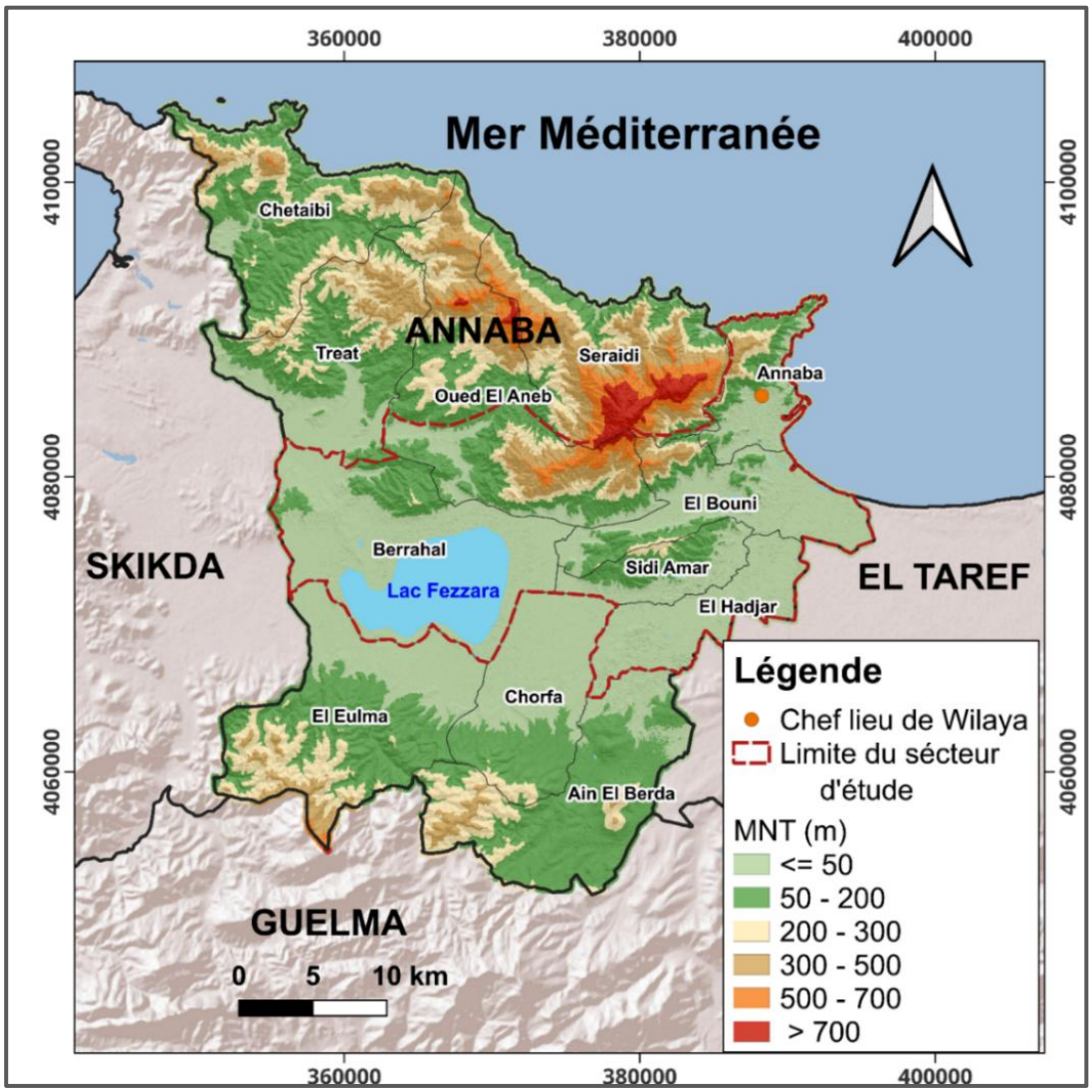



**Figure 132.**Périmètre pour l'Évaluation des Changements et Ruptures dans la SV

- **Caractéristiques du Périmètre Défini**

Afin d'assurer une compréhension approfondie du territoire à étudier , un ensemble de caractéristiques clés a été identifié. Ces caractéristiques permettent d'évaluer les dynamiques urbaines, écologiques et démographiques qui influencent la structure verte de la région d'Annaba. Le **tableau 10** ci-dessous présente de manière synthétique ces caractéristiques, accompagnées de leurs descriptions et des objectifs spécifiques qui orientent l'analyse et les stratégies de gestion durable du territoire.

**Tableau 10 : Caractéristiques Du Périmètre D'étude**

| Caractéristiques du périmètre | Description | Objectif |
|---|---|---|
| Superficie du Périmètre | Couvrant une superficie d'environ 526.25 km2 et se compose des communes ; Annaba, El Bouni, Sidi Ammar, El Hadjar, El Berda, Berahel, Oued El Aneb ,ainsi que le pôle Draa Erich(Dite ville nouvelle Mosthpa Ben Aouda . Intégration des espaces urbanisés, agricoles et forestiers pour analyser l'interaction entre urbanisation et préservation des espaces verts. | Analyser les interactions entre urbanisation et préservation des espaces verts |
| Morphologie du Territoire défini | Morphologie variée, incluant des zones de plaine, des collines et des reliefs montagneux tel que le massif de l'Edough ,influençant directement la répartition des habitats naturels et leur interaction avec l'urbanisation. | Comprendre l'influence du relief sur la répartition des habitats et l'urbanisation |
| Zones d'Expansion Urbaine et Zones Protégées | Expansion urbaine entre 1984 et 2021 notamment dans les secteurs de El Bouni et Sidi Amar et les zones protégées( les forêts et autour du lac Fetzara) réduisant les surfaces agricoles et mettant sous pression les espaces protégés. | Évaluer l'impact de l'expansion urbaine sur les zones protégées et agricoles |
| Connectivité Écologique | Observation de la fragmentation des corridors due à l'urbanisation croissante mettant en péril la biodiversité et nécessitant des actions de restauration. | Identifier les ruptures écologiques et proposer des actions de restauration." |
| Densité de la Population et Pression Urbaine | Forte concentration de population dépassant 2000 hab/km² dans plusieurs communes, augmentant la pression sur les espaces verts et nécessitant une planification verte. | Évaluer la pression démographique sur les espaces verts et proposer une planification durable. |
| Données Historiques et Spatiales | Forte concentration de population dépassant 2000 hab /km² dans plusieurs communes, augmentant la pression sur les espaces verts et nécessitant une planification verte. | Exploiter les données historiques pour modéliser les tendances et améliorer la gestion des espaces verts. |

- **L 'analyse diachronique une méthodologie pour l'évaluation**

Pour réaliser cette analyse diachronique, nous avons utilisé une série d'images satellitaires à haute résolution couvrant plusieurs décennies, notamment pour les années 1984, 2004, et 2021. Ces images proviennent de sources fiables telles que les satellites Landsat et Sentinel, connus pour leur résolution spatiale et leur capacité à fournir des informations précises sur la couverture terrestre. Les images ont été prétraitées afin de corriger les distorsions géométriques et radiométriques pour garantir la comparabilité des données dans le temps. Ce processus inclut également l'alignement des différentes couches temporelles et la normalisation des images pour compenser les variations saisonnières et atmosphériques. L'ensemble de ces étapes vise à assurer une précision

optimale dans la détection des changements d'occupation des sols et des transformations des espaces verts. Une fois les images préparées, des techniques de classification supervisée ont été appliquées pour identifier les différentes classes d'occupation des sols, elle a été ajustée pour chaque période étudiée, afin de tenir compte des évolutions technologiques et des variations dans la résolution des images satellitaires.

L'approche méthodologique de l'analyse diachronique repose sur une segmentation en étapes complémentaires, chacune contribuant à une compréhension plus fine des changements territoriaux. La première étape consiste à établir une ligne de base en identifiant les caractéristiques de l'occupation des sols pour la première période d'étude, par exemple en 1984 cela permet de quantifier l'état initial des espaces verts et des zones bâties avant les expansions urbaines majeures.

La seconde étape de l'approche méthodologique est l'analyse comparative entre les différentes périodes (1984-2004 et 2004-2021), permettant de mesurer l'étendue des modifications apportées au paysage urbain et naturel d'Annaba. Cette comparaison temporelle utilise des indicateurs clés tels que le taux de perte des espaces verts, le niveau de fragmentation des zones forestières et agricoles et leur perte , et l'expansion des surfaces urbaines. En quantifiant ces indicateurs, il devient possible de dresser un bilan des impacts de l'urbanisation sur la structure écologique de la ville. Le choix des images Landsat composites avec suppression des nuages pour les années respectivement 1984, 2004 et 2021 est le premier pas ,puis le calcul des indices spectraux (SAVI, NDVI, NDBI et NDWI) par classification supervisée (Richards, 1922) via la Random Forest « arbre aléatoire » un algorithme d'arbre de décision (Sasikala et al, 2017).

.

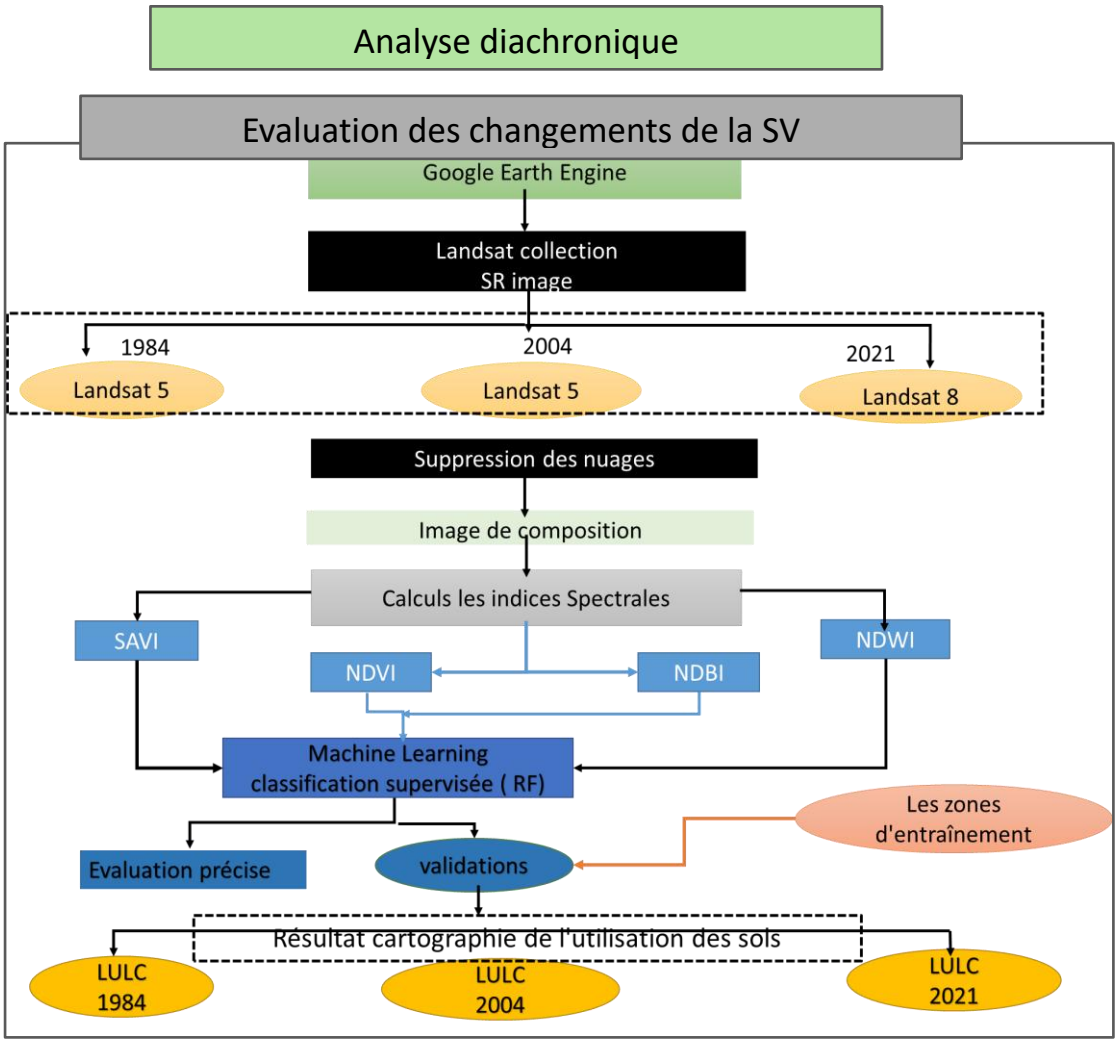



**Figure 133.** Organigramme de la méthode suivie dans le traitement des données.

SR: Surface reflectance; NDVI: Normalized Difference Vegetation Index; MNDWI: Modified

Normalized Difference Water Index; NDBI = Normalized Difference Building Index; LULC = Land Use and Land Cover.

### 3.6.7. Les Échantillons pour l'Évaluation thermique de la SV

Dans le cadre de l'étude des îlots de chaleur urbains et de leur impact sur le bien-être des habitants à Annaba, nous avons défini un ensemble d'échantillons représentatifs le long des axes principaux de développement de la ville, notamment la route nationale RN16 et la RN 44, ainsi que dans un périmètre ciblé. Ces zones d'échantillonnage ont été sélectionnées pour

observer et analyser la relation entre l'urbanisation, la diminution de la végétation, et l'augmentation des températures de surface (LST - Land Surface Temperature), ainsi que leur influence sur le confort thermique des habitants. Quatre zones sont sélectionnées comme illustré dans la **Figure 134** et identifiées comme suit :

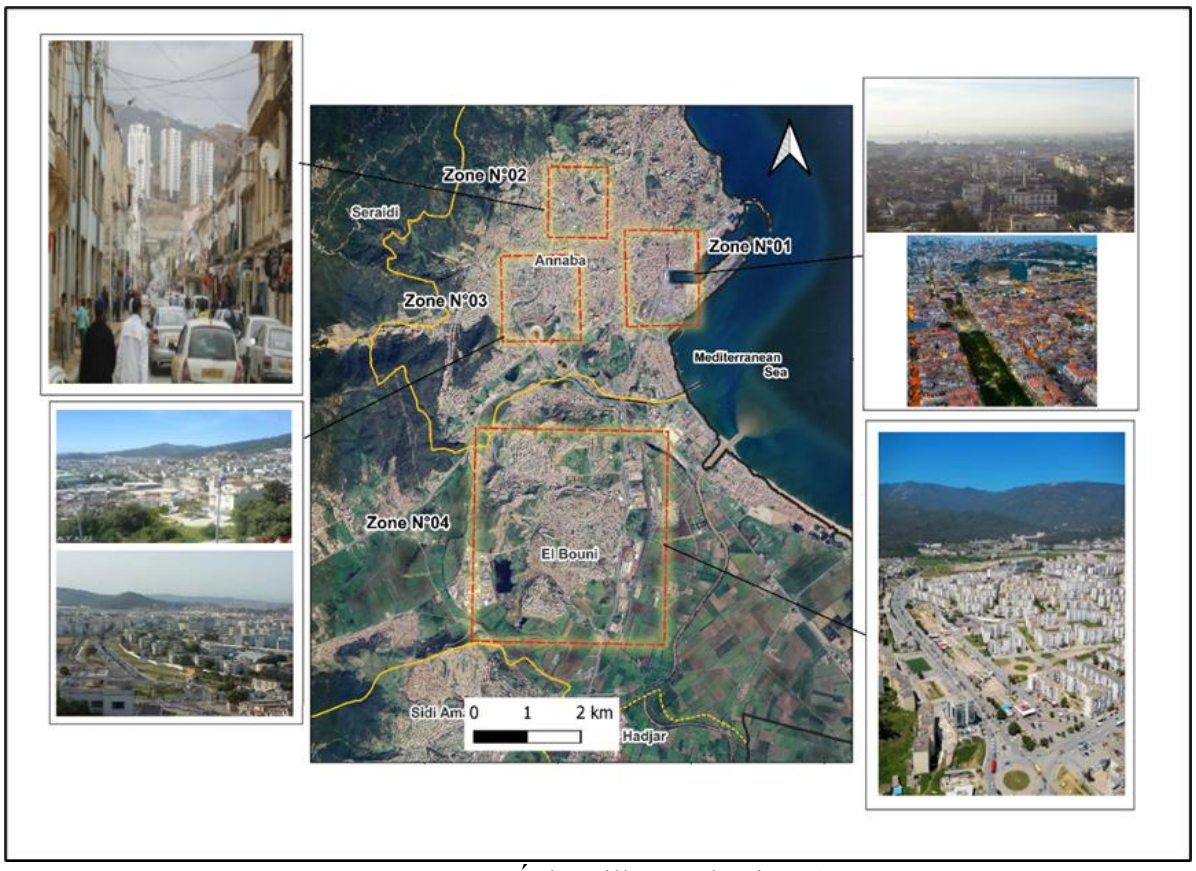



**Figure 134.**Échantillons sélectionnés

- **Zone 01 :** La « Médina-ville coloniale » regroupe les quartiers historiques de la ville, caractérisés par une forte densité urbaine et une faible présence d'espaces verts.
- **Zone 02 :** Le quartier « la Colonne », renouvelé représente un modèle de renouvellement urbain où la végétation est limitée, malgré des tentatives d'amélioration des espaces publics.
- **Zone 03 :** « ZHUN plaine Ouest », une extension de la ville postcoloniale avec une infrastructure plus récente mais encore peu végétalisée.
- **Zone 04 :** La ville satellite d'El Bouni, également connue sous le nom de « ZHUN » (Nouvelle zone d'habitat urbain), qui illustre une urbanisation rapide avec des défis en termes de connectivité écologique et de verdure.

Ces quatre échantillons avec leurs caractéristiques permettent une analyse comparative entre les différentes typologies urbaines et les niveaux de végétation. Chaque zone présente des caractéristiques spécifiques en matière de densité de construction, d'occupation des sols, de proximité avec les espaces verts et d'éléments topographiques, offrant ainsi une base solide pour l'évaluation des effets des îlots de chaleur urbains.

**Critères de Sélection**

Les échantillons ont été sélectionnés en tenant compte des critères récapitulés dans le tableau 11 suivant afin de garantir une analyse représentative et exhaustive :

**Tableau 11 :Critères de sélection des échantillons**

| Critères de sélection des échantillons | Description | Caractéristiques |
|---|---|---|
| **Densité Urbaine** | Zones à haute densité urbaine susceptibles . | Zones fortement urbanisées comme le centre-ville d'Annaba et El Bouni, avec une faible couverture végétale et un fort effet d'îlot de chaleur. |
| **Types d'Occupation des Sols** | Zones aux diverses catégories d'occupation des sols (résidentiel, commercial, industriel) | Zones comprenant des quartiers résidentiels, des zones industrielles et commerciales pour une analyse comparée des impacts thermiques |
| **Proximité aux Espaces Verts** | Zones situés à des distances variables par rapport aux espaces verts, | Zones proches des parcs urbains et des forêts du massif de l'Edough, permettant d'observer la variation des températures selon la végétation environnante. |
| **Altitude et Topographie** | Zones aux altitudes et topographies variées influencent la distribution des températures et la circulation de l'air. Les échantillons sont positionnés à des altitudes variées pour voir l'influence sur l'analyse des îlots de chaleur.. | Zones situées entre les plaines côtières et les reliefs montagneux, montrant les différences thermiques liées à l'altitude et aux conditions topographiques. |

Ces critères offrent une base méthodologique rigoureuse pour explorer l'interaction entre urbanisation, végétation, et performance thermique, et ainsi développer des stratégies adaptées pour améliorer la résilience climatique et le bien-être des habitants dans la ville d'Annaba. Le périmètre défini pour l'évaluation a été délimité avec précision afin de capturer la diversité des paysages, des types d'occupation des sols et des conditions socio-économiques qui caractérisent cette région en pleine expansion. Ce choix est essentiel pour offrir une représentation équilibrée des dynamiques écologiques et urbaines propres à Annaba, permettant une analyse approfondie de ses enjeux de développement durable et de résilience environnementale .Il englobe des zones urbaines denses ainsi que des espaces naturels, comme illustré sur **la figure 135** ci-dessous. Cette étendue géographique permet d'inclure diverses entités de la ville et de ses périphéries, offrant ainsi une vision globale des interactions entre l'urbanisation et les écosystèmes. Le périmètre défini est représentatif des enjeux écologiques, démographiques et urbanistiques de la région. Il constitue un cadre d'étude idéal pour analyser

les interactions entre l'urbanisation , les infrastructures vertes et la performance environnementale au temps du changement climatique .

Cette approche permet d' élaborer des stratégies de gestion durable des structures vertes , visant à renforcer la résilience climatique de la ville et à promouvoir un développement équilibré pour la future métropole d'Annaba.

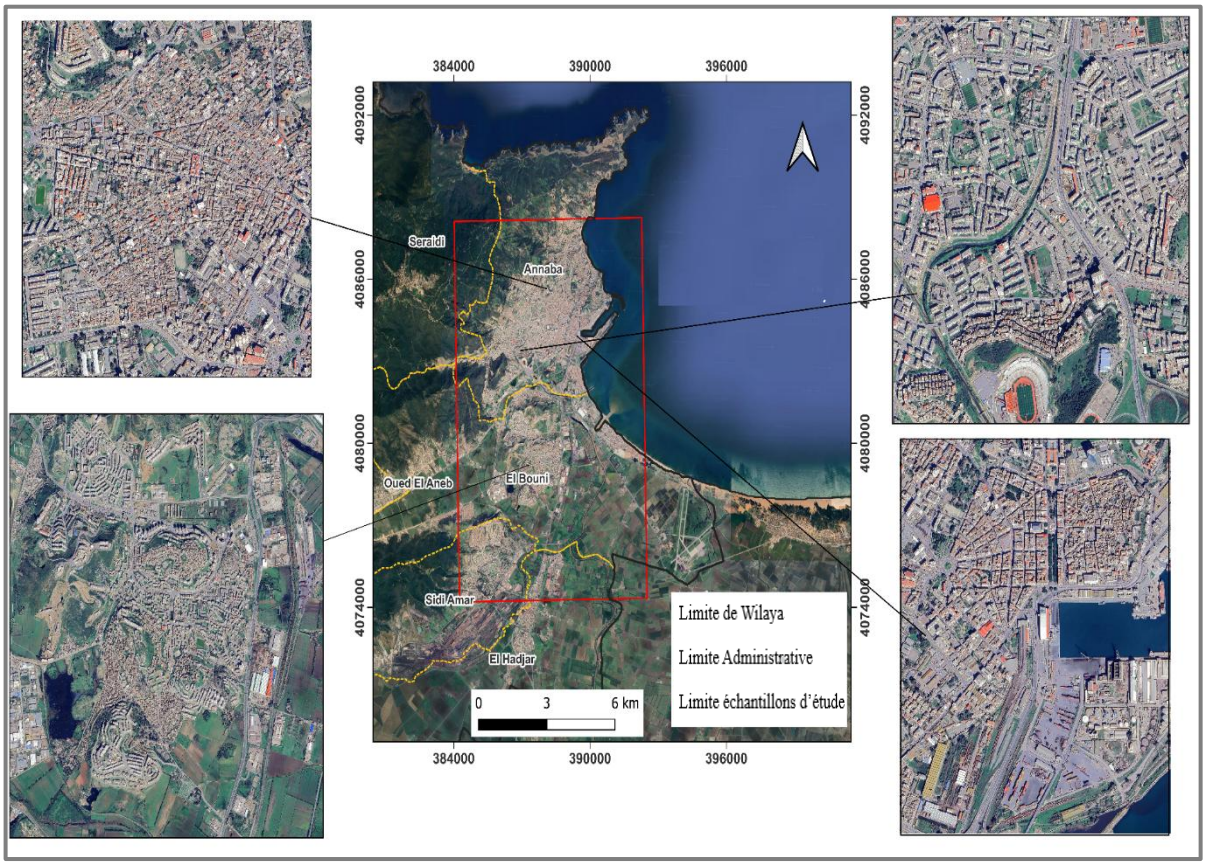



**Figure 135.**Echantillons pour l'évaluation de la performance environnementale via la SV

**•Méthodologie et outils pour les échantillons**

L'évaluation des échantillons pour analyser l'impact des structures vertes sur la température de surface (LST) et l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) pour les années 1984, 2004 et 2021 repose sur une méthodologie rigoureuse, combinant des techniques de télédétection et d'analyse spatiale. Cette approche permet de mieux comprendre les changements spatio-temporels de la végétation et de la température dans la ville d'Annaba, en réponse à l'urbanisation. L'objectif de cette étude est de quantifier l'évolution des espaces verts et de mesurer l'impact de leur réduction sur le microclimat urbain, en utilisant des données multispectrales fournies par le satellite Landsat.

Ces images ont été choisies pour trois années spécifiques afin d'assurer une analyse comparative cohérente. Chaque scène satellitaire a été sélectionnée de manière à garantir des conditions atmosphériques et phénologiques similaires, ce qui est essentiel pour éviter les biais saisonniers dans l'analyse des variations de température et de végétation ,maximisant ainsi la précision et la fiabilité des données. La date et les caractéristiques des images satellites ont été affichées dans le **Tableau 12**.

**Tableau 12. Sources de données de l'étude**

| Couche de données | Source | Spatial résolution (m) | Date |
|---|---|---|---|
| **Landsat 5 Réflectance de surface** | **GEE Dataset (USGS)** | **30** | **26/08/1984** |
| **Landsat 5 Réflectance de surface** | **GEE Dataset (USGS)** | **30** | **17/08/2004** |
| **Landsat 8. surface réflectance Oli/tırs sensor level 1** | **GEE Dataset (USGS)** | **30** | **16/08/2021** |

- **Matériel et Méthode**

L'étude repose principalement sur des images satellitaires Landsat multispectrales couvrant les années 1984, 2004 et 2021. La sélection de ces dates spécifiques permet d'évaluer les transformations majeures dans la couverture végétale et la température de surface sur trois périodes clés, marquées par une expansion urbaine significative. Les images Landsat ont été choisies en fonction de leur prise durant des saisons sèches comparables. Les données ont été traitées en utilisant Google Earth Engine (GEE), une plateforme basée sur le cloud qui facilite l'accès et le traitement de grandes quantités de données de télédétection.

GEE permet une extraction efficace et précise des indices NDVI et LST sur l'ensemble des images sélectionnées, tout en assurant la reproductibilité et la robustesse des analyses. L'organigramme de la méthode (**Figure 137**) illustre les étapes de traitement des données depuis l'acquisition jusqu'à l'analyse. Par ailleurs, QGIS a été employé pour effectuer les analyses spatiales avancées et la visualisation des résultats, permettant de superposer les données de végétation et de température pour une compréhension approfondie de leur corrélation dans le contexte urbain d'Annaba.

- **Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI)**

Le NDVI est un indicateur essentiel pour évaluer l'état et la densité de la végétation, reflétant ainsi les variations interannuelles de la structure verte en fonction des conditions environnementales et climatiques. Dans le cadre de cette étude, les valeurs de NDVI, comprises entre -1 et 1, ont été calculées pour chaque période d'étude. Ces valeurs permettent d'identifier les zones de végétation dense, les sols nus, et les plans d'eau, fournissant ainsi un portrait précis de l'évolution de la couverture végétale dans la ville d'Annaba.

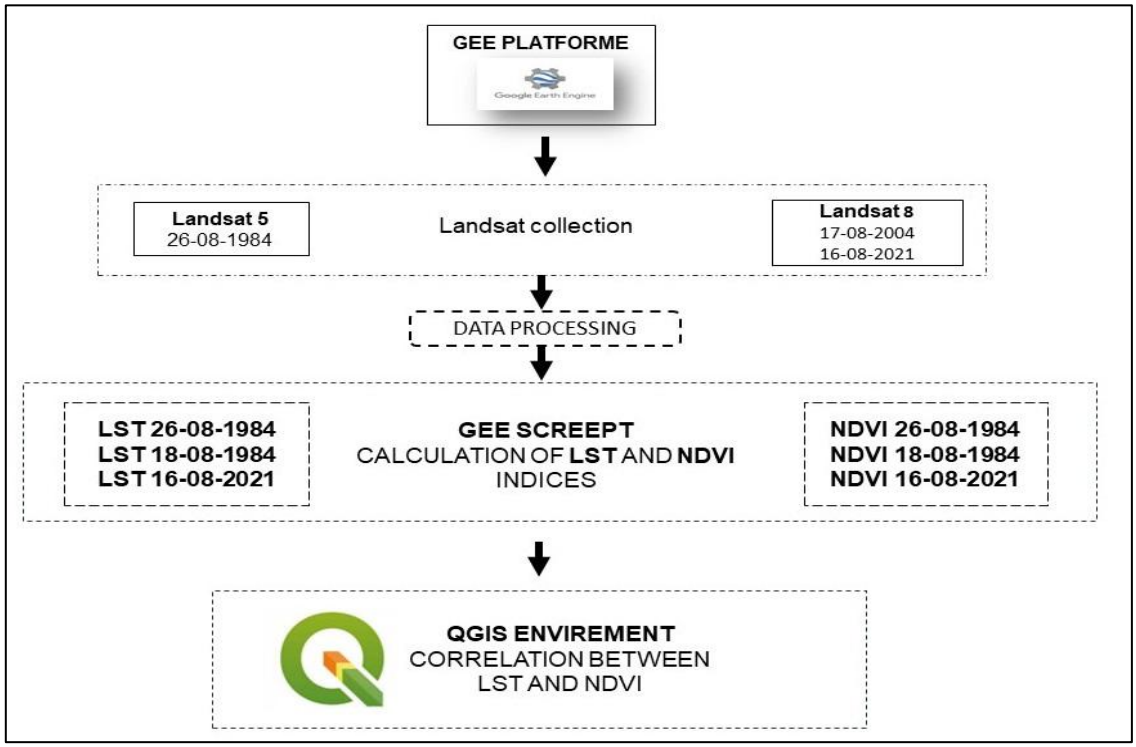



**Figure 136.**Organigramme de la méthode suivie dans le traitement des données

L'analyse du NDVI à travers les différentes périodes étudiées éclaire les transformations de la végétation et aide à évaluer l'impact de l'urbanisation sur la structure verte. L'interprétation des images NDVI sera basée sur le tableau 11 suivant :

**Tableau 13. Plage de pixels de classification NDVI**

| Plage de pixels | Classe |
|---|---|
| **<0** | **Eau** |
| **0.03-0** | **Sol nu** |
| **0.03-0.3** | **Végétation clairsemée** |
| **0.3-0.5** | **Végétation modérée** |
| **0.5>** | **Végétation dense** |

- **Température de Surface du Sol (LST)**

La température de surface, ou LST, est un indicateur clé pour comprendre l'impact de l'urbanisation sur le climat local. La variabilité de la LST est influencée par les caractéristiques de l'occupation des sols, telles que la rugosité de la surface et la réflectance des matériaux urbains. Dans cette recherche, les données de LST extraites des images satellites de 1984, 2004 et 2021 ont permis de comparer les températures des zones urbaines avec celles des zones végétalisées. La relation entre le NDVI et le LST a été analysée pour identifier l'effet de la végétation sur la régulation thermique. En effet, la végétation, par sa capacité de rafraîchissement, tend à réduire la LST, contribuant ainsi à l'atténuation des îlots de chaleur urbains.

- **Analyse Spatio-temporelle**

L'analyse spatio-temporelle repose sur la comparaison diachronique des valeurs de NDVI et de LST pour comprendre les tendances et les dynamiques de la végétation et de la température dans la ville d'Annaba. Cette méthode permet de quantifier les changements de l'environnement urbain en réponse aux transformations de l'occupation des sols. En superposant les cartes NDVI et LST, il est possible d'identifier les zones critiques où la perte de végétation a engendré une augmentation de la température de surface, ce qui est essentiel pour orienter les stratégies d'aménagement durable et de protection des espaces verts. En utilisant l'imagerie satellite, les capacités analytiques de Google Earth Engine et les fonctionnalités de visualisation de QGIS avec la méthodologie diachronique, ceci fournit un cadre méthodologique rigoureux pour l'évaluation des effets des structures vertes sur le climat urbain. L'approche assure une compréhension précise de l'évolution des espaces verts à Annaba et de leur rôle dans la régulation thermique, renforçant les connaissances nécessaires pour une planification urbaine durable.

## 3.7.Défis et Opportunités de la Structure Verte à Annaba

La structure verte d'Annaba, en tant que composante essentielle du tissu urbain et écologique, est confrontée à une multitude de défis découlant de l'urbanisation rapide et des pressions environnementales. En parallèle, elle offre des opportunités uniques pour promouvoir un développement urbain durable et innovant. L'abord approfondie des défis et opportunités permet de mettre en lumière les priorités pour une gestion efficace et résiliente des espaces verts.

- **Défis liés à l'Urbanisation Rapide et à la Pression sur les Espaces Verts**

L'urbanisation rapide d'Annaba a entraîné une expansion incontrôlée des zones urbaines au détriment des espaces verts. Ce phénomène est particulièrement marqué dans les zones périphériques et dans les nouvelles extensions résidentielles, où les espaces naturels sont souvent sacrifiés pour répondre à la demande croissante en logements et infrastructures. La densification urbaine réduit la connectivité écologique, fragmente les habitats naturels et limite l'accès des habitants à des espaces verts de qualité. Par ailleurs, les pressions démographiques et économiques aggravent ces défis. La conversion des terres agricoles en zones bâties, la disparition des corridors écologiques et l'érosion des espaces forestiers représentent des pertes irréversibles pour la biodiversité locale et les services écosystémiques essentiels tels que la régulation climatique, la gestion des eaux pluviales et la qualité de l'air. Les défis liés à l'urbanisation sont amplifiés par une planification urbaine insuffisamment orientée vers la conservation des infrastructures vertes.

- **Défis liés à la Gestion et de Maintenance des Espaces Verts**

La gestion et la maintenance des espaces verts à Annaba posent des problèmes importants. Le manque de ressources financières et humaines, associé à une coordination institutionnelle fragmentée, limite la capacité des autorités locales à entretenir et développer les infrastructures vertes existantes. De nombreux espaces verts souffrent de négligence, avec des infrastructures détériorées, une végétation mal entretenue et des niveaux de fréquentation réduits. Les défis techniques incluent également l'absence de stratégies de gestion intégrée des espaces verts, qui devraient inclure la plantation d'espèces adaptées aux conditions climatiques locales, la prévention de l'érosion des sols et la lutte contre les espèces envahissantes . Même avec

l'introduction de **loi n° 07-06 du 25 Rabie Ethani 1428 correspondant au 13 mai 2007 relative à la gestion,** à la protection et au développement des espaces verts[101],ces derniers subissent encore les effets de la croissance urbaine accrue et de l'étalement. En outre, la participation communautaire dans la gestion des espaces verts reste faible, ce qui réduit leur appropriation par les habitants et leur durabilité à long terme.

- **Opportunités pour le Développement Durable et l'Innovation Verte**

Malgré ces défis, la structure verte d'Annaba offre des opportunités significatives pour promouvoir un développement durable. La richesse écologique de la région, notamment le massif de l'Edough et le lac Fetzara, constitue un atout majeur pour renforcer la résilience environnementale de la ville. En intégrant ces écosystèmes dans une stratégie de développement urbain durable, Annaba peut devenir un modèle de métropole écologique. Les innovations vertes, telles que la création de toits végétalisés, de murs verts et d'infrastructures urbaines écologiques, offrent des solutions prometteuses pour améliorer la qualité de vie des habitants tout en réduisant les impacts environnementaux.

La mise en œuvre de technologies intelligentes pour la gestion des espaces verts, comme les capteurs pour le suivi de la santé des plantes et les systèmes d'irrigation automatisés, pourrait également optimiser les ressources et améliorer l'efficacité des opérations de maintenance. En outre, les initiatives de renaturalisation ou verdurisation des espaces urbains, telles que la transformation des friches industrielles en parcs publics et la restauration des corridors écologiques, contribuent à la revitalisation de l'environnement urbain tout en renforçant la biodiversité locale.

## Conclusion

Ce chapitre a permis de dresser un cadre détaillé et multidimensionnel pour identifier et comprendre la structure verte de la ville d'Annaba dans le contexte de son évolution urbaine et de ses dynamiques territoriales. À travers une analyse approfondie de ses composantes physiques, morphologiques, climatiques, démographiques et historiques, il a été possible d'identifier les forces et les faiblesses inhérentes au développement de cette future métropole.

La structure verte d'Annaba se distingue par une richesse écologique et une diversité spatiale qui s'articulent autour d'un réseau complexe de parcs, de forêts, de corridors écologiques et d'espaces verts forestiers et agricoles. Cependant, cette richesse est mise à rude épreuve par les pressions croissantes liées à l'urbanisation rapide, à l'étalement urbain incontrôlé et à l'absence d'une planification urbaine intégrée et durable. Les défis identifiés, notamment la fragmentation des espaces verts et la perte de connectivité écologique, compromettent les services écosystémiques et la résilience environnementale de la ville. En parallèle, ce chapitre a mis en évidence les

[101] https://and.dz/site/wp-content/uploads/Loi-n%C2%B0-07-06.pdf

méthodologies employées pour identifier par cartographier, analyser et évaluer les changements dans la structure verte d'Annaba.

Ceci par l'utilisation combinée de la télédétection, du SIG via des indices tels que le NDVI et le LST permet de quantifier précisément l'impact de l'urbanisation sur les espaces verts, tout en fournissant des outils robustes pour la prise de décision. Ces approches méthodologiques offrent des perspectives prometteuses pour surveiller les transformations de l'environnement urbain et développer des stratégies adaptées à un développement durable.

L'analyse des défis et des opportunités a souligné l'importance d'une gestion active des espaces verts pour préserver leur rôle essentiel dans l'équilibre écologique et social de la ville. Les initiatives en faveur d'une innovation verte, d'une renaturalisation des espaces urbains et d'une gouvernance participative peuvent transformer Annaba en un modèle de métropole durable, où la coexistence harmonieuse entre les infrastructures urbaines et les écosystèmes naturels constitue un atout majeur pour l'avenir.

En fin ,ce chapitre a essayé d'établir les fondements nécessaires pour aborder les analyses, en mettant en lumière l'importance indéniable de la structure verte dans la planification et le développement de la ville d'Annaba. L'intégration des données spatiales et environnementales dans une stratégie urbaine globale constitue une étape essentielle pour relever les défis contemporains et garantir un avenir résilient et durable à cette métropole en devenir.

## Conclusion de la Deuxième Partie

Cette deuxième partie a permis d'établir un cadre méthodologique rigoureux pour l'analyse et l'évaluation de l'intégration des structures vertes dans la planification urbaine d'Annaba. À travers une approche combinant les systèmes d'information géographique (SIG) et la télédétection, nous avons démontré l'apport essentiel de ces outils dans la caractérisation, la quantification et la cartographie des structures vertes, facilitant ainsi la prise de décision en matière d'aménagement urbain durable.

L'exploitation de Google Earth Engine (GEE) a permis d'illustrer l'efficacité des algorithmes de traitement d'images satellitaires pour la détection des changements, en mettant en évidence des indices fondamentaux tels que le NDVI pour la végétation et le LST pour l'évaluation des températures de surface. Ces indices, croisés avec l'analyse de l'occupation des sols (LULC), ont offert une lecture approfondie des dynamiques spatiales et environnementales impactant la structure verte urbaine.

Dans une seconde approche, nous avons précisé le rôle des structures vertes dans le bien-être et la santé des populations urbaines, en adoptant une démarche fondée sur des indicateurs d'évaluation. En définissant un cadre théorique et en élaborant une grille d'indicateurs spécifiques, cette étude met en évidence la nécessité de quantifier et d'appréhender les bénéfices des espaces verts pour la qualité de vie des citadins. La complémentarité des indices environnementaux et des enquêtes sociologiques constitue ainsi un levier méthodologique pertinent pour une évaluation globale et intégrée.

Enfin, la troisième section de cette partie a permis de contextualiser l'étude en proposant une analyse détaillée de la structure verte de la ville d'Annaba. L'examen des caractéristiques physiques, climatiques, morphologiques et démographiques de la ville a fourni un cadre d'interprétation essentiel pour comprendre les dynamiques spatiales en jeu. La cartographie des structures vertes et l'évaluation de leur fragmentation ont mis en lumière les défis et opportunités liés à leur gestion dans un contexte d'urbanisation croissante.

En définitive, cette deuxième partie pose les bases analytiques et méthodologiques nécessaires à la phase suivante de notre recherche, qui visera à appliquer ces outils et indicateurs à des études de cas concrets, afin d'affiner les stratégies d'intégration des structures vertes dans la planification urbaine et d'en évaluer les impacts à différentes échelles.

# Partie 03

# Résultats et discussions

# Résultats et discussions

# I. Résultats et discussions

L'analyse des résultats obtenus met en évidence le rôle central des structures vertes dans la résilience urbaine et la durabilité écologique d'Annaba. L'identification et la cartographie de ces espaces, combinées à une analyse diachronique de la couverture terrestre entre 1984 et 2021, révèlent une évolution marquée par une diminution significative des surfaces végétalisées au profit de l'urbanisation. L'étude des indices environnementaux, notamment le NDVI et le LST, permet d'évaluer la performance écologique des espaces verts et leur capacité à réguler les températures urbaines, soulignant ainsi leur importance dans l'atténuation des effets des îlots de chaleur. Par ailleurs, l'examen des perceptions des citoyens et des acteurs de l'urbanisme met en évidence des divergences quant à l'intégration des structures vertes dans les politiques d'aménagement. Si leur rôle est reconnu pour le bien-être et la santé des habitants, leur prise en compte effective dans les projets urbains reste insuffisante. Ces résultats soulignent la nécessité de renforcer les stratégies de préservation et d'intégration des structures vertes dans la planification urbaine afin de garantir un développement durable et équilibré pour la ville d'Annaba.

# II. Les principaux résultats

## II.1 . La Structure Verte comme Fondement de la Résilience Urbaine et de la Durabilité Écologique

- **La Structure Verte : Un Concept Innovant pour une Résilience Climatique et un Développement Urbain Durable**

La structure verte, bien plus qu'une simple incorporation d'espaces végétalisés dans le paysage urbain, s'impose comme une stratégie essentielle pour répondre aux défis majeurs de l'urbanisation rapide, de la dégradation des ressources naturelles et des impacts du changement climatique. Ce concept, riche en dimensions écologiques, sociales et économiques, transcende l'esthétique pour devenir un levier central de réconciliation entre la ville et la nature. Loin d'opposer l'environnement bâti à l'environnement naturel, la structure verte promeut une coexistence harmonieuse, intégrant infrastructures urbaines et écosystèmes, et permettant ainsi de construire des villes durables où les crises environnementales et sociales sont mieux maîtrisées. Cependant, la mise en œuvre efficace de la structure verte repose sur l'adaptation aux spécificités locales. Les priorités des décideurs, les ressources mobilisées et les contextes urbains varient, rendant chaque projet unique. Pour maximiser les bénéfices environnementaux et sociaux, il est impératif d'adopter des approches flexibles et adaptées aux particularités de chaque ville.

Au-delà de son rôle dans la durabilité urbaine, la structure verte se révèle décisive pour renforcer la résilience climatique des villes. Elle dépasse la simple réduction des îlots de chaleur et la gestion des eaux pluviales en rétablissant les cycles naturels perturbés par l'urbanisation. La réintroduction de corridors écologiques et la restauration des habitats naturels favorisent la biodiversité urbaine, facilitant la réintégration d'espèces locales et améliorant la qualité des sols et des nappes phréatiques. Des dispositifs comme les toitures végétalisées et les jardins de pluie illustrent de manière exemplaire les avantages de la structure verte dans la gestion des risques climatiques. Ces aménagements réduisent les inondations, améliorent la qualité de l'air en capturant

les particules fines, agissent comme isolants thermiques, et permettent la réutilisation des eaux pluviales dans des processus circulaires. À Marseille p exemple , l'intégration de ces structures autour du Parc National des Calanques a non seulement permis de préserver des écosystèmes uniques, mais également de créer un environnement tampon capable d'absorber les variations climatiques extrêmes, tout en améliorant la qualité de vie des habitants.

La structure verte représente donc bien plus qu'une réponse technique aux défis urbains contemporains. Elle constitue une vision transformative où les villes intègrent la nature comme un allié stratégique, contribuant ainsi à la création d'espaces résilients, durables et harmonieux.

- **La Structure Verte : Planification et Intégration**

La structure verte ne peut atteindre son plein potentiel, que si elle est intégrée de manière cohérente dans le tissu urbain. Isolée et déconnectée d'un réseau écologique plus vaste, elle perd en efficacité. Pour maximiser ses bénéfices, une planification stratégique est indispensable, permettant de transformer ces espaces en infrastructures essentielles à la gestion durable des ressources et à la préservation de la biodiversité. Loin de se limiter à une fonction esthétique, la structure verte devient un vecteur clé de transformation urbaine, réconciliant les impératifs écologiques et sociaux avec les besoins des infrastructures urbaines. Face aux défis contemporains tels que la pression démographique, l'étalement urbain incontrôlé, la pollution croissante et la raréfaction des ressources naturelles, la structure verte apparaît comme une réponse intégrée et durable. Ce concept dépasse la vision traditionnelle des parcs isolés pour devenir **un réseau écologique global**, reliant habitats naturels et semi-naturels, à l'intérieur comme à l'extérieur des villes. Cette interconnexion permet de maintenir une continuité biologique essentielle pour la biodiversité tout en régulant les microclimats urbains. La Trame Verte et Bleue de Paris illustre parfaitement cette approche, combinant gestion des eaux pluviales, réduction des îlots de chaleur, et revitalisation des écosystèmes urbains dégradés.

L'impact environnemental de la structure verte s'étend au-delà de la biodiversité, englobant des objectifs de durabilité élargis. Elle contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre, à améliorer l'adaptation aux changements climatiques, et à renforcer la résilience urbaine. Par exemple, les toitures végétalisées et les jardins de pluie se sont révélés efficaces pour gérer les eaux pluviales, prévenir les inondations, et réduire la consommation énergétique des bâtiments grâce à leur effet de refroidissement naturel. Elle se distingue également comme étant un vecteur de neutralité et de séquestration du carbone. En capturant le dioxyde de carbone atmosphérique, ces infrastructures réduisent les émissions globales et participent à la lutte contre le changement climatique. Parallèlement, les techniques de biofiltration intégrées aux structures vertes améliorent la qualité des eaux pluviales, réduisant la pollution et préservant les nappes phréatiques et cours d'eau. Ces mécanismes soutiennent la biodiversité, améliorent la santé publique et renforcent l'équilibre environnemental global. L'exemple de Paris, avec sa Trame Verte et Bleue, montre comment ces infrastructures peuvent devenir des piliers de soutien aux écosystèmes tout en fournissant des services écosystémiques essentiels. C'est pourquoi l'intégration des structures vertes dès les premières phases de la planification urbaine est nécessaire . Les réussites de Paris et Marseille démontrent que lorsque les villes considèrent les structures vertes comme des infrastructures essentielles et les intègrent dans leurs cadres réglementaires, elles maximisent leurs bénéfices à long terme. Cependant, cette intégration nécessite une vision à long terme, un engagement politique fort et des ressources financières adéquates. En tant que concept et outil d'action, la structure verte s'affirme ainsi comme un pilier fondamental du développement urbain

durable. Elle offre une réponse efficace aux crises climatiques tout en produisant des avantages significatifs pour l'environnement, la société et l'économie. En plaçant la nature au cœur de la ville, la structure verte ouvre la voie à une révolution urbaine, réconciliant résilience, durabilité et qualité de vie pour les générations futures.

## II.2. L'Identification et Cartographie de la structure verte :Défis et opportunités pour le développement

L'utilisation de technologies avancées telles que la télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) a permis une cartographie précise de la structure verte et une classification détaillée des espaces verts à Annaba. Les images satellitaires haute résolution ont été traitées pour améliorer la qualité visuelle, permettant ainsi une identification plus précise des types d'espaces verts (parcs, forêts, espaces verts urbains, zones agricoles, espaces bleus,…). Ce traitement a été suivi par la superposition des classes de bâtis et de végétation, permettant de visualiser les connexions entre les espaces verts et leur intégration dans le tissu urbain. Cette approche offre des données empiriques robustes pour évaluer la couverture végétale, sa distribution spatiale, et son accessibilité pour les habitants, éléments essentiels dans la planification urbaine durable. Les résultats de la cartographie révèlent une distribution inégale des espaces verts à Annaba, avec une concentration des forêts et des zones protégées autour du Djebel Edough et des zones agricoles dans les plaines. Cette distribution présente des disparités bien apparente , les espaces verts étant principalement localisés dans les zones de reliefs, loin des centres urbains denses, cette configuration limite l'accès aux espaces verts pour une grande partie de la population, notamment dans les zones à forte densité urbaine où les structures vertes sont presque absentes. La faible connectivité des espaces verts souligne la nécessité de renforcer les corridors écologiques pour relier les différentes zones végétalisées et maximiser les services écosystémiques(sommaire .

La structure verte d'Annaba joue un rôle important dans la transition de la ville vers un modèle de développement urbain durable. Cependant, elle est confrontée à des défis importants. La pression démographique, associée à une urbanisation rapide et souvent non planifiée, entraîne une diminution significative des surfaces végétalisées, en particulier dans les zones périurbaines. Cette situation favorise la fragmentation des espaces verts, limitant leur fonction de corridors écologiques pour la faune et la flore locales. De plus, le manque de coordination dans la gestion des espaces verts, ainsi que les contraintes économiques, freine les initiatives visant à protéger et étendre ces zones essentielles.

Face à ces défis, une stratégie de planification intégrée s'impose pour conserver et développer la structure verte tout en répondant aux besoins croissants d'urbanisation. Cette approche permettrait d'assurer une gestion cohérente et durable des espaces verts, en harmonisant les impératifs de conservation de la biodiversité avec les dynamiques d'expansion urbaine. Malgré ces difficultés, Annaba dispose de nombreuses opportunités pour renforcer sa structure verte et promouvoir un développement durable. Des initiatives telles que le reboisement, le développement de parcs urbains, et la création de corridors écologiques dans les zones urbaines et périurbaines pourraient non seulement améliorer la connectivité écologique, mais aussi enrichir la biodiversité urbaine. Les projets pilotes de toits verts et de jardins partagés sont également prometteurs pour répondre aux besoins en espaces verts dans les quartiers densément peuplés, tout en contribuant à la résilience climatique de la ville.

La coopération entre les institutions locales, les ONG, et les acteurs privés peut jouer un rôle clé dans la gestion et le financement des projets liés à la structure verte. Ces partenariats permettent d'intégrer des pratiques innovantes et de mobiliser les ressources nécessaires pour une gestion durable des espaces verts. L'identification et l'analyse des défis et des opportunités liés à la structure verte d'Annaba mettent en lumière son rôle fondamental dans la transformation de la ville, avec des efforts soutenus, une politique de gestion intégrée des espaces verts, et des mesures ambitieuses de conservation et d'expansion, Annaba pourrait devenir un modèle de métropole durable en Méditerranée. Une telle transition renforcerait sa capacité à conjuguer urbanisation et préservation de la biodiversité, tout en offrant à ses habitants une meilleure qualité de vie et une résilience accrue face aux défis environnementaux.

- **Analyse Critique et Perspectives de la Structure Verte d'Annaba**

L'analyse de la structure verte de la ville d'Annaba, dans la perspective de son évolution en une métropole durable, met en lumière des enjeux essentiels liés à l'intégration écologique dans un contexte marqué par une urbanisation rapide et une pression croissante sur les ressources naturelles. Si la structure verte constitue un levier stratégique pour améliorer la résilience environnementale et la qualité de vie urbaine, elle est confrontée à des défis majeurs. Ces défis incluent la fragmentation des espaces verts, l'inégalité d'accès pour les populations, et des limites dans la gouvernance et les financements. Ces constats soulignent l'urgence de repenser les approches actuelles afin de développer des solutions durables, innovantes et adaptées aux spécificités du territoire, tout en assurant une harmonisation entre urbanisation et préservation écologique.

- **Fragmentation et Connectivité des Espaces Verts**

La fragmentation des espaces verts à Annaba, exacerbée par une urbanisation rapide, non maîtrisée et souvent peu planifiée, constitue un obstacle majeur à la connectivité écologique. Cette connectivité, essentielle pour la circulation des espèces, le maintien de la biodiversité et la résilience globale des écosystèmes urbains, est compromise par l'absence de corridors écologiques continus. Cette situation réduit l'efficacité de la trame verte dans des fonctions clés, telles que la régulation climatique, l'atténuation des îlots de chaleur urbains, et l'amélioration du confort des habitants. Par conséquent, la fragmentation des espaces verts entraîne une dégradation des services écosystémiques, essentiels au bien-être des populations et à la durabilité environnementale.

L'expérience de Singapour constitue une référence mondiale en matière de connectivité verte dans un environnement urbain dense. Singapour, souvent citée comme modèle exemplaire, a réussi à développer une trame verte dense et connectée grâce à une planification intégrée. Son réseau écologique comprend des parcs linéaires, des réserves naturelles et des toits végétalisés, reliés par des corridors écologiques soigneusement planifiés. À l'instar de Singapour, Annaba pourrait tirer parti de ces enseignements pour surmonter les défis posés par la fragmentation écologique. Le développement de zones tampons et de corridors écologiques devrait être une priorité pour reconnecter les fragments d'espaces verts existants et restaurer des habitats naturels. Ces corridors pourraient non seulement favoriser la continuité écologique, mais aussi renforcer les fonctions écosystémiques en termes de régulation climatique, de préservation des sols et de gestion des eaux. Un autre exemple inspirant est la Trame Verte et Bleue en France, qui intègre des écosystèmes terrestres et aquatiques pour assurer une continuité écologique à l'échelle urbaine et

régionale. Ce modèle, basé sur une approche intégrée, pourrait être adapté aux spécificités méditerranéennes d'Annaba, où les pressions environnementales et urbaines nécessitent une gestion territoriale équilibrée.

L'intégration de corridors écologiques dans la planification urbaine d'Annaba pourrait être renforcée par l'utilisation d'outils technologiques avancés tels que les systèmes d'information géographique (SIG) et la télédétection. Ces outils permettraient d'identifier les zones stratégiques pour les interventions écologiques, d'évaluer les besoins en connectivité, et de planifier efficacement les aménagements nécessaires. Parallèlement, ces initiatives devraient être soutenues par des politiques réglementaires claires, des incitations financières pour les parties prenantes, et des campagnes de sensibilisation pour mobiliser la participation des citoyens et des acteurs locaux.

Répondre aux défis posés par la fragmentation des espaces verts à Annaba nécessite une approche globale et dynamique . En s'inspirant des modèles exemplaires, Annaba peut envisager une transformation de sa trame verte en un réseau écologique intégré et résilient. Cette démarche, combinant planification intégrée, technologies modernes, et gouvernance environnementale forte, permettrait de préserver la biodiversité, de renforcer les services écosystémiques, et d'améliorer la qualité de vie des habitants, tout en assurant un avenir durable pour la ville et son environnement.

- **Défis Sociaux et Accès Inégal aux Espaces Verts**

La répartition inégale des espaces verts dans la ville d'Annaba met en lumière des disparités significatives en matière d'accès pour les résidents, en particulier dans les zones urbaines densément peuplées. Cette inégalité soulève des enjeux cruciaux liés à l'équité environnementale et à ses répercussions sur la qualité de vie des habitants. Les quartiers les plus défavorisés, caractérisés par des conditions socio-économiques précaires, sont souvent les moins pourvus en espaces verts, limitant ainsi leur accès à des bénéfices socio-écologiques pourtant essentiels, tels que la régulation climatique, la purification de l'air, et des espaces de détente et de socialisation. Ces disparités d'accès accentuent les inégalités sociales et environnementales, en privant une partie importante de la population des avantages que procurent les espaces verts, notamment pour la santé physique et mentale, la réduction du stress, et le renforcement des liens communautaires. Dans ce contexte, l'absence d'une stratégie urbaine inclusive pour la répartition équitable des espaces verts perpétue un cycle de marginalisation environnementale, affectant de manière disproportionnée les populations vulnérables.

Pour atténuer ces disparités, des solutions innovantes et adaptées au contexte urbain d'Annaba doivent être envisagées. L'intégration de micro-espaces verts, tels que des jardins urbains, des toitures végétalisées et des espaces verts de proximité, pourrait constituer une réponse efficace. Ces aménagements, bien que de petite échelle, ont démontré leur capacité à améliorer significativement l'accès aux espaces verts dans des environnements urbains denses. Des exemples inspirants peuvent être trouvés dans des villes méditerranéennes comme Barcelone et Athènes, où des initiatives similaires ont permis de transformer des zones autrefois délaissées en espaces verts accessibles et fonctionnels. À Barcelone, par exemple, le programme des "superblocks" a permis de redéfinir l'espace urbain en limitant la circulation automobile dans certains quartiers, ce qui a libéré des espaces pour des jardins communautaires et des zones piétonnes verdoyantes. De même, Athènes a développé des projets de toitures végétalisées sur des bâtiments publics et privés, offrant

ainsi des solutions durables pour répondre au manque d'espaces verts dans les quartiers densément peuplés.

L'application de telles solutions à Annaba nécessiterait une planification participative impliquant les communautés locales, afin de s'assurer que les projets répondent aux besoins spécifiques des habitants et renforcent le tissu social. Par ailleurs, ces initiatives devraient être soutenues par des politiques publiques inclusives et des incitations financières pour encourager les investissements dans les infrastructures vertes, en particulier dans les zones les plus défavorisées. Pour remédier aux inégalités d'accès aux espaces verts à Annaba, il est impératif d'adopter une approche intégrée, combinant innovation écologique, participation communautaire, et volonté politique. Une telle stratégie permettrait non seulement de réduire les disparités environnementales, mais aussi de contribuer à l'amélioration globale de la qualité de vie des habitants, tout en renforçant la résilience urbaine face aux défis environnementaux contemporains.

- **Gestion Durable et Innovation Participative pour la Structure Verte d'Annaba**

La gestion et la pérennité de la structure verte à Annaba sont confrontées à des défis majeurs liés à la rareté des ressources financières, à l'absence de stratégies de gestion à long terme, et à une gouvernance souvent limitée par des contraintes budgétaires. Ces facteurs freinent l'élaboration et la mise en œuvre de politiques efficaces pour la préservation et le développement des espaces verts. Pour répondre à ces défis, il est essentiel de repenser les mécanismes de financement et d'adopter des modèles de gouvernance innovants et collaboratifs. L'exploration de partenariats public-privé et la mobilisation de financements internationaux apparaissent comme des solutions prometteuses pour renforcer la durabilité des initiatives écologiques. Toutefois, une gestion durable des ressources vertes ne peut se limiter à des approches institutionnelles. L'implication active des citoyens dans la gestion et l'entretien des espaces verts constitue un levier incontournable pour garantir leur durabilité. La participation citoyenne renforce non seulement le sentiment d'appartenance communautaire, mais sensibilise également la population à l'importance des espaces naturels urbains. Des initiatives telles que les jardins communautaires et les ateliers de sensibilisation à l'environnement, déjà couronnées de succès dans plusieurs villes, offrent un modèle inspirant pour Annaba. Ces actions participatives permettent de mobiliser les habitants autour des enjeux de durabilité et de protection environnementale, tout en instaurant une dynamique intergénérationnelle de préservation. En parallèle, l'intégration de programmes d'éducation environnementale peut jouer un rôle clé dans la promotion d'une culture écologique durable. En sensibilisant les générations futures à l'importance des espaces verts, ces programmes contribuent à pérenniser les efforts de conservation et à créer une conscience collective axée sur la durabilité. Ces initiatives éducatives doivent être soutenues par des actions concrètes, telles que l'aménagement de micro-espaces verts dans les zones urbaines denses, qui répondent directement aux besoins des communautés locales.

Pour relever ces défis et saisir ces opportunités, une approche intégrée est indispensable. Cette approche repose sur une gouvernance collaborative réunissant autorités locales, ONG, secteur privé, et citoyens, afin de concevoir et mettre en œuvre des stratégies durables. En combinant innovation écologique, participation citoyenne, et solutions de financement diversifiées, Annaba pourrait transformer sa structure verte en un modèle de durabilité urbaine. Cette démarche garantirait non seulement la préservation des espaces verts, mais également leur intégration

harmonieuse dans le quotidien des habitants, tout en renforçant la résilience de la ville face aux défis environnementaux contemporains**.**

- **Perspectives pour la Métropolisation Durable d'Annaba**

Dans le cadre de son développement en tant que métropole méditerranéenne, Annaba doit repenser sa structure verte en un réseau écologique résilient, essentiel pour un développement urbain durable. Cette transformation nécessite une vision stratégique à long terme, alignée sur les objectifs globaux de durabilité et les impératifs liés aux changements climatiques. L'élaboration de solutions adaptées pourrait s'inspirer de modèles innovants tels que l'urbanisme Biophilique et la planification verte multi-niveaux, qui privilégient une intégration harmonieuse des écosystèmes naturels et construits. Une démarche prioritaire serait le développement d'une trame verte et bleue intégrée, englobant les écosystèmes terrestres et aquatiques. Cette approche renforcerait les fonctions écologiques tout en favorisant la biodiversité, la régulation climatique et la gestion durable des ressources. En parallèle, cette intégration permettrait de répondre aux besoins socio-économiques des habitants, notamment en offrant des espaces accessibles et fonctionnels, essentiels pour améliorer leur qualité de vie. L'analyse de la structure verte actuelle révèle des défis complexes, notamment la fragmentation des espaces verts, les inégalités d'accès, et des lacunes dans la gouvernance et les financements. Ces obstacles nécessitent des interventions spécifiques, guidées par des données précises et des outils de planification avancés. Toutefois, les opportunités offertes par les avancées technologiques et l'innovation écologique, combinées à une participation citoyenne active, ouvrent de nouvelles perspectives pour surmonter ces limitations.

En effet, une planification intégrée et inclusive, soutenue par une gouvernance proactive, pourrait positionner Annaba comme un modèle de métropolisation durable. Ce cadre devrait favoriser une gestion équilibrée entre urbanisation et préservation écologique, en mettant l'accent sur la restauration des écosystèmes dégradés, l'amélioration de la connectivité écologique, et l'intégration de pratiques durables dans les projets d'aménagement. Ainsi, en adoptant des stratégies globales et innovantes, Annaba pourrait non seulement transformer sa trame verte en une infrastructure écologique performante, mais aussi renforcer sa résilience face aux défis écologiques et sociaux à venir. Cette démarche dynamique placerait la ville parmi les références méditerranéennes en matière de durabilité urbaine et de gestion environnementale intégrée.

## II.3. L'Analyse Diachronique de la Couverture Terrestre (1984-2021)

### ➢ Évaluation du Rôle de la Structure Verte à Annaba (1984-2021) à l'aide du Classificateur "Random Forest" et Google Earth Engine

- **Classification de la couverture terrestre et évaluations de la précision**

Les cartes de classification de l'occupation du sol pour les années 1984, 2004 et 2021, illustrées dans les figures 1, 2 et 3, ont été générées en utilisant une méthode de classification supervisée par forêt aléatoire **(Random Forest - RF).** Reconnue pour sa robustesse et sa capacité à gérer des jeux de données complexes, cette méthode exploite les caractéristiques multispectrales des images satellitaires, ce qui la rend particulièrement adaptée à l'analyse des dynamiques de l'occupation du sol dans le cadre de cette étude.

Les résultats montrent des précisions globales de **90,09 %** en 1984, **90,31 %** en 2004, et **88,43 %** en 2021, traduisant une performance élevée du modèle pour la classification des différentes catégories d'occupation du sol. Parallèlement, le **coefficient de Kappa**, qui évalue la concordance entre la classification automatique et les données de référence, est de **0,86** pour 1984, **0,90** pour 2004, et **0,86** pour 2021. Ces valeurs reflètent une excellente fiabilité du modèle et confirment la pertinence de la méthode Random Forest dans le cadre de cette étude. En examinant les résultats par classe d'occupation du sol, il apparaît que les catégories « **eau » et « forêt »** présentent des précisions d'utilisateur et de producteur systématiquement supérieures à **90 %** pour toutes les années étudiées. Ces performances élevées traduisent une classification cohérente et fiable. La haute précision de la classe « eau » s'explique par la spécificité de sa réflectance spectrale, qui facilite sa différenciation des autres classes dans les images satellitaires. De même, la classe « forêt » bénéficie de caractéristiques spectrales distinctes et stables, contribuant à une classification précise.

Cependant, les résultats montrent que les classes **« zone urbaine »** et **« terres nues »** présentent des précisions légèrement inférieures, bien qu'elles restent acceptables dans le cadre de cette étude. La précision de l'utilisateur pour la classe « zone urbaine » montre une amélioration progressive, passant de **49,53 %** en 1984 à 65,65 % en 2004, puis atteignant **75,90 %** en 2021 . Cette progression reflète une meilleure capacité du classificateur à différencier les zones urbaines, probablement en raison de l'évolution des paysages urbains, qui deviennent plus distincts à mesure que l'urbanisation progresse.

Le **tableau 14** met également en évidence les valeurs de **F1 Score** pour chaque classe d'occupation du sol. Ce score, qui combine les précisions d'utilisateur et de producteur, fournit une mesure harmonisée de la performance globale pour chaque classe. Les scores F1 sont élevés pour toutes les catégories, mais montrent une certaine variabilité, reflétant les défis spécifiques rencontrés dans la classification de certaines classes, telles que les « terres nues » et la « zone urbaine ». Ces défis sont souvent liés à des similarités spectrales entre certaines classes ou à des variations dans les caractéristiques spectrales des paysages au fil du temps.

**Tableau 14.**Évaluation de la précision des cartes classées UTC pour les années 1984, 2004 et 2021

| | Classes d'occupation du sol | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Évaluation de la précision** | **Zone urbaine** | **Forêt** | **Eau** | **Zone agricole** | **Sol nu** | **Précision globale** | **Coefficient Kappa** |
| | **Année 1984** | | | | | | |
| **Précision de l'utilisateur** | 49.53 % | 93.36 % | 94.8 % | 94.25 % | 87.01 % | **90%** | **0.86** |
| **Précision du producteur** | 72.11 % | 95.34 % | 99.57 % | 80.03 % | 91.94 % | | |
| **F1 Score** | 60.82 % | 94.35 % | 97.23 % | 87.14 % | 89.47 % | | |
| | **Année 2004** | | | | | | |
| **Précision de l'utilisateur** | 65.65 % | 97.15 % | 96.66 % | 95.77 % | 84.73 % | **93.34%** | **0.90%** |
| **Précision du producteur** | 90.49 % | 97.08 % | 99.60 % | 88.53 % | 98.81 % | | |
| **F1 Score** | 78.07 % | 97.12 % | 98.13 % | 92.15 % | 91.77 % | | |
| | **Année 2021** | | | | | | |
| **Précision de l'utilisateur** | 75.90 % | 90.63 % | 96.82 % | 96.97 % | 63.50 % | **93.2 %** | **0.86%** |
| **Précision du producteur** | 80.65 % | 97.28 % | 91.12 % | 93.44 % | 92.92 % | | |
| **F1 Score** | 78.28 % | 93.96 % | 93.97 % | 95.21 % | 78.21 % | | |

L’analyse diachronique de l’occupation du sol met en évidence une progression continue de l’urbanisation, exerçant une pression croissante sur les trames vertes forestières et agricoles du périmètre étudié. Cette dynamique se manifeste de manière différenciée selon les secteurs géographiques, traduisant des mutations spatiales et fonctionnelles significatives.

Au nord, la densification du tissu urbain s’opère au détriment des espaces naturels, avec une avancée notable de l’urbanisation qui atteint progressivement les flancs du massif de l’Edough. Cette extension traduit un développement accéléré des infrastructures résidentielles, commerciales et industrielles, entraînant une artificialisation accrue des sols et une réduction de la connectivité écologique.

Au sud, l’expansion urbaine s’étend vers les communes périphériques d’El Bouni, Sidi Amar et El Hadjar, caractérisées par une fragmentation croissante des espaces agricoles et forestiers. L’absence de régulation efficace de l’urbanisation dans ces zones accentue la disparition progressive des continuités écologiques et la diminution des surfaces végétalisées.

À l’ouest, la création du pôle urbain de Draa Erich, initiée dans une logique de décongestion et de report de la croissance démographique, s’est traduite par une conversion massive de terres agricoles et forestières en espaces urbanisés. Cependant, cette extension s’est réalisée en rupture avec la structure verte préexistante, aboutissant à une urbanisation majoritairement minérale et dépourvue de trames vertes. Cette discontinuité spatiale a généré un impact écologique notable, notamment une altération de la végétation environnante du lac Fezzara, un site classé Ramsar, dont les équilibres écologiques sont désormais menacés.

La **Figure 137** (a, b et c) illustre l’évolution spatio-temporelle de l’occupation du sol entre 1984 et 2021, mettant en évidence des transformations majeures du paysage. L’analyse comparative des cartes révèle une réduction significative des espaces verts et une expansion urbaine accélérée, soulignant les mutations profondes du territoire sous l’effet de la pression anthropique. Ces observations renforcent la nécessité d’une planification urbaine intégrée et durable, visant à atténuer les effets de la croissance urbaine, à préserver les continuités écologiques et à favoriser l’émergence d’un modèle de développement respectueux des équilibres environnementaux.

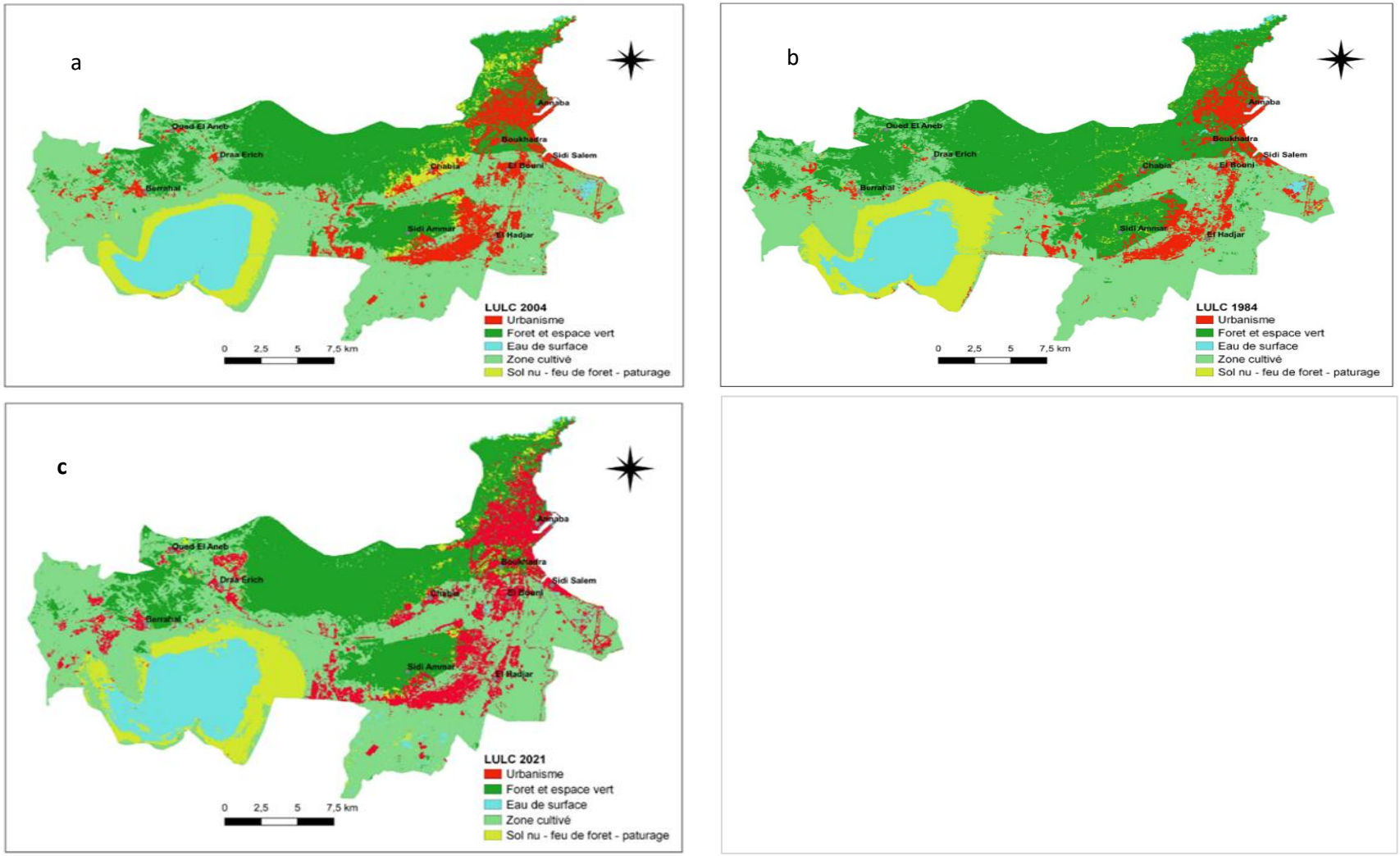



**Figure 137.(a ,b et c).**Classification de l'occupation du sol du périmètre d'étude entre 1984-2021

Dans l'ensemble, les résultats obtenus démontrent la robustesse et l'efficacité de la méthode Random Forest pour la classification de la couverture terrestre. Les performances globales et par classe mettent en lumière la pertinence de cette approche pour étudier les dynamiques d'occupation du sol sur une période de près de quatre décennies. Les évolutions observées dans les précisions, notamment pour la classe « zone urbaine », soulignent également l'influence des changements dans les paysages et des progrès technologiques sur la qualité des classifications. Ainsi, cette analyse met en évidence la fiabilité des cartes produites, tout en soulignant les défis spécifiques liés à certaines catégories d'occupation du sol. Les résultats fournissent une base solide pour approfondir la compréhension des transformations du paysage dans la zone d'étude et pour orienter les analyses futures sur les dynamiques environnementales et urbaines.

- **L'évolution et le changement de la couverture terrestre pour la période 1984-2021**

L'étude des changements de la couverture terrestre pour la période 1984-2021 met en évidence des dynamiques significatives liées à l'évolution des usages du sol au sein de la zone d'étude. Le **tableau 15** synthétise ces transformations en présentant les superficies occupées par les différentes classes de couverture terrestre pour les années 1984, 2004 et 2021, ainsi que les variations exprimées en kilomètres carrés et en pourcentages. Ces données permettent de comprendre les tendances d'évolution de l'occupation du sol sur près de quatre décennies, tout en identifiant les facteurs sous-jacents et leurs impacts.

L'un des aspects les plus marquants de cette évolution est la réduction substantielle des espaces naturels, en particulier les surfaces forestières et les espaces verts. Ces catégories ont diminué de 43,98 km², soit une perte de 23,78 % sur l'ensemble de la période étudiée. Cette régression est principalement attribuable à l'urbanisation croissante et à l'expansion des infrastructures dans la région. Les terres nues, une autre classe non bâtie, ont également connu une diminution de 5,64 km², correspondant à une baisse de 10,77 %. Ces diminutions traduisent une pression anthropique accrue sur les espaces naturels, liée à la demande croissante en terres pour des usages urbains, résidentiels et industriels.

**Tableau 15.** Résumé des classes d'occupation du sol et des modifications pour la zone d'étude

| **Classes Couverture terrestre** | **Superficie km2** | | | **Changement de superficie Km²** | | | **Changement de superficie %** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **1984** | **2004** | **2021** | **1984-2004** | **2004-2021** | **1984-2021** | **1984-2004** | **2004-2021** | **1984-2021** |
| Urbanisme | 45,9234 | 59,7609 | 69,3774 | 13,8375 | 9,6165 | 23,454 | 30,13 | 16,09 | 51,07 |
| Forêt - espace vert | 184,9473 | 150,8103 | 140,9625 | -34,137 | -9,8478 | -43,9848 | -18,46 | -6,53 | -23,78 |
| Eau | 43,6851 | 50,1561 | 55,0728 | 6,471 | 4,9167 | 11,3877 | 14,81 | 9,80 | 26,07 |
| Terres cultivées | 198,2871 | 223,1271 | 212,8023 | 24,84 | -10,3248 | 14,5152 | 12,53 | -4,63 | 7,32 |
| Terres nues et autres | 52,4079 | 41,4837 | 46,7631 | -10,9242 | 5,2794 | -5,6448 | -20,84 | 12,73 | -10,77 |

Parallèlement, une augmentation significative des zones bâties a été observée. Entre 1984 et 2021, la superficie occupée par cette catégorie a augmenté de 23,45 km², représentant une croissance de 51,07 %. Cette expansion illustre clairement l'ampleur du processus d'urbanisation, marqué par la construction de nouvelles infrastructures pour répondre aux besoins d'une population en forte croissance. Ce phénomène reflète les dynamiques de développement urbain, qui transforment progressivement le paysage en faveur d'un modèle axé sur l'extension des zones bâties au détriment des espaces naturels.

Les terres cultivées ont également connu des transformations notables, avec une augmentation de 12,53 % sur la période. Cette évolution peut être liée à l'intensification des activités agricoles ou à des conversions d'usage du sol destinées à renforcer la production agricole dans un contexte de demande croissante en ressources alimentaires. De même, les zones d'eau ont enregistré une augmentation significative de leur superficie, avec une croissance de 26,07 %. Cette évolution pourrait être attribuée à des projets hydrauliques, tels que la construction de barrages ou de réservoirs, ou encore à des dynamiques naturelles telles que l'augmentation des niveaux d'eau dans certains bassins.

Ces transformations de la couverture terrestre ne sont pas sans conséquences pour la région. La réduction des zones forestières et des espaces verts a des répercussions directes sur l'écosystème local et la biodiversité. Ces pertes contribuent à la dégradation des habitats naturels, à la diminution des services écosystémiques, et à une vulnérabilité accrue face aux risques environnementaux, tels que l'érosion des sols, les inondations et la perte de régulation climatique. En outre, la réduction des espaces verts a également un impact négatif sur la qualité de vie des habitants, en diminuant les bénéfices socio-écologiques associés, tels que la purification de l'air, la régulation des températures urbaines, et les espaces récréatifs.

Bien que l'augmentation des terres cultivées et des zones d'eau puisse apporter certains avantages socio-économiques, elle nécessite une gestion équilibrée pour minimiser les impacts sur l'environnement. Par exemple, l'expansion des terres agricoles peut accentuer la pression sur les ressources en eau et sur les sols, tandis que l'augmentation des zones d'eau pourrait entraîner des modifications des écosystèmes aquatiques, influençant leur équilibre écologique.

Ainsi, l'évolution de la couverture terrestre dans la zone d'étude reflète des tendances complexes et parfois contradictoires, illustrant à la fois les pressions exercées par l'urbanisation rapide et les opportunités liées à une utilisation plus productive des terres. Ces dynamiques soulignent la nécessité d'une planification territoriale durable, intégrant des stratégies pour préserver les espaces naturels, limiter l'expansion urbaine non contrôlée, et gérer efficacement les ressources. Une telle approche contribuerait à maintenir un équilibre entre développement urbain et conservation de l'environnement, tout en assurant une qualité de vie optimale pour les générations futures.

Les dynamiques de changement des classes d'utilisation des sols entre 1984 et 2021 mettent en évidence une urbanisation croissante accompagnée d'une intensification des terres cultivées, tandis que les zones forestières et les espaces verts ont enregistré une régression marquée. Les terres urbanisées ont connu une expansion constante sur l'ensemble de la période d'étude, avec une augmentation de 13,84 km² entre 1984 et 2004, suivie de 9,62 km² entre 2004 et 2021, pour un total de 23,45 km² sur la période complète (1984-2021). Ce phénomène peut être attribué à la demande croissante en espaces bâtis due à la croissance démographique et à

l'expansion des infrastructures. De manière similaire, les zones d'eau montrent une augmentation progressive de leur superficie. Elles ont gagné 6,47 km² entre 1984 et 2004 et 4,91 km² entre 2004 et 2021, totalisant une augmentation de 11,38 km² de 1984 à 2021. Cette augmentation pourrait s'expliquer par la création de nouvelles infrastructures de rétention d'eau et des changements dans les politiques de gestion des ressources hydriques pour répondre aux besoins urbains.

En revanche, les terres forestières et espaces verts ont subi une perte considérable, enregistrant une diminution de 43,98 km² entre 1984 et 2021. Ce déclin peut être attribué à la conversion de ces zones naturelles en espaces urbanisés ou agricoles. La réduction des forêts et des espaces verts a des conséquences écologiques significatives, notamment en matière de biodiversité, de qualité de l'air, et de régulation des îlots de chaleur urbains.

Les terres nues et autres terres non exploitées ont également montré une tendance générale à la baisse, avec une diminution de 10,92 km² entre 1984 et 2004 et une réduction de 5,64 km² de 1984 à 2021, bien qu'une légère augmentation de 5,27 km² ait été notée entre 2004 et 2021(**Figure 138**). Cette fluctuation pourrait refléter des pratiques d'aménagement transitoires, où certaines de ces terres sont intégrées à des projets d'urbanisation ou de végétalisation temporaire avant leur reconversion. L'analyse des changements dans l'utilisation des sols met en exergue les pressions exercées par l'urbanisation et l'intensification agricole, qui se font au détriment des écosystèmes naturels. La diminution des espaces verts souligne la nécessité de politiques urbaines renforcées pour la conservation et l'intégration d'espaces naturels au sein du tissu urbain, favorisant ainsi la résilience environnementale et le bien-être des habitants.

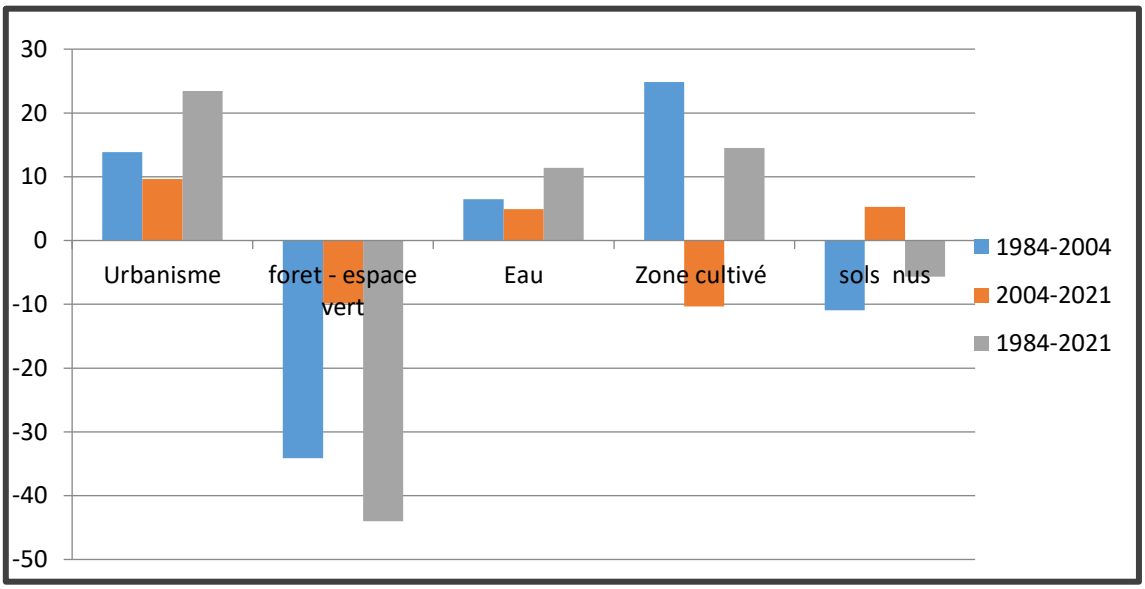



**Figure 138**. Évolution de la superficie des classes d'utilisation des sols aux différentes périodes : 1984-2004, 2004-2021 et 1984-2021.

- **Analyse Spatiale des Modifications de l'Utilisation des Sols : 1984, 2004 et 2021**

La **Figure 139** fournit une représentation détaillée des transformations de l'utilisation des sols dans la zone d'étude sur une période de 37 ans, divisée en deux intervalles significatifs : 1984-2004 et 2004-2021. Ces périodes reflètent des dynamiques distinctes, façonnées par des processus complexes tels que l'urbanisation, la déforestation et la conversion des terres. Ces changements traduisent les transformations profondes des paysages sous l'effet conjugué des pressions démographiques croissantes et des pratiques d'aménagement du territoire.

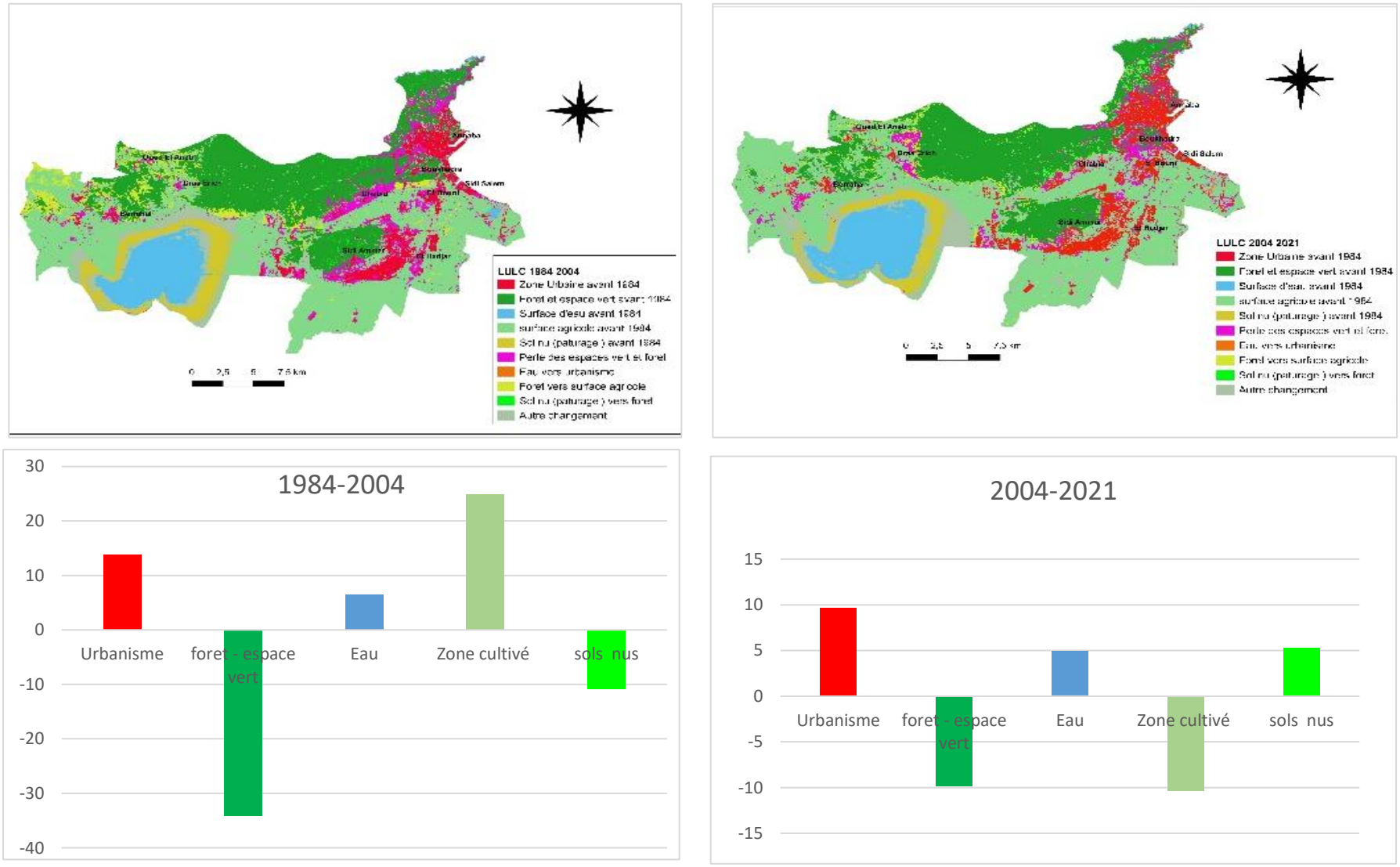



**Figure . 139.** Classification de l'utilisation des sols dans la zone d'étude et interprétation quantifiée des modifications : (1a) 1984, (2b) 2004

- **Modifications de l'utilisation des sols entre 1984 et 2021: Urbanisation accélérée et transformation des écosystèmes naturels.**

La première phase d'analyse, couvrant la période 1984-2004, révèle une accélération importante de l'urbanisation. L'histogramme montre une augmentation de plus de 10 % des terres urbanisées, au détriment des forêts et des espaces verts, qui enregistrent une perte drastique de près de 40 %. Cette transformation radicale s'explique par une forte expansion démographique et une pression accrue sur les infrastructures urbaines, nécessitant l'exploitation des terres forestières pour répondre aux besoins en logements et en infrastructures.

Le recul des forêts et des espaces verts est particulièrement préoccupant dans cette période, car il se traduit par une perte irréversible de biodiversité et une réduction des services écosystémiques, tels que la régulation du climat local et la gestion des ressources en eau. Parallèlement, on observe une augmentation notable des terres cultivées, signalant une conversion des zones forestières en terres agricoles. Cette transition vers l'agriculture intensive peut être liée à des politiques d'autosuffisance alimentaire, mais elle pose également des défis en termes de gestion durable des sols, compte tenu de la surexploitation et de l'épuisement des ressources naturelles.

La figure révèle également une stabilisation relative des surfaces d'eau, ce qui suggère que, malgré les pressions anthropiques, les zones humides et les cours d'eau n'ont pas été autant affectés par les changements d'utilisation des sols que les zones forestières. Cependant, il est crucial de surveiller ces zones pour éviter leur dégradation future, car elles jouent un rôle clé dans la régulation des écosystèmes locaux.

- **Modifications de l'utilisation des sols entre 2004 et 2021 : Vers une urbanisation plus étendue, mais moins rapide**

Entre 2004 et 2021, la dynamique de transformation des sols montre un ralentissement relatif du rythme d'urbanisation par rapport à la période précédente. Néanmoins, l'expansion urbaine se poursuit avec une augmentation notable de la couverture urbaine, bien que moins prononcée qu'entre 1984 et 2004. Cette croissance urbaine continue met en évidence une persistance des besoins en infrastructures dans une région qui subit une transition démographique constante.

Dans cette période, les espaces verts continuent de diminuer, bien que leur perte soit moins dramatique qu'au cours des deux décennies précédentes. Cette tendance pourrait indiquer une prise de conscience progressive des impacts négatifs de l'urbanisation incontrôlée sur l'environnement, ce qui aurait conduit à la mise en œuvre de politiques de préservation des espaces naturels. Toutefois, ces efforts ne semblent pas encore suffisants pour inverser la tendance de dégradation environnementale, car les espaces verts continuent de céder la place à des développements urbains et des infrastructures.

La figure met également en évidence une réduction légère des terres agricoles, ce qui pourrait traduire soit une conversion de ces zones en terres urbanisées, soit un abandon progressif des pratiques agricoles dans certaines régions. Cette perte de terres agricoles, bien que modérée, pose des questions sur la sécurité alimentaire et la durabilité des systèmes agricoles à long terme dans la région étudiée. Les sols nus, bien qu'ils jouent un rôle marginal dans l'écosystème urbain, connaissent une légère augmentation durant cette période, ce qui

pourrait indiquer des zones de transition ou des terres en jachère, prêtes à être converties en espaces bâtis ou en espaces agricoles.

Les modifications spatiales observées traduisent les effets cumulatifs des pressions anthropiques sur le territoire. Ces dynamiques spatiales révèlent une transition significative du paysage, avec une prédominance de l'urbanisation et une réduction marquée des espaces naturels. Les changements sont particulièrement visibles dans les zones périphériques, où l'urbanisation incontrôlée a entraîné une dégradation des habitats naturels, compromettant ainsi la connectivité écologique et les fonctions des écosystèmes locaux.

L'analyse spatiale met également en évidence l'importance des politiques d'aménagement du territoire durant ces périodes. Les lacunes en matière de planification durable, notamment l'absence de mesures de protection pour les zones sensibles et la faible intégration des corridors écologiques dans les plans d'urbanisation, ont contribué à accentuer les impacts négatifs sur les paysages naturels. Ces résultats soulignent la nécessité urgente d'adopter une approche de planification territoriale intégrée pour atténuer les effets de l'urbanisation rapide et préserver les ressources naturelles restantes.

En somme, l'évolution de l'utilisation des sols dans la zone d'étude, telle qu'illustrée par la figure N°10, reflète des transformations profondes et souvent irréversibles des paysages. Ces changements mettent en lumière le rôle central des dynamiques anthropiques dans la reconfiguration des espaces et appellent à une gestion réfléchie et durable des ressources pour limiter les impacts futurs sur l'environnement et la qualité de vie des habitants.

- **Évolution Globale entre 1984 et 2021 : La domination de l'urbanisation et l'érosion des espaces naturels**

Sur l'ensemble de la période 1984-2021, l'analyse globale met en lumière la domination écrasante de l'urbanisation sur les autres types d'utilisation des sols. La transformation des terres forestières et des espaces verts en zones urbanisées est la caractéristique la plus marquante de cette période. Les forêts et les espaces verts ont enregistré un déclin alarmant, entraînant une réduction de la capacité de la région à maintenir la biodiversité, à réguler les microclimats et à offrir des services écosystémiques vitaux. L'expansion urbaine, quant à elle, a suivi une trajectoire continue, soutenue par la croissance démographique et les besoins en infrastructures. Si cette tendance se poursuit, elle pourrait mener à une saturation des zones urbaines et à une exacerbation des problèmes environnementaux, tels que l'îlot de chaleur urbain, la pollution de l'air et la dégradation des ressources en eau.

L'analyse des cartes et de l'histogramme révèle également une interaction complexe entre les différents types de sols. Bien que les terres agricoles aient augmenté dans la première phase d'analyse (1984-2004), elles montrent des signes de stagnation et de déclin dans la période 2004-2021. Cela reflète peut-être une diversification des usages du sol ou un abandon progressif de certaines terres agricoles face aux pressions urbaines.

Les résultats exposés dans la figure mettent en lumière les transformations profondes de l'utilisation des sols au cours des 37 dernières années dans la zone d'étude. L'urbanisation rapide, associée à une diminution préoccupante des espaces verts et forestiers, reflète une gestion territoriale qui n'a pas suffisamment tenu compte des impératifs de durabilité environnementale. La perte de terres forestières et d'espaces naturels entraîne des conséquences majeures pour l'écosystème régional, notamment en termes de biodiversité, de régulation climatique et de gestion des ressources naturelles.

Il devient impératif de mettre en œuvre des politiques de gestion durable des terres, axées sur la préservation des espaces verts, la reforestation et la limitation de l'étalement urbain. Une meilleure planification territoriale, intégrant des corridors écologiques et des zones tampons pour protéger les terres agricoles et forestières, est essentielle pour rétablir un équilibre entre développement urbain et préservation de l'environnement.

Cette analyse révèle une transformation inéluctable vers l'urbanisation, mais souligne également l'opportunité d'intégrer des stratégies de développement durable pour atténuer les effets négatifs sur les écosystèmes naturels et les communautés locales.

- **Impact de l'Urbanisation sur la Structure Verte : Analyse des pertes et des gains**

**-Analyse des Changements de l'Occupation des Sols et Évaluation de la Structure Verte**

La **Figure 140** met en évidence de manière explicite les gains et pertes de terres dans différentes catégories d'occupation, à savoir les terres bâties (BL), les terres cultivées (CL), et les terres forestières (FL), entre 1984 et 2021. Ces transformations sont des marqueurs directs des dynamiques spatiales et environnementales de la zone d'étude, mettant en lumière à la fois l'urbanisation accélérée et la pression grandissante sur les écosystèmes naturels.

- **Forêts et Espaces Verts : Déclin Prononcé et Pertes Massives**

L'analyse des dynamiques d'utilisation des sols met en évidence un déclin alarmant des terres forestières, marqué par une perte nette de 55,5 km² sur la période étudiée. Ce phénomène résulte principalement de la conversion des forêts en terres agricoles et urbaines, en réponse à des pressions anthropiques croissantes. Plusieurs études, notamment celles de Lili Lin et al. (2020), attribuent cette transformation à l'expansion incontrôlée des activités humaines, telles que le surpâturage et la surculture, qui ont accéléré la dégradation irréversible du couvert végétal. Ces observations sont confirmées par les travaux de Shaltout et al. (2021) et Cun Zhan et al. (2022), qui soulignent l'impact cumulatif des activités humaines sur la destruction des écosystèmes forestiers.

Malgré cette régression significative, une partie importante des terres forestières, représentant 192,42 km², a été préservée. Cette préservation témoigne de la résilience de certaines zones face à la pression urbaine et agricole. Ce maintien relatif pourrait être attribué à des politiques de conservation spécifiques mises en œuvre dans certaines régions, ou à des caractéristiques territoriales telles qu'une densité de population plus faible ou un accès limité. Ces résultats soulignent l'importance des initiatives de gestion durable, qui, lorsqu'elles sont correctement mises en œuvre, peuvent contribuer à freiner les pertes forestières et protéger les espaces verts.

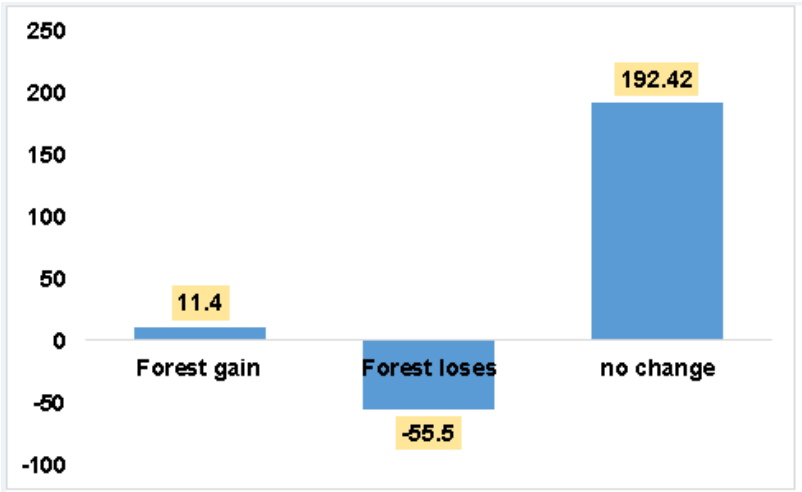
Ce recul des forêts et des espaces verts n'est pas sans conséquences sur l'environnement local et global. La perte de couvert végétal réduit la capacité des écosystèmes à fournir des services essentiels tels que la régulation climatique, la conservation des sols, et la préservation de la biodiversité. De plus, elle exacerbe des phénomènes tels que l'érosion, la désertification, et la fragmentation des habitats, compromettant davantage la résilience des écosystèmes face aux changements climatiques et aux pressions anthropiques croissantes.

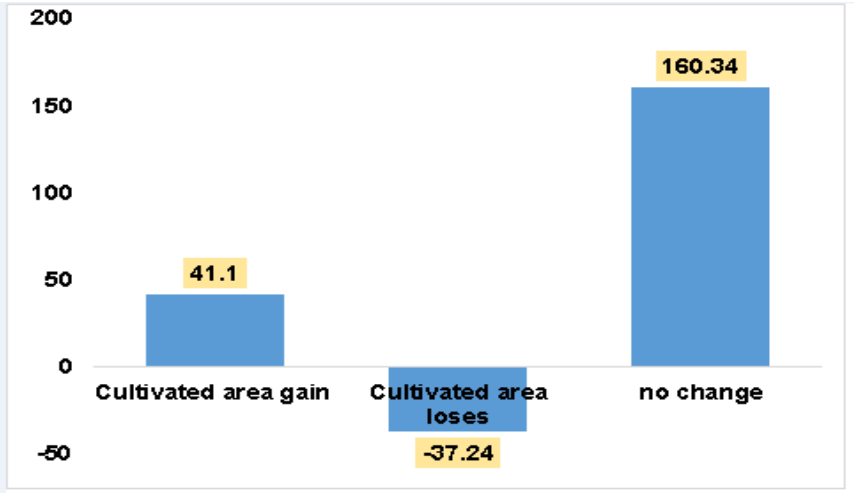
Ces résultats soulignent la nécessité urgente de renforcer les politiques de conservation et d'adopter des pratiques durables de gestion des terres. En s'appuyant sur les enseignements tirés des zones préservées, il est possible d'identifier des leviers d'action efficaces pour ralentir, voire inverser, les tendances actuelles de déforestation et de dégradation des espaces verts. Une approche intégrée combinant conservation proactive, sensibilisation communautaire, et régulations strictes pourrait offrir une solution pour préserver ce qui reste du patrimoine forestier et naturel dans la région.

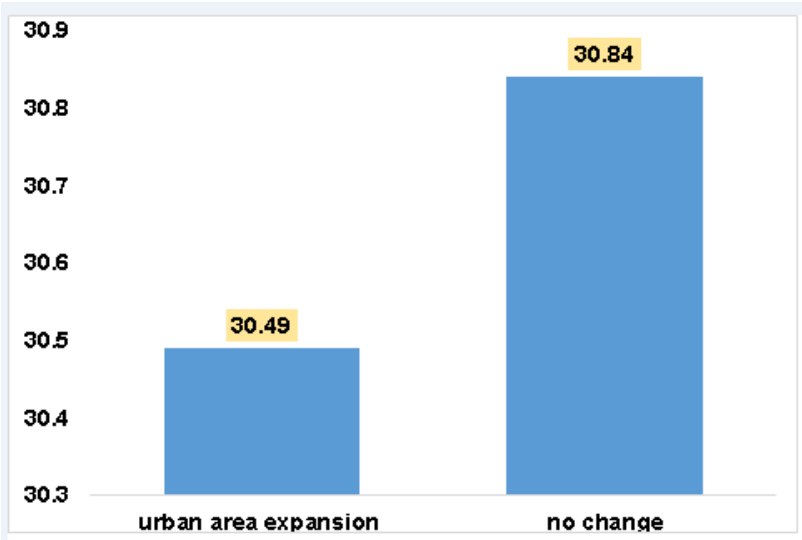
- **Terres Cultivées : Fluctuations et Conversion Progressives**

Les terres cultivées dans la zone d'étude présentent des dynamiques contrastées, reflétant à la fois une expansion agricole et une réduction due à l'urbanisation rapide. D'un côté, elles enregistrent un gain net de 41,1 km², témoignant d'une intensification des pratiques agricoles dans certaines zones. Cette expansion agricole s'inscrit probablement dans un effort pour répondre à la demande croissante en ressources alimentaires et à l'amélioration des techniques agricoles.

Cependant, ces terres cultivées subissent également une perte significative de 37,24 km², en grande partie converties en zones urbaines ou laissées à l'état de sols nus. Ces conversions traduisent la pression croissante exercée par l'urbanisation rapide, particulièrement dans les communes périphériques comme El Bouni, Sidi Amar, et Berrahel, où de vastes programmes de logement et d'infrastructure ont été mis en œuvre. Comme le montrent les travaux de Du et al. (2019), cette dynamique est typique des régions en forte croissance démographique, où les besoins en logement et en infrastructures prennent souvent le pas sur la préservation des terres productives. Cette situation met en évidence un défi critique : concilier l'expansion urbaine inévitable avec la préservation des terres agricoles, qui jouent un rôle essentiel dans la sécurité alimentaire et la résilience économique. La perte de terres agricoles au profit de l'urbanisation souligne l'urgence d'adopter des politiques d'aménagement équilibrées qui intègrent des mécanismes de protection des terres cultivées, tout en répondant aux besoins croissants des populations urbaines.




Le transfert des usages des sols touche principalement les terres forestières, cultivées, urbanisées et les terres nues. Ce processus de conversion, souvent lié à la pression urbaine et à l'expansion des infrastructures, transforme les espaces naturels et agricoles en surfaces bâties. Les terres forestières sont parfois défrichées pour l'agriculture ou l'urbanisation, tandis que les terres cultivées sont converties en zones résidentielles ou industrielles pour répondre à la croissance démographique. Les terres nues, en friche ou en attente de développement, offrent un potentiel pour de futurs projets d'aménagement. Ces changements affectent fortement les ressources naturelles, la qualité des sols et la biodiversité.

**Figure 140.** Perte et gain de terres entre 1984 et 2021 des différentes catégories BL = Terres bâties, CL = Terres cultivées, FL = Terres forestières

- **Urbanisation : Expansion Massive et Conversions Intensives**

L'urbanisation dans la zone d'étude a connu une intensification marquée entre 1984 et 2021, avec un gain de 30,49 km² de terres converties en zones bâties. Ce phénomène reflète une expansion urbaine rapide, particulièrement autour de la ville d'Annaba et des communes environnantes. Les axes stratégiques tels que la RN44 ont joué un rôle déterminant dans l'étalement urbain, facilitant le développement de nouvelles infrastructures et zones résidentielles.

Les communes de El Bouni, Sidi Amar, et El Hadjar ont été les épicentres de cette urbanisation rapide, en réponse à une forte croissance démographique. Ces zones ont vu la mise en œuvre de programmes ambitieux de logement et d'infrastructures, exacerbant la pression sur les terres agricoles et forestières. L'expansion urbaine s'est également étendue vers l'ouest et le sud, illustrant une consommation accrue de terres au détriment des écosystèmes naturels, en particulier les terres cultivées et forestières. Ce développement rapide, bien qu'indispensable pour répondre aux besoins des populations, pose des défis majeurs en matière de durabilité. La conversion des terres agricoles et forestières en zones bâties fragilise les écosystèmes locaux, réduit la capacité de la région à assurer sa sécurité alimentaire, et aggrave les problèmes environnementaux tels que l'érosion des sols, les inondations, et la perte de biodiversité.

Face à cette situation, il est impératif d'élaborer une stratégie d'aménagement du territoire qui prenne en compte à la fois les impératifs de croissance urbaine et la nécessité de préserver les ressources naturelles et les terres productives. Une telle stratégie devrait inclure des réglementations strictes sur l'utilisation des terres, la création de zones tampons autour des écosystèmes critiques, et des programmes de revalorisation des terres urbaines existantes pour limiter l'étalement. Ce type d'approche intégrée pourrait permettre à Annaba de concilier son développement urbain avec les enjeux de durabilité environnementale et sociale.

- **Analyse de l'NDVI et Impact de la Réduction des Espaces Verts**

Pour évaluer la structure verte et l'impact de ces transformations sur la végétation, des séries temporelles de l'indice de végétation NDVI ont été utilisées. Le NDVI est un indicateur important des variations de la biomasse végétale et de l'activité photosynthétique, allant de 0 (activité très faible voire nulle) à 0,56 (activité photosynthétique très élevée). Cet indice permet d'identifier des zones de végétation dense et active, en particulier autour du Mont de l'Edough et de Sidi Amar, où les valeurs maximales du NDVI en 2004 et 2021 sont particulièrement élevées (Brahim Jaziri et al., 2019). Les valeurs comprises entre "0" et "0,31" sont souvent associées à des surfaces non forestières, telles que les terres agricoles, les zones bâties et les terrains nus. Les valeurs négatives ou nulles indiquent des zones occupées par de l'eau, montrant une absence totale de végétation.

Les fluctuations du NDVI au fil des ans soulignent les impacts différenciés de l'urbanisation sur la végétation, avec une fragmentation croissante des espaces verts, notamment autour du Lac Fezzara, victime d'une forte dégradation de son hydro-système due à l'urbanisation de la ville nouvelle de Draa Erich. Cette dégradation, comme le montre Karima Melouk et al. (2015), menace également la nappe phréatique locale, accentuant les risques environnementaux dans cette région.

L'utilisation de l'NDVI montre également que les phases de déclin ou d'instabilité de la végétation sont étroitement liées à l'extension rapide des terres urbanisées. Cette situation

souligne la nécessité de politiques rigoureuses de gestion de l'aménagement du territoire, afin de rééquilibrer les besoins en développement urbain avec les impératifs de conservation écologique.

En 1984, la carte illustrée dans la **Figure (a)** montre une végétation dense, représentée par des valeurs élevées de NDVI (en vert), particulièrement autour des zones forestières et agricoles. Cependant, on observe déjà certaines zones, notamment à Berrahal et aux abords de Oued El Aneb, où la végétation est plus clairsemée, indiquée par des valeurs plus faibles de NDVI (en orange).

En 2004, la carte **(b)**révèle une diminution notable de la végétation, en particulier dans les zones urbanisées, telles qu'Annaba, El Bouni et Chetaibi. Le développement urbain et l'expansion des infrastructures ont contribué à une réduction des espaces verts, ce qui est visible à travers l'augmentation des surfaces en orange (NDVI faible), représentant des zones déboisées ou dégradées.

En 2021,la carte **(c)** exprime la tendance à la réduction de la végétation persiste, bien que certaines zones périphériques aient conservé une couverture végétale importante. Les zones urbanisées continuent de s'étendre, accentuant la fragmentation des espaces verts. Le contraste entre les zones à forte couverture végétale (vert foncé) et les zones urbanisées (orange) est encore plus marqué, soulignant l'impact de l'étalement urbain sur la biodiversité et la qualité environnementale

La série de cartes dans la **Figure 141** illustre ainsi le déclin progressif des espaces verts dans la région d'Annaba sous la pression de l'urbanisation et met en lumière la nécessité de renforcer les politiques de gestion durable des ressources naturelles et de planification urbaine pour préserver les écosystèmes locaux.

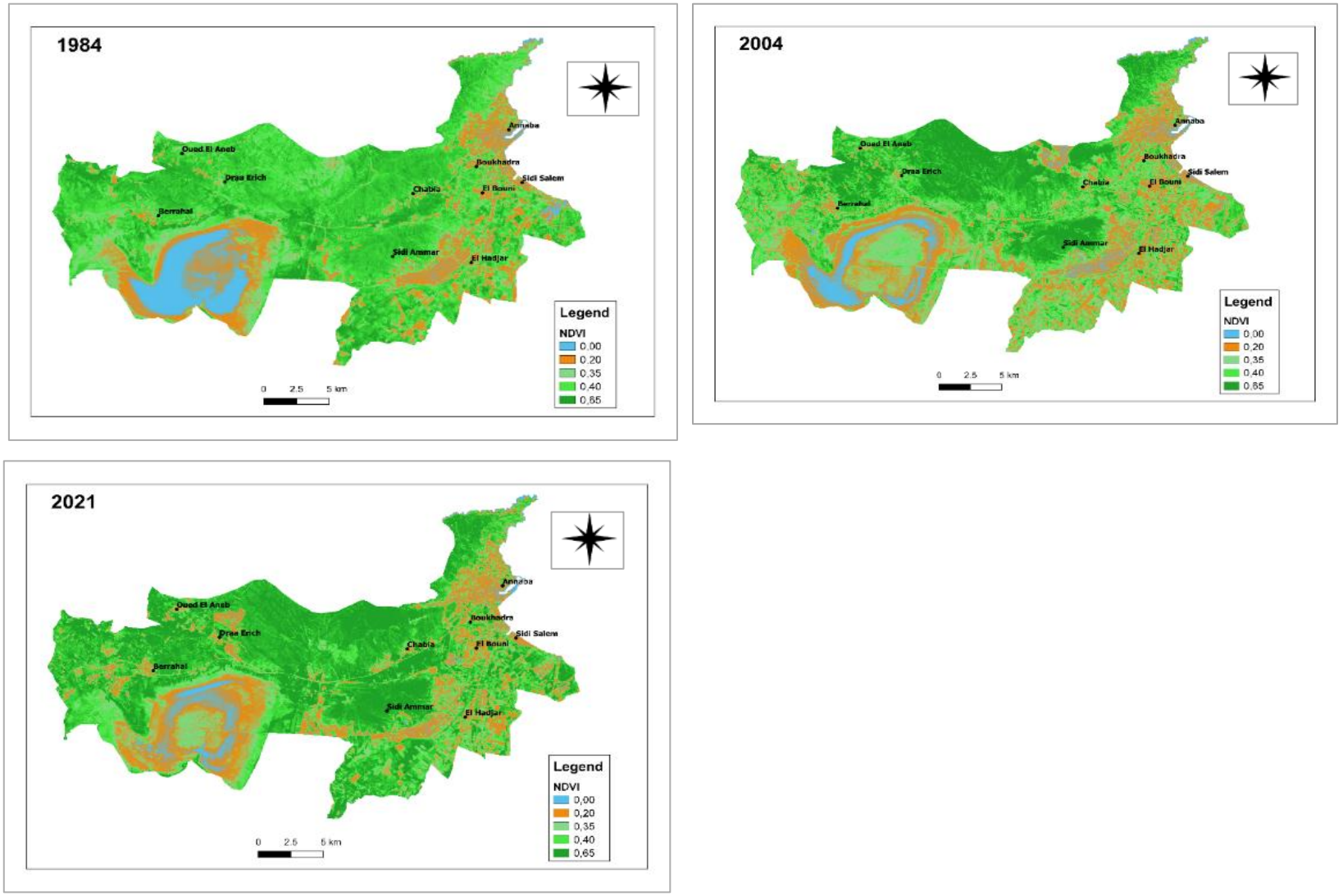



**Figure 141.** L'évolution de l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) sur la période 2004-2021 . Maximum NDVI : (a) 1984, (b) 2004, and (c), 2021 dans la zone d'étude

Pour synthétiser on peut dire que l''analyse des changements d'occupation des sols entre 1984 et 2021 montre un rétrécissement considérable des espaces verts et une expansion importante des terres urbanisées, particulièrement marquée entre 1984 et 2004. Cependant, la période 2004-2021 témoigne d'une légère stabilisation des transformations, suggérant une prise de conscience progressive de la nécessité de protéger les espaces naturels. Malgré cela, les zones forestières et agricoles continuent de décliner, posant des questions sur la durabilité des pratiques d'aménagement du territoire.

Les résultats mettent en évidence la nécessité de revoir les politiques territoriales, afin de promouvoir un développement urbain plus harmonieux et respectueux de l'environnement. Le recours à des indicateurs tels que le NDVI offre des outils précieux pour surveiller la dynamique des espaces verts, essentiels pour maintenir l'équilibre écologique et la résilience environnementale à long terme. Cette analyse montre clairement l'impact significatif de l'urbanisation rapide sur les espaces naturels. La perte marquée des terres forestières et cultivées, combinée à une expansion urbaine incontrôlée, pose un risque considérable pour la durabilité environnementale de la région d'Annaba. Bien que des gains modestes aient été observés dans certaines zones agricoles et forestières, ils ne compensent pas les pertes considérables.

Il est donc impératif de mettre en œuvre des stratégies de gestion durable des terres, intégrant des corridors écologiques et des mesures de conservation plus robustes, afin de freiner la dégradation environnementale et de favoriser la résilience des écosystèmes locaux. En outre, l'utilisation d'outils de surveillance tels que le NDVI permettra de mieux comprendre et anticiper les changements futurs, contribuant ainsi à une gestion plus efficace et durable des espaces verts dans la région.

## II.4. Changement de la couverture terrestre de 1984 à 2021

Le plus marquant dans les changements de la couverture terrestre de 1984 est la prédominance des terres cultivées (198.28 Km2) avec 37.75% de la zone d'étude, suivi par 35.21% des terres forêts et espace verts, 9.97 % des terres nus, de 8.74% et 8.31 % terres urbanisées et l'eau respectivement. La comparaison nous a permis de repérer une régression des terres forêts et espace verts à 26.85% et une augmentation légère 40.54% des terres cultivées pour 2021.

Dans cette étude, il a été constaté une décadence des terres forêt et espaces verts pour les périodes (1984-2004 et 2004-2021) due principalement à une conversion en terres urbanisées, en terres cultivées ou en terres nues ou autres. Comme indiqué dans plusieurs recherches, l'évolution s'est produite en tache d'encre en achoppant sur les flancs de l'Edough (Mebirouk Hayet, 2012) ou figure la partie forestière la plus importante de la ville. Pareillement, les sols nus et autres ont exprimé à leur tour une régression 20,64% pour (1984-2004) et ont augmenté légèrement 12.73 % pour (2004-2021). Annaba comme toute les autres grandes villes d'Algérie se développe de façon ¨ anarchique¨ et dans tous les cas au préjudice des terres agricoles et même forestiers. Après avoir été la cause du développement d'une agriculture de « ceinture intensive » selon un modèle décrit par Von Thünen, la ville devient la cause de sa disparition, par le changement d'affectation de sols. (Hadj Mohammed MAACHOU 2011), ce qui limite d'ailleurs le déplacement des espèces. Ces milieux présentent donc de nombreux services pour les écosystèmes, mais dépendent grandement du niveau d'anthropisation exercé (usage des sols).

En analysant l'évolution de l'occupation et l'utilisation des sols au niveau de la future métropole, on se rend compte de l'importance des transformations physiques et structurelles, introduites au sein de cette dernière. On assiste à la diffusion de l'urbanisation à des aires de plus en plus importantes lointaines, faisant de la ville une vaste conurbation. Ces transformations ont été au dépend de la structure verte et depuis une longue date. D'ailleurs la confrontation industrie-agriculture, a eu des effets considérables par la consommation de l'espace. Des milliers d'hectares ont disparu sous l'effet de l'industrialisation ; les terres sollicitées portaient pour la plupart, une culture intensive. (Saidi .N 2002).

Le couvert vert d'Annaba, fait encore l'objet d'une destruction massive, à la faveur d'investissements inadaptés et d'urbanisation anarchique, Annaba voit, chaque jour passé, sa verdure disparaître du paysage. Un phénomène vérifié si on observe la ville à partir de ces panoramas, en ce moment-là on se rend compte de l'ampleur des dégâts causés par le béton. Depuis les monts de l'Edough, Aïn Achir jusqu'à Berrahal et tout le long de la RN44, en passant par Boukhadra, entre autres zones massacrées, couleur verte omni absente, hormis quelques buissons et arbustes persistent encore. Annaba en son centre a peu de verdure, pour ne pas dire plus rien et son urbanisation avance sur sa périphérie proche et même lointaine fracturant la structure verte causant ainsi le recul des trames vertes (trames agricoles, forestières et vertes urbaines) (Bahri .W 2019).

Certaines couvertures vertes, soit elles ont été ravagées par les incendies, soit altérées sous l'effet de la pollution, soit défrichées et mises en culture. En occurrence ceci entraine une réduction importante de la couverture végétale de ces terres . Sans perdre de vue les dégâts causés aux terres agricoles déclassées et urbanisées. Des milliers de terres fertiles ont été englouties par le béton. Dans la future métropole, notamment le périmètre d'étude, le constat quant à la structure verte est inquiétant surtout qu'on est à l'ère du DUD et de la sécurité alimentaire. Souvent des programmes de logements sociaux et de promotionnels et de zones industrielles sont toujours installés sur des terres agricoles ou forestières.

On retient que l'usage du modèle spatial, nous a permis d'identifier le changement des principaux types de couverture terrestre. Les résultats ont montré la réduction des terres forets et espaces verts, les terres cultivées et l'expansion surtout des terres bâties étaient les principaux processus de changement de la couverture terrestre dans le périmètre d'étude, ayant généré une fragmentation

- **Effets de l'avancée de l'urbanisation sur le changement de la couverture terrestre de 1984 à 2021**

La superficie des terres forets et espaces verts a diminué de 34.13 km2 entre 1984 et 2004 et aussi de 9.84 Km2 entre 2004 et 2021. Une régression des terres cultivées de 10.32 km2 entre 2004 et 2021.Ce qui peut s'expliquer par les politiques d'urbanisation visant à absorber le besoin en logements, en développant ainsi des éclats faisant apparaître un périurbain de plus en plus fragmenté ,en butant sur les ressources naturels et verts responsable de l'équilibre des écosystèmes et du développement durable l'environnement .Ces dommages causés par les différentes mutations entre 1984 et 2021 datent bien avant cela.

La superficie des terres urbanisées a augmenté de 51.07 km2, Ce fait peut s'expliquer par la conversion éventuelle d'autres types d'utilisation des terres en terres nues en raison du processus de développement pour soutenir le résidentiel, le tertiaire et l'économique et le développement des terres bâties et la nouvelle infrastructure routière. Cette avancée accrue de

l'urbanisation et le besoin incessant de construire, réduit la capacité des forêts et espaces verts à résister à l'avenir et risque de compromettre la durabilité de la ville et sa structure verte.

La production massive du logement dans une conjoncture d'urgence et l'irruption du fait industriel à Annaba depuis les années 70 ont été à l'origine de ces profondes mutations dans l'occupation et l'utilisation des sols. De vastes étendues urbaines en périphérie proche et lointaine ont été créées sur des plaines agricoles et ont modifié le paysage en un temps très court (Radouan .M, 2017). Aujourd'hui, la pression de l'urbanisation, les mutations économiques et la rareté du foncier continuent à étendre l'espace au détriment des terres forêts et agricultures phagocytant le paysage naturel (l'Edough, les plaines,….etc.), participant ainsi à son émiettement. La détection du changement d'occupation et d'utilisation du sol, rend compte des répercussions induites par l'avancée de l'urbanisation et fracturant en conséquence la structure verte par les terres converties par l'urbanisation.

- **Les causes des changements et leurs effets sur la structure verte**

La pression anthropique, aggravée par la croissance démographique qui se traduit par le défrichement, le surpâturage, les incendies, la surexploitation des terres et le déboisement, les prélèvements délictueux et anarchiques de bois de toute sorte, sont à l'origine des changements dans l'occupation et l'utilisation des sols et en occurrence leur effet sur la structure verte. Les pressions directes sur les ressources naturelles et les écosystèmes dues aux activités exposent les sols et les rendent plus vulnérables à l'érosion. La faible teneur en matières organiques et la faible stabilité structurelle des sols entraînent de ce fait un déficit en éléments nutritifs et une capacité insuffisante de rétention d'eau, ce qui engendre une réduction de la croissance des plantes et par conséquence une régression du couvert végétal générant le recul des trames vertes et la rupture la structure verte.

Cette situation dépend étroitement du mode d'utilisation des terres. On s'accorde, donc à reconnaître que l'aménagement des terres et leur changement conditionne l'état de la structure verte plus que toute autre activité. L'occupation et l'utilisation des sols et ces changements en général et la gestion des cultures en particulier ont toute une grande importance pour l'évolution des processus d'érosion. Par conséquent, la planification convenable de l'utilisation des sols est une des moyens les plus importants pour éviter une érosion dévastatrice des sols. De même, lorsque le couvert forestier est altéré (les déforestations, les incendies, la coupe de bois illicite, etc.) les conditions hydrologiques sont modifiées, les risques d'érosion et de mouvement de masse augmentent. L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), a d'ailleurs permis de mettre en évidence l'ampleur des changements du couvert végétal entre 1984 à 2021 et leur effets sur l'état de la structure verte

- **Changements dans la Couverture Terrestre de 1984 à 2021 : Une Transformation Drastique**

Les résultats de l'analyse révèlent une transformation profonde et inquiétante de l'utilisation des terres dans la région d'Annaba entre 1984 et 2021. Cette période a été marquée par une urbanisation rapide et une modification substantielle des écosystèmes locaux, principalement caractérisée par une diminution des espaces verts et des terres agricoles. Cette régression a favorisé une augmentation significative des zones urbanisées et cultivées, compromettant ainsi la capacité des écosystèmes à maintenir leur équilibre.

En 1984, les forêts et espaces verts couvraient 35,21 % de la région, mais ce pourcentage a chuté à 26,85 % en 2021, une perte qui reflète directement la pression anthropique croissante sur les espaces naturels. Parallèlement, les terres urbanisées ont progressé de 8,74 % à 12,34 %, un phénomène particulièrement visible sur les flancs du Mont de l'Edough et dans les zones périurbaines, où l'expansion urbaine a perturbé la continuité des corridors écologiques, augmentant ainsi la fragmentation des habitats naturels.

Cette fragmentation a des répercussions importantes sur les écosystèmes, notamment en ce qui concerne la gestion des ressources en eau. En réduisant la capacité des sols à absorber les précipitations, l'urbanisation incontrôlée a amplifié les risques d'inondations et perturbé le cycle hydrologique de la région. La ville d'Annaba, autrefois dotée de forêts et de terres agricoles robustes, fait désormais face à une perte d'équilibre écologique, aggravée par une urbanisation mal gérée, compromettant la résilience environnementale de la ville.

- **Évolution de l'Urbanisation et Réduction des Espaces Verts**

L'analyse diachronique des images satellitaires révèle une urbanisation croissante, souvent anarchique, qui s'étend de manière désordonnée, au détriment des espaces agricoles et forestiers. Entre 1984 et 2004, les terres urbanisées ont augmenté de 13,84 km², puis de 9,62 km² supplémentaires entre 2004 et 2021. Cette expansion s'est faite essentiellement au prix de la disparition des terres agricoles et des forêts, ce qui compromet directement la résilience écologique de la région. La régression des terres agricoles, observée entre 2004 et 2021, a été d'environ 10,32 km², ce qui souligne l'impact direct de l'urbanisation croissante sur les terres autrefois réservées à la production agricole locale. Ce recul a également des effets négatifs sur la biodiversité, puisque ces terres agricoles jouaient un rôle crucial dans le maintien de nombreux services écosystémiques essentiels, tels que la séquestration du carbone et la régulation des températures urbaines.

Les résultats de l'étude démontrent aussi que la déforestation a gravement affecté la capacité de la ville à se protéger contre les risques environnementaux, notamment les inondations et les vagues de chaleur. La réduction des espaces verts, qui servaient à tempérer les variations climatiques locales, a également contribué à une augmentation des îlots de chaleur dans les zones densément peuplées. Cette dynamique démontre un manque de stratégies compensatoires, qui aurait pu atténuer l'impact négatif de cette urbanisation croissante.

- **Impact de l'Urbanisation sur la Végétation par l'Indice NDVI**

L'analyse des images satellitaires à travers l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) a permis de mieux comprendre l'impact de l'urbanisation sur la couverture végétale dans la région. Cet indice révèle une baisse significative de la végétation, particulièrement dans les zones densément urbanisées autour du Lac Fezzara et dans les secteurs périurbains. En 1984, les valeurs de NDVI indiquaient une végétation dense et saine dans les zones boisées. Cependant, au fil des années, ces zones ont vu leur densité de végétation considérablement réduite, particulièrement entre 2004 et 2021. Ce déclin s'explique en grande partie par l'expansion urbaine qui a affecté directement la qualité des sols et conduit à une réduction de la biodiversité végétale.

La diminution du NDVI dans les zones périurbaines montre non seulement l'ampleur de la transformation environnementale, mais aussi les conséquences de cette perte de couverture végétale sur la régulation des microclimats. En réduisant la végétation, ces zones deviennent plus vulnérables à la chaleur urbaine et exacerbent les effets des vagues de chaleur, déjà

intensifiés par le changement climatique. Cette évolution a également des impacts négatifs sur les populations locales, qui subissent une dégradation de leur qualité de vie et une augmentation des risques pour leur santé.

- **Fragmentation des Espaces Écologiques : Un Obstacle à la Résilience**

L'urbanisation rapide et incontrôlée de la région d'Annaba a également eu un effet particulièrement néfaste sur les corridors écologiques, qui sont essentiels pour maintenir la continuité des habitats naturels. Cette fragmentation est l'une des conclusions les plus importantes de l'étude, car elle perturbe gravement la connectivité écologique nécessaire à la survie des espèces et à la régulation des flux écologiques. Ces derniers sont indispensables à la migration des espèces, à la pollinisation, ainsi qu'à la régulation des cycles naturels, comme l'échange de matière organique et la dispersion des graines. La fragmentation des habitats, causée par l'expansion urbaine anarchique, a conduit à une perte de biodiversité, réduisant la capacité des écosystèmes à fournir des services essentiels, tels que la purification de l'air et de l'eau. L'urbanisation croissante dans des zones sensibles comme les flancs du Mont de l'Edough a entraîné la création de barrières écologiques, qui perturbent non seulement les espèces animales et végétales, mais aussi les cycles naturels qui permettent à ces espèces de prospérer. Cette perte de continuité écologique rend les écosystèmes plus vulnérables aux perturbations environnementales, compromettant ainsi leur capacité à s'adapter aux changements climatiques futurs.

- **Diminution des Services Écosystémiques**

La transformation rapide de la couverture terrestre a également eu des conséquences importantes sur les services écosystémiques fournis par les espaces verts et les forêts. Parmi les services les plus affectés figurent la purification de l'air, la gestion des ressources en eau, et la régulation du climat, autant de fonctions essentielles à la durabilité urbaine.

La réduction des espaces verts a directement impacté la qualité de l'air à Annaba, en augmentant les niveaux de pollution atmosphérique dus à la diminution des zones capables d'absorber les polluants. De plus, la disparition progressive des zones humides et des forêts, qui jouaient un rôle crucial dans la régulation des cycles hydrologiques, a accru la vulnérabilité de la région aux inondations et aux sécheresses. Cette perte de services écosystémiques expose la ville à des risques environnementaux croissants et compromet la résilience climatique de la région.

Les résultats de cette étude montrent que l'urbanisation rapide et non planifiée dans la région d'Annaba entre 1984 et 2021 a entraîné une transformation majeure de l'utilisation des terres, marquée par une diminution significative des espaces verts et une fragmentation des corridors écologiques. Ces changements ont gravement affecté la biodiversité, la gestion des ressources en eau, et les services écosystémiques essentiels, mettant en péril la résilience écologique de la ville face aux défis environnementaux croissants. L'expansion urbaine, sans prise en compte des impératifs écologiques, a non seulement réduit la capacité de la ville à atténuer les effets du changement climatique, mais a également contribué à une diminution de la qualité de vie des habitants, en compromettant des services essentiels comme la purification de l'air et la régulation climatique.

## II.5. L'évaluation de la performance environnementale Via le LST et Le NDVI

### ➢ Analyse Globale des Indicateurs LST et NDVI

Dans le cadre de l'évaluation de l'expansion territoriale et des implications environnementales liées à la transformation de la ville en une future métropole, une analyse approfondie a été réalisée pour cartographier les dynamiques d'urbanisation et leurs impacts.

Cette étude repose sur une approche méthodologique rigoureuse qui inclut un profil longitudinal traversant trois zones stratégiques, identifiées comme les principaux pôles d'extension urbaine de la ville. Cette configuration permet de capturer avec précision les variations spatiales et temporelles des transformations urbaines, en tenant compte de leur complexité et de leur hétérogénéité.

Deux indicateurs environnementaux essentiels ont été utilisés dans cette analyse **: l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI)** et **la Température de Surface Terrestre (LST).** Ces indicateurs, largement reconnus pour leur pertinence dans l'étude des dynamiques urbaines, permettent d'évaluer simultanément la végétation et les variations thermiques au sol. Le NDVI est un indicateur clé pour mesurer l'état et la densité de la couverture végétale, en fournissant des informations précises sur la régression ou la préservation de la végétation face à l'étalement urbain. La LST, en revanche, offre une analyse détaillée des variations de température au niveau de la surface terrestre, mettant en évidence les impacts des changements d'occupation du sol sur les microclimats urbains.

Cette combinaison d'indicateurs permet une compréhension globale des impacts environnementaux de l'urbanisation. D'une part, le NDVI révèle les pertes de couverture végétale, souvent corrélées à l'augmentation des zones bâties. D'autre part, la LST met en lumière les îlots de chaleur urbains, phénomène exacerbé par la réduction des surfaces végétalisées et l'augmentation des matériaux imperméables tels que l'asphalte et le béton. Ensemble, ces indicateurs fournissent une vue d'ensemble des dynamiques environnementales, tout en mettant en évidence les zones critiques nécessitant des interventions ciblées.

Les résultats obtenus à travers cette méthodologie permettent de quantifier et de visualiser les tendances d'urbanisation et leurs conséquences. Par exemple, une corrélation inverse a souvent été observée entre le NDVI et la LST : les zones de faible densité végétale, typiquement associées à une urbanisation accrue, affichent des températures de surface significativement plus élevées. Cette relation souligne la nécessité de stratégies de planification intégrant des solutions basées sur la nature, telles que la préservation des espaces verts et la création de corridors écologiques, pour atténuer les effets des îlots de chaleur. Enfin, cette analyse globale des indicateurs NDVI et LST offre une base scientifique solide pour la proposition de stratégies de développement durable. Ces stratégies devraient s'aligner sur les défis environnementaux et sociaux spécifiques à la métropole en devenir, en conciliant croissance urbaine et préservation écologique. Cette démarche vise à garantir un avenir équilibré, où la durabilité environnementale est au cœur du développement territorial.

- **Valeurs du NDVI**

L'analyse des données obtenues via l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) pour les années 1984 et 2021 met en évidence des corrélations significatives entre la couverture végétale, les valeurs de NDVI et les températures de surface. Ces observations

soulignent l'importance fondamentale de la végétation dans la régulation thermique des écosystèmes, ainsi que son rôle déterminant dans le maintien de la qualité environnementale (Green et al., 2019). Les zones présentant une forte couverture végétale, caractérisées par des valeurs élevées de NDVI comprises entre 0,50 et 0,80, se distinguent par des températures relativement basses, oscillant entre 16 et 26°C (Smith & Jennings, 2020). La région forestière de l'Edough est un exemple emblématique de cette dynamique. Avec la densité végétale la plus élevée observée en 2021, cette zone illustre parfaitement l'effet bénéfique de la végétation sur la modération des températures locales, mettant en avant son rôle crucial dans l'atténuation des changements climatiques au niveau régional.

En revanche, les zones dépourvues de végétation affichent des valeurs de NDVI très faibles, allant de 0 à 0,20, et des températures nettement plus élevées, variant entre 26 et 38°C. Cette situation est particulièrement prévalente dans les zones fortement urbanisées, où la réduction drastique de la couverture végétale exacerbe l'effet d'îlot de chaleur urbain. Ce phénomène, bien documenté dans la littérature (Zhang & Wang, 2018), reflète l'impact direct de l'urbanisation sur l'augmentation des températures de surface et la détérioration des conditions environnementales.

Les zones agricoles, quant à elles, se situent dans une position intermédiaire avec des valeurs de NDVI comprises entre 0,20 et 0,50, et des températures variant entre 23 et 33°C. Ces résultats mettent en évidence l'effet modérateur des pratiques agricoles sur le microclimat local. Toutefois, ces pratiques peuvent également avoir un impact négatif si elles impliquent une déforestation ou une gestion inadéquate des sols (Patel & Kumar, 2021).

Ces observations démontrent clairement le rôle fondamental de la végétation dans la régulation thermique et la stabilité environnementale. Les valeurs élevées de NDVI dans les zones boisées soulignent la nécessité de préserver ces écosystèmes pour atténuer les impacts des îlots de chaleur urbains et des changements climatiques. De même, la gestion des zones agricoles pourrait être optimisée pour maximiser leur rôle dans la régulation des microclimats. Enfin, les zones urbaines, qui souffrent d'une faible couverture végétale et d'un réchauffement excessif, nécessitent des interventions stratégiques telles que l'introduction d'espaces verts, la végétalisation des toits et la création de corridors écologiques pour compenser ces déséquilibres. Cette analyse renforce l'idée que la gestion durable de la végétation et la planification urbaine intégrée sont essentielles pour répondre aux défis environnementaux croissants dans le contexte de l'expansion urbaine.

- **Valeurs du LST**

L'analyse longitudinale des températures de surface terrestre (LST) via des images satellites pour deux périodes distinctes révèle une évolution notable des températures maximales au sein du périmètre d'étude. Cette observation est cruciale pour comprendre l'impact de l'urbanisation et des changements d'usage des sols sur le microclimat local. En se concentrant sur les températures de surface maximales, notre évaluation met en évidence les dynamiques thermiques qui caractérisent différentes zones au fil du temps(**Figure 142 et 143**).

**Zone 01 :** Une augmentation significative de 5°C a été observée en 2021 par rapport à une moyenne historique de 30°C. Cette hausse substantielle est illustrée dans la Figure mettant en lumière une tendance au réchauffement dans certaines zones.

**Zone 02 :** Cette zone a connu des fluctuations de température tout au long de 2021, contrastant avec les conditions historiquement stables observées en 1984, comme le montrent les données satellites.

**Zone 03 :** Cette zone révèle une augmentation des températures de surface ainsi qu'une inflexion de la tendance par rapport aux mesures précédentes, comme illustré dans la Figure .

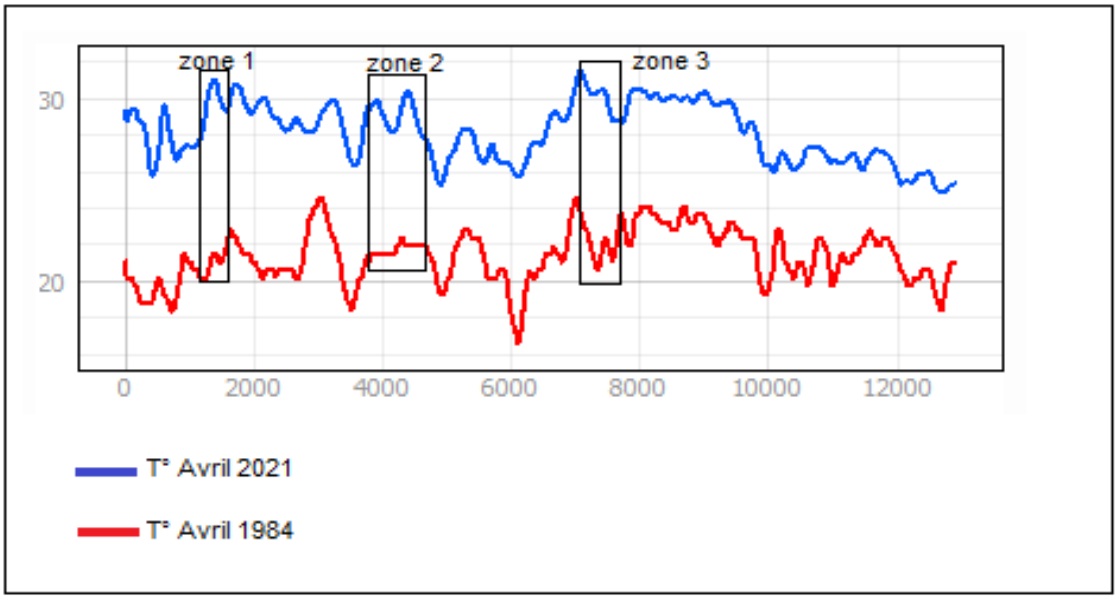



**Figure 142.**Variation des températures de surface pour 1984 et 2021 (avril)

Ces variations de température, en particulier l'augmentation de 5 degrés en 2021 par rapport à la moyenne de 30 degrés, soulignent l'effet prononcé de l'urbanisation sur les températures locales. Les fluctuations observées dans d'autres régions et l'augmentation des températures dans certaines zones renforcent les changements microclimatiques induits par l'urbanisation et l'étalement urbain.

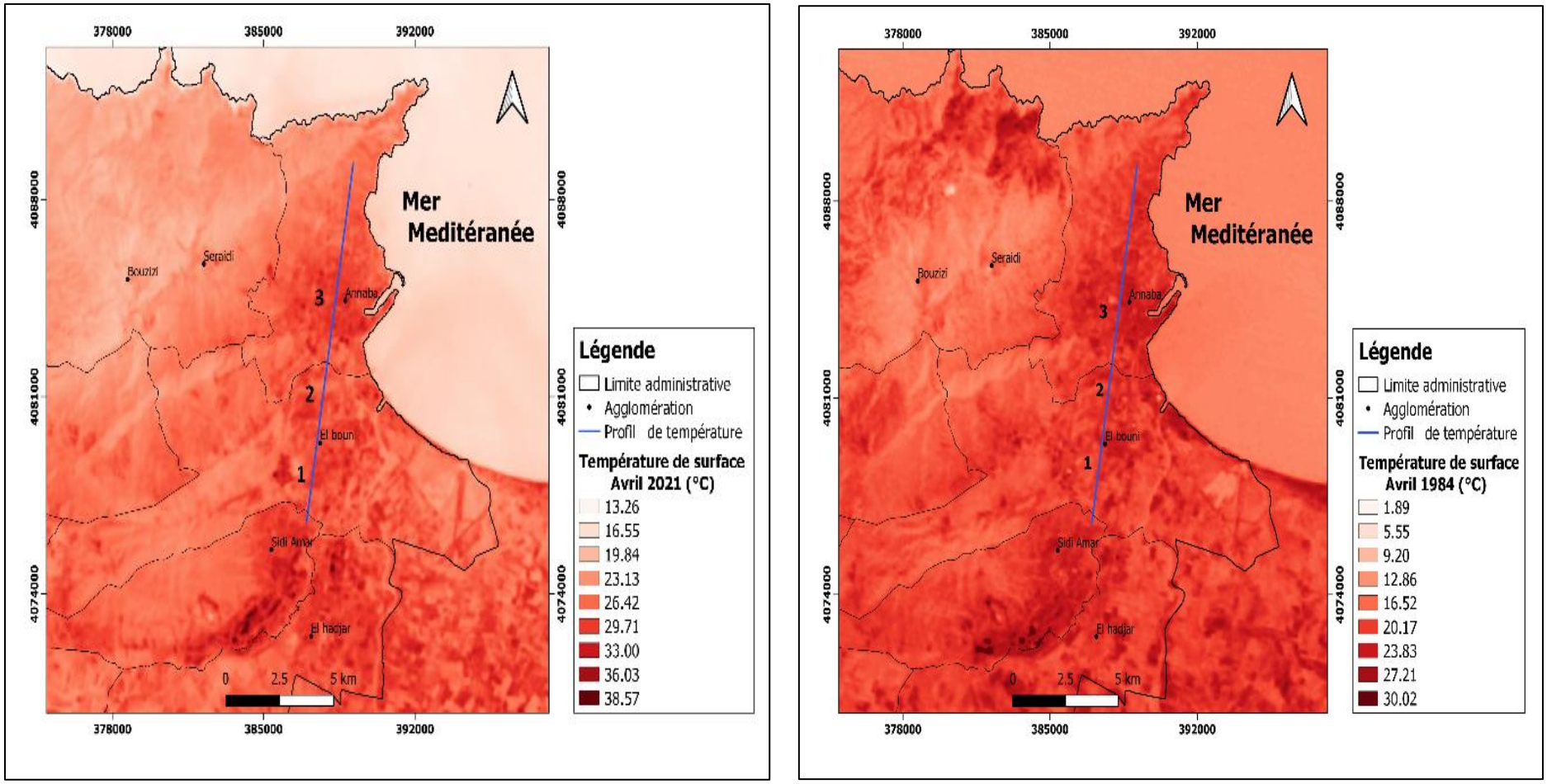



**Figure 143.** Variation in maximum surface temperatures for the two periods 1984 *and 2021*

- **Discussion Globale : LST et NDVI**

L'augmentation des températures maximales observée dans les zones urbanisées entre 1984 et 2021 signale une tendance alarmante à la hausse, illustrant les impacts négatifs de l'urbanisation sur l'écosystème d'Annaba. Ce développement reflète un manque d'intégration des structures végétales urbaines, qui sont pourtant essentielles pour maintenir des températures modérées. Des études telles que celles de Zhou et Wang (2019), ainsi que Li et al. (2021), soulignent l'importance capitale de l'intégration de la végétation urbaine dans la réduction des îlots de chaleur.

La recherche extensive sur les stratégies d'atténuation, telles que la modification des surfaces urbaines et l'introduction de la végétation, atteste de leur efficacité dans la lutte contre les îlots de chaleur urbains (Oke, 1982). Les espaces verts urbains sont essentiels non seulement pour réduire les températures, mais aussi pour améliorer la qualité de l'air et le bien-être général de la population. L'influence bénéfique de la végétation urbaine sur la réduction des températures est corroborée par l'étude d'Akbari et al. (2001), qui a démontré comment la plantation d'arbres et les toits verts peuvent abaisser de manière significative les températures dans les zones urbaines.

Ainsi, l'analyse approfondie du LST montre que la présence ou l'absence de couverture végétale joue un rôle déterminant dans les températures enregistrées tout au long du profil géographique étudié. L'adoption de cette approche est essentielle pour évaluer avec précision les impacts des activités anthropiques sur l'environnement. Le LST s'avère être un indicateur clé pour analyser et quantifier la diminution des espaces verts urbains, permettant de surveiller et prédire efficacement les changements environnementaux induits par cette réduction de la végétation (Tran et al., 2017; Li et al., 2018). La corrélation entre la réduction des espaces verts et l'augmentation du LST souligne l'importance critique du maintien et de l'augmentation des espaces verts pour atténuer les îlots de chaleur urbains et améliorer le bien-être environnemental (Imhoff et al., 2010; Peng et al., 2012).

- **À l'échelle des échantillons sélectionnés**
  - **L'échantillon "Medina - Ville coloniale" : LST et NDVI**

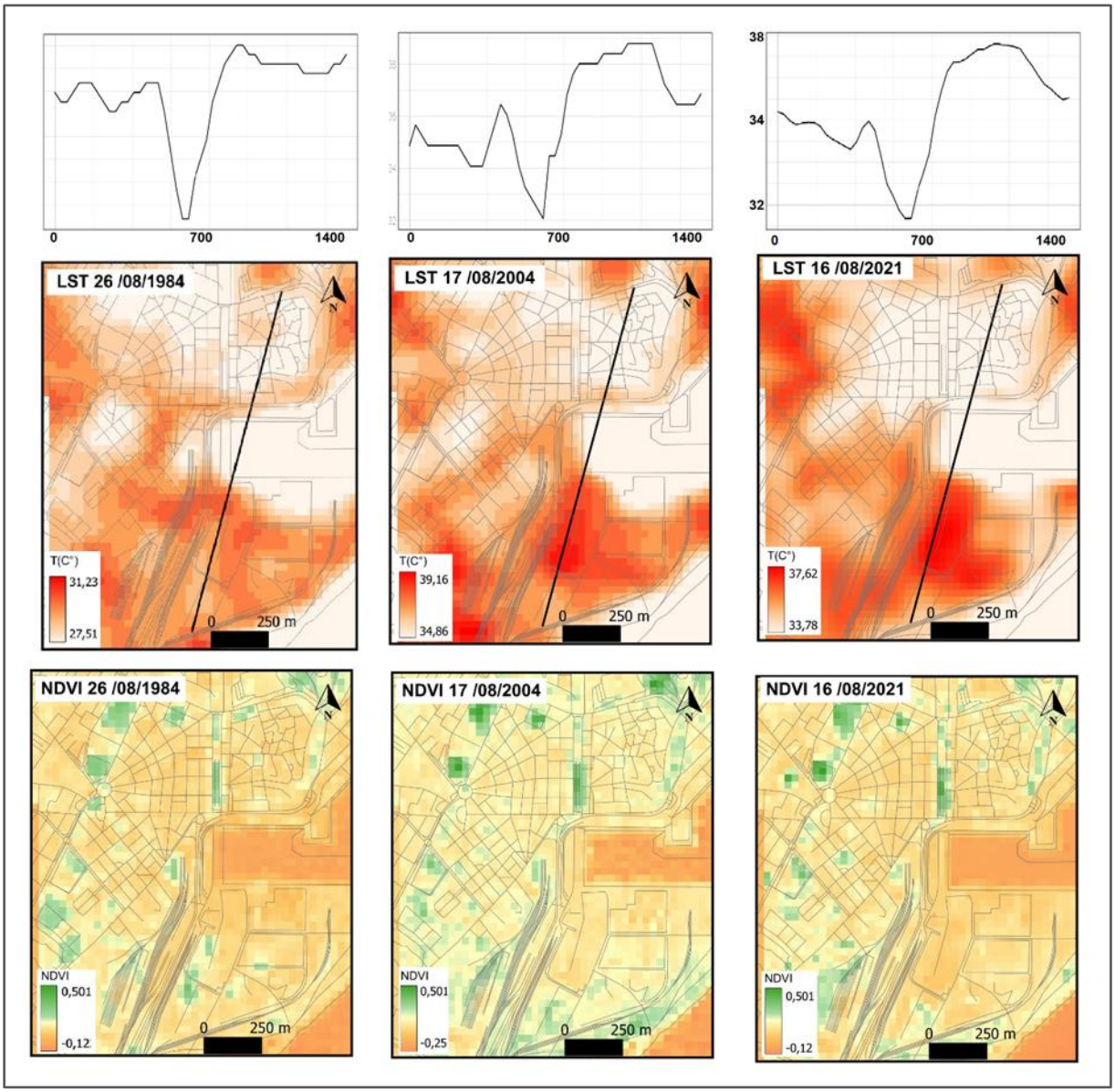



**Figure . 144 . Échantillon Medina -Ville coloniale**

a. Variation des températures pour les deux périodes 1984, 2004 et 2021

**b.** Variation des températures maximales de surface "LST" pour les deux périodes 1984.2004 et 2021

**c.** Carte INDVI pour les deux périodes 1984, 2004 et 2021

L'analyse des températures diurnes pour l'échantillon "Medina-ville coloniale" sur les périodes de 1984, 2004, et 2021 révèle une transformation graduelle mais substantielle du microclimat urbain, résultat direct de l'évolution des infrastructures et du tissu urbain. En 1984, les températures diurnes montrent une stabilité relative, avec des fluctuations modérées entre les minima et maxima, caractéristique d'un paysage urbain relativement équilibré, peu soumis à l'impact de la densification urbaine et possédant une couverture végétale encore relativement intacte. En 2004, un changement notable apparaît avec une augmentation significative des amplitudes thermiques. Cette variation est le signe d'un accroissement de l'effet d'îlot de chaleur urbain, exacerbé par l'intensification des surfaces imperméabilisées (routes, bâtiments,

etc.) et la réduction des espaces verts. Cette période correspond à une urbanisation accrue, favorisant l'accumulation de chaleur par les matériaux de construction à haute capacité thermique (asphalte, béton), amplifiant ainsi les températures diurnes (Oke, 1982). En 2021, bien que les températures maximales demeurent élevées, une légère modération est observée. Cette atténuation peut être attribuée à des interventions urbaines telles que la création de parcs ou des projets de verdissement, même si ces efforts restent insuffisants pour compenser les transformations radicales de l'environnement urbain observées depuis 1984. La fluctuation des températures souligne la nécessité d'intégrer des stratégies bioclimatiques dans la planification urbaine, en vue de réguler les gains solaires et d'améliorer le refroidissement nocturne (Gill et al., 2007).

**-Analyse spatiale des températures de surface (LST)**

L'analyse spatiale des températures de surface révèle une augmentation progressive des LST sur les trois périodes étudiées. En 1984, les températures de surface variaient entre 27,51°C et 31,23°C, indiquant un climat relativement modéré et équilibré au sein de cette zone urbaine. Cependant, en 2004, les températures ont connu une augmentation substantielle, atteignant des valeurs comprises entre 34,86°C et 39,16°C. Ce saut significatif est lié à l'expansion rapide de la ville et à la prolifération de surfaces imperméables qui emmagasinent et réémettent la chaleur.

En 2021, malgré une légère baisse des températures maximales, la tendance générale reste élevée avec des LST variant de 33,78°C à 37,62°C. Les zones particulièrement touchées par cette hausse sont celles caractérisées par une forte densité urbaine et des activités industrielles proches, comme la zone portuaire d'Annaba. L'analyse des LST démontre que l'urbanisation rapide et l'évolution des pratiques d'occupation des sols, en particulier dans les zones à forte activité économique, sont des moteurs primaires de l’effet d’îlot de chaleur urbain (Taylor et al., 2015).

**-Corrélation avec les cartes NDVI**

Les cartes NDVI pour la période étudiée montrent une forte corrélation inverse entre la couverture végétale et les températures de surface. En 1984, les valeurs NDVI variaient de 0,50 à 0,80 dans les zones à forte couverture végétale, ce qui correspondait à des températures plus modérées. En revanche, les zones fortement urbanisées affichaient des valeurs NDVI proches de zéro, indiquant une absence de végétation et des températures maximales élevées. En 2021, la diminution des valeurs NDVI, avec des variations entre -0,12 et 0,50, illustre la perte progressive des espaces verts due à l'urbanisation. Cette perte de végétation, combinée à l'expansion urbaine, exacerbe l'effet d'îlot de chaleur. Les résultats montrent qu'une diminution du NDVI est accompagnée d'une augmentation des températures de surface, soulignant l'importance des espaces verts dans la régulation thermique urbaine (Peng et al., 2012).

- **Échantillon au niveau de la ville "Renouvelée"**

  - **Graphiques de variation de température diurne et Analyse spatiale des températures de surface (LST)**

Les graphiques de température pour la ville renouvelée (**Figure 145**) révèlent une augmentation significative des températures diurnes entre 1984 et 2021. En 1984, les températures étaient relativement modérées, suggérant un climat urbain moins affecté par les transformations anthropiques. Cependant, en 2004, les températures maximales atteignaient 39,16°C, signalant une intensification marquée de l’effet d'îlot de chaleur. Cette augmentation

peut être attribuée à l'intensification des infrastructures urbaines et à l'augmentation des surfaces imperméables.

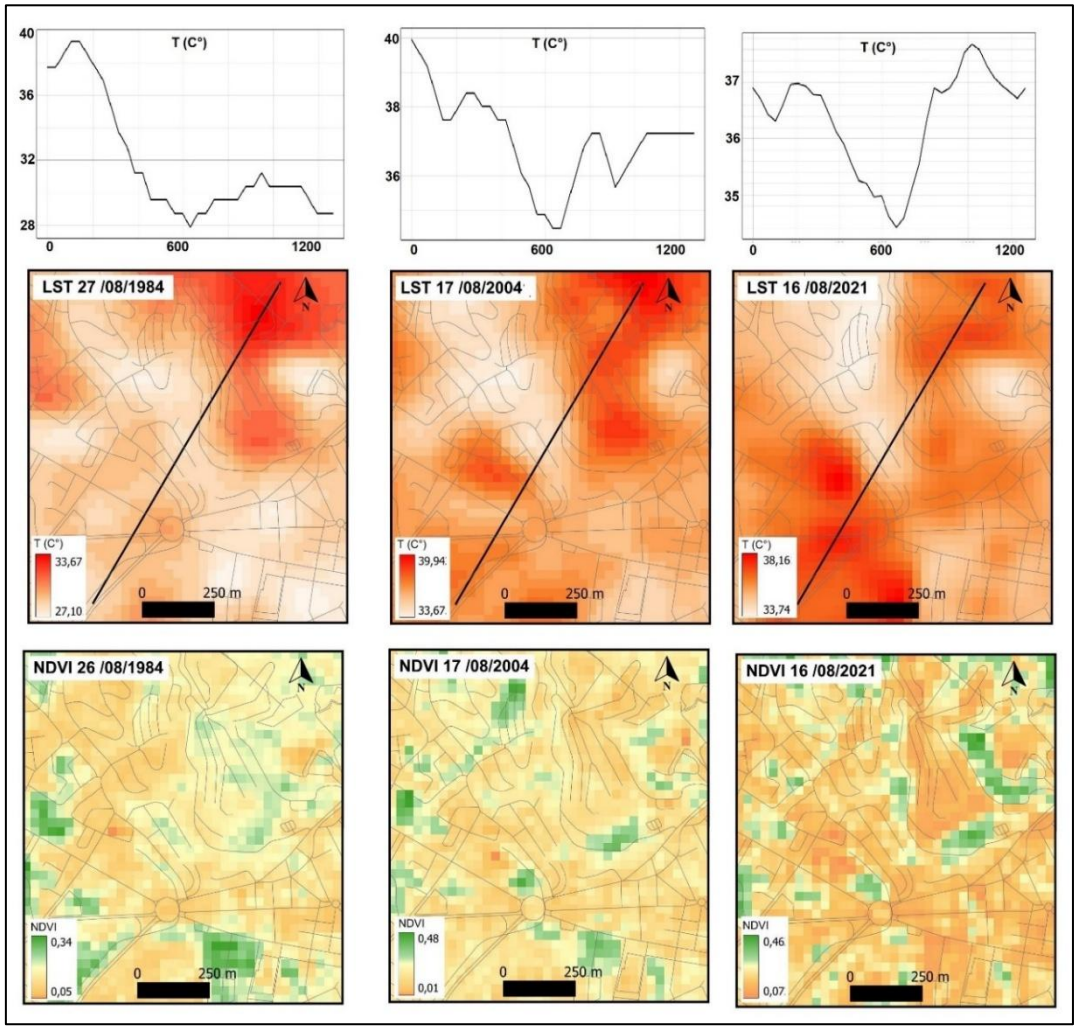



**Figure 145. Échantillon au niveau de ville renouvelée**

a. Variation temperatures for the two periods 1984,2004 and 2021
b. Variation in maximum surface temperatures ''LST'' for the two periods 1984.2004 and 2021
c. INDVI Map for the two periods 1984,2004 and 2021

En 2021, bien que les températures maximales aient légèrement baissé à 38,16°C, elles demeurent nettement supérieures aux niveaux de 1984. Cette baisse modérée pourrait être le résultat d'initiatives de verdissement ou d'aménagements urbains visant à atténuer l'effet d'îlot de chaleur. Toutefois, la persistance de températures élevées souligne l'ampleur des défis liés à l'urbanisation et à la nécessité d'une approche plus robuste pour intégrer des infrastructures vertes dans la planification urbaine .

Pour l'analyse du LST ,les cartes LST élaborées ,montrent une augmentation continue des températures entre 1984 et 2021. En 1984, les températures de surface maximales étaient autour de 31,23°C, tandis qu'en 2004, elles avaient grimpé à 39,16°C. Cette augmentation

dramatique des températures de surface, particulièrement dans les zones denses, met en évidence les effets de l'urbanisation et la réduction des espaces verts. En 2021, une légère réduction des températures est observée, mais celles-ci restent bien au-dessus des niveaux de 1984, témoignant de l'influence persistante de l'effet d'îlot de chaleur. La comparaison de ces cartes avec les données de couverture végétale souligne l'impact direct des pratiques d'urbanisation et la nécessité d'adopter des stratégies de gestion des espaces verts pour atténuer ces effets.

- **Corrélation avec les cartes NDVI**

Les cartes NDVI indiquent une diminution progressive de la couverture végétale entre 1984 et 2021. En 1984, la ville renouvelée présentait encore des espaces verts significatifs avec des valeurs NDVI relativement élevées. Cependant, en 2004, une réduction notable de la végétation est observée, et cette tendance s'est intensifiée en 2021.

Cette perte de végétation est directement corrélée avec l'augmentation des températures de surface. Les espaces verts, essentiels pour l'évapotranspiration et l'ombrage, jouent un rôle crucial dans la régulation des températures urbaines. Leur déclin, exacerbé par l'urbanisation, a amplifié l'effet d'îlot de chaleur, soulignant la nécessité d'intégrer des pratiques de planification durable qui priorisent la conservation et l'expansion des espaces verts urbains .

➢ **Échantillon Ville post-coloniale "ZHUN plaine de l'Ouest"**

- **Graphiques de variation de température diurne et analyse du LST**

Les profils de température pour les périodes 1984, 2004, et 2021(**Figure 146**) montrent une augmentation continue des températures maximales dans la ZHUN de la plaine de l'Ouest. En 1984, les températures diurnes maximales atteignaient 32,85°C, suggérant un climat urbain relativement équilibré. Cependant, en 2004, une augmentation significative est observée avec des températures maximales atteignant 40,31°C, indiquant une intensification de l'effet d'îlot de chaleur urbain. En 2021, bien qu'une légère baisse des températures maximales à 39,40°C soit observée, la tendance générale reste élevée, ce qui souligne l'impact persistant de l'urbanisation. Cette fluctuation illustre l'importance des stratégies d'atténuation, telles que l'introduction d'espaces verts pour absorber et réémettre la chaleur

Pour l'analyse des LST, celle-ci révèle une augmentation progressive des températures de surface entre 1984 et 2004, atteignant un pic de 43,44°C en 2004. Bien qu'une légère réduction des températures soit observée en 2021, elles demeurent largement supérieures aux niveaux de 1984, ce qui souligne la nécessité d'intégrer des stratégies de régulation thermique, telles que la création d'infrastructures végétales pour compenser les effets néfastes de l'urbanisation .

- **Corrélation avec les cartes NDVI**

Les cartes NDVI révèlent une diminution progressive de la couverture végétale entre 1984 et 2021. En 1984, la ZHUN de la plaine de l'Ouest présentait une végétation relativement dense, mais celle-ci a progressivement diminué, accentuant l'effet d'îlot de chaleur urbain. Cette diminution de la végétation est fortement corrélée avec les augmentations des LST, soulignant l'importance de préserver les espaces verts dans les zones densément urbanisées pour atténuer l'impact des températures élevées.

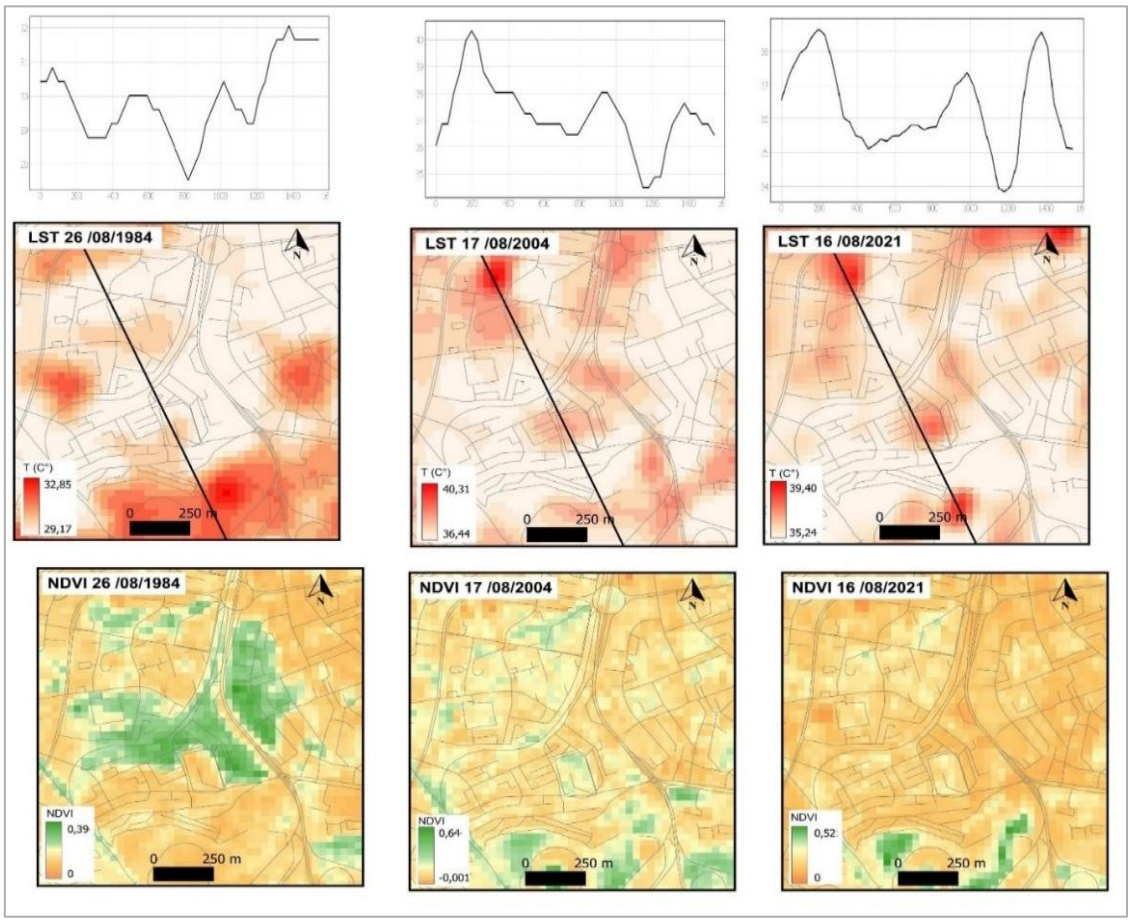



**Figure. 146.Echantillon Ville post-coloniale**

.a. Variation des températures pour les deux périodes 1984, 2004 et 2021

b. Variation des températures maximales de surface "LST" pour les deux périodes 1984.2004 et 2021

c. Carte INDVI pour les deux périodes 1984, 2004 et 2021

L'expansion urbaine dans la plaine ouest témoigne d'une dynamique de transformation marquée par une intensification des pressions anthropiques sur le territoire. La Figure 147 illustre cette évolution en mettant en évidence les tendances d'urbanisation qui ont progressivement remodelé le paysage. L'occupation du sol révèle une progression significative du tissu bâti, souvent au détriment des espaces naturels et agricoles, traduisant une mutation socio-économique orientée vers une urbanisation accrue.

Cette dynamique spatiale s'inscrit dans un contexte de croissance démographique soutenue, de développement des infrastructures et d'extension des pôles résidentiels et industriels. L'analyse des morphologies urbaines, telle qu'elle ressort de cette représentation cartographique, permet d'identifier les zones de densification et les corridors de développement structurant cette expansion. Cette approche met ainsi en lumière les défis d'aménagement liés à l'étalement urbain, notamment en matière de préservation des ressources naturelles, de gestion des risques environnementaux et d'adéquation entre infrastructures et besoins territoriaux. L'urbanisation de la plaine ouest, telle qu'observée, illustre donc un phénomène de transformation spatiale à la croisée des impératifs de développement et des enjeux de durabilité, nécessitant une planification territoriale réfléchie et intégrée.

**Figure 147.**Vue générale de l'urbanisation de la partie plaine ouest

➢ **Échantillon ZHUN d'El Bouni : LST et NDVI**

- **Graphiques de variation de température diurne et l'analyse du LST**

Les graphiques de température pour la ZHUN d'El Bouni montrent une augmentation progressive des températures diurnes sur la période étudiée. En 1984, les températures maximales atteignaient 32,85°C, témoignant d'un environnement urbain encore modéré. Cependant, en 2004, les températures diurnes culminaient à 40,31°C, traduisant une intensification de l'effet d'îlot de chaleur urbain, exacerbée par l'urbanisation rapide et le déclin de la couverture végétale. En 2021, bien que les températures maximales aient diminué à 39,40°C, elles restent élevées, soulignant la nécessité de stratégies plus robustes pour atténuer les effets thermiques liés à l'urbanisation.

L'analyse des LST montre une augmentation significative des températures entre 1984 et 2004, avec une légère modération en 2021. Les températures maximales, bien qu'en légère baisse, restent au-dessus des valeurs de 1984, soulignant l'importance de mesures d'atténuation des îlots de chaleur, telles que l'intégration d'espaces verts dans le tissu urbain.

- **Corrélation avec les cartes NDVI**

Les cartes NDVI montrent une réduction progressive de la végétation entre 1984 et 2021. En 1984, la ZHUN d'El Bouni bénéficiait encore d'une couverture végétale dense, mais celle-ci a progressivement diminué, accentuant les effets d'îlot de chaleur. La corrélation entre la diminution du NDVI et l'augmentation des LST met en évidence la nécessité d'intégrer des stratégies de verdissement pour atténuer les températures élevées en milieu urbain.

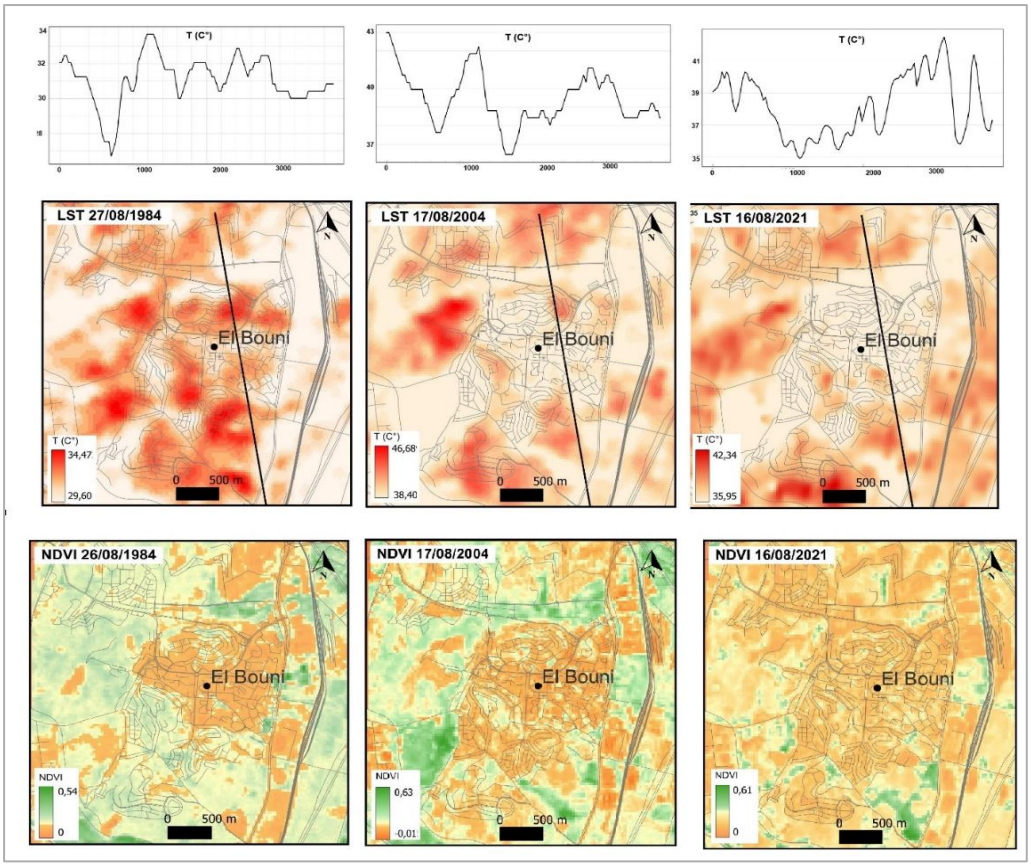



**Figure . 148.Echantillon ZHUN El Bouni**

.a. Variation temperatures for the two periods 1984,2004 and 2021

**b.** Variation in maximum surface temperatures ‘’LST’’ for the two periods 1984.2004 and 2021

**c.** INDVI Map for the two periods 1984,2004 and 2021

## ➢ Discussion générale

L’analyse des changements de la Température de Surface Terrestre (LST) et de l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) à Annaba entre 1984 et 2021, couvrant quatre zones distinctes – le couple "Medina-Ville coloniale", la "Ville renouvelée" (The Colonne), l’extension de la ville post-coloniale ("ZHUN Plaine Ouest") et la ville satellite ("ZHUN d’El Bouni") – met en lumière l'impact clair de l'urbanisation et de la réduction des espaces verts sur les températures de surface.

Dans la Zone 1 (couple "Medina-Ville coloniale"), la LST a augmenté de 27,51°C à 31,23°C en 1984, pour atteindre des valeurs de 34,86°C à 39,16°C en 2004, avec une légère modération à 33,78°C à 37,62°C en 2021. De même, dans la Zone 2 (Ville renouvelée "la Colonne"), la LST a connu une hausse marquée, passant de 31,23°C en 1984 à 39,16°C en 2004, avec une réduction mineure à 38,16°C en 2021. La Zone 3 (extension post-coloniale "ZHUN Plaine Ouest") a vu les températures maximales passer de 32,85°C en 1984 à 40,31°C en 2004, avec une légère réduction à 39,40°C en 2021. La Zone 4 (ville satellite "ZHUN d’El Bouni") a enregistré l'augmentation la plus marquée, avec une LST passant de 29,17°C en 1984 à 43,44°C en 2004, suivie d'une diminution à 39,40°C en 2021.

Cette hausse significative des températures est liée à l'effet d'îlot de chaleur urbain, où les zones urbanisées, avec moins de végétation et plus de surfaces bâties, absorbent et retiennent davantage de chaleur. La baisse des valeurs de NDVI indique une réduction substantielle de la couverture végétale, aggravant ainsi l'augmentation des températures. La végétation joue un rôle crucial dans le refroidissement des zones urbaines grâce à l'ombrage et à l'évapotranspiration, et sa perte a de graves répercussions sur la régulation du climat urbain.

Les températures de surface plus élevées affectent négativement la qualité de vie des habitants des zones urbaines, entraînant des problèmes de confort thermique, des troubles de santé tels que le stress thermique et une augmentation de la consommation d'énergie pour le refroidissement. La réduction des espaces verts a également un impact négatif sur la qualité de l'air, la biodiversité et la valeur esthétique et récréative de la ville. La légère modération de la LST observée en 2021 dans certaines zones suggère que les initiatives de verdissement urbain et une planification urbaine adaptée peuvent atténuer efficacement l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Il est donc crucial d'augmenter la présence de structures vertes, de mettre en œuvre des toits et des murs végétalisés, et d'utiliser des matériaux thermiquement réactifs dans la conception urbaine pour renforcer la résilience urbaine face aux stress thermiques. Cette étude souligne l'importance d'intégrer les infrastructures vertes dans la planification urbaine pour améliorer le confort thermique et la durabilité. Les décideurs politiques doivent prioriser le développement et le maintien des espaces verts, mettre en place des régulations limitant les surfaces imperméables et promouvoir des matériaux et des conceptions de construction durables. En abordant ces enjeux, les urbanistes et les décideurs peuvent améliorer la qualité de vie et la durabilité d'Annaba, assurant une évolution en harmonie avec les considérations environnementales et climatiques.

## II.6. Les structures vertes et leur impact sur le bien-être et la sante

- **Performance des structures vertes par zone urbaine**

L'évaluation comparative des performances des structures vertes dans les trois zones urbaines étudiées (centre-ville, périphérie, et zones d'extension) révèle des disparités significatives en termes de qualité des aménagements, d'accessibilité et de contribution au bien-être des usagers. La performance des espaces verts est mesurée à travers une série d'indices tels que l'accessibilité, la biodiversité, la sécurité, et la satisfaction des usagers, qui fournissent un aperçu détaillé de l'impact environnemental et social de ces espaces sur les populations locales.

**Centre-ville** : Les espaces verts situés au centre de la ville d'Annaba se distinguent par une intégration harmonieuse dans le tissu urbain dense. Les indices d'accessibilité et de connectivité y sont particulièrement élevés, ce qui permet une fréquentation régulière et aisée de ces espaces par les habitants. Les infrastructures bien développées favorisent non seulement l'accessibilité, mais elles sont également perçues comme sécurisées et agréables, contribuant ainsi à un bien-être global supérieur chez les usagers. L'indice de connectivité met en avant la capacité de ces espaces à se connecter aux principales artères de la ville, renforçant leur rôle en tant qu'espaces de détente et de socialisation.

**Périphérie** : En périphérie, bien que les espaces verts soient souvent plus vastes, ils sont desservis par des infrastructures moins développées et souffrent d'une moindre accessibilité. Néanmoins, ces zones présentent un potentiel écologique important, en raison d'une biodiversité plus riche, favorisée par une moindre densité urbaine et une pression anthropique réduite. L'indice de biodiversité (IBQA) révèle que les espaces verts périphériques contribuent plus activement à la préservation de la faune et de la flore locales, mais ils ne profitent pas pleinement aux usagers en raison de l'absence d'une infrastructure suffisante.

**Zones d'extension** : Les zones d'extension urbaines, caractérisées par une urbanisation plus récente et moins planifiée, montrent des résultats contrastés. Bien que les indices de biodiversité soient relativement élevés, grâce à la présence de vastes zones non bâties, ces espaces souffrent d'une faible connectivité et d'une accessibilité limitée. Cela affecte négativement leur utilisation et leur contribution à la qualité de vie des habitants. L'indice de connectivité (ICA) y est particulièrement faible, signalant un besoin urgent de stratégies d'aménagement pour intégrer ces espaces verts dans le tissu urbain en développement.

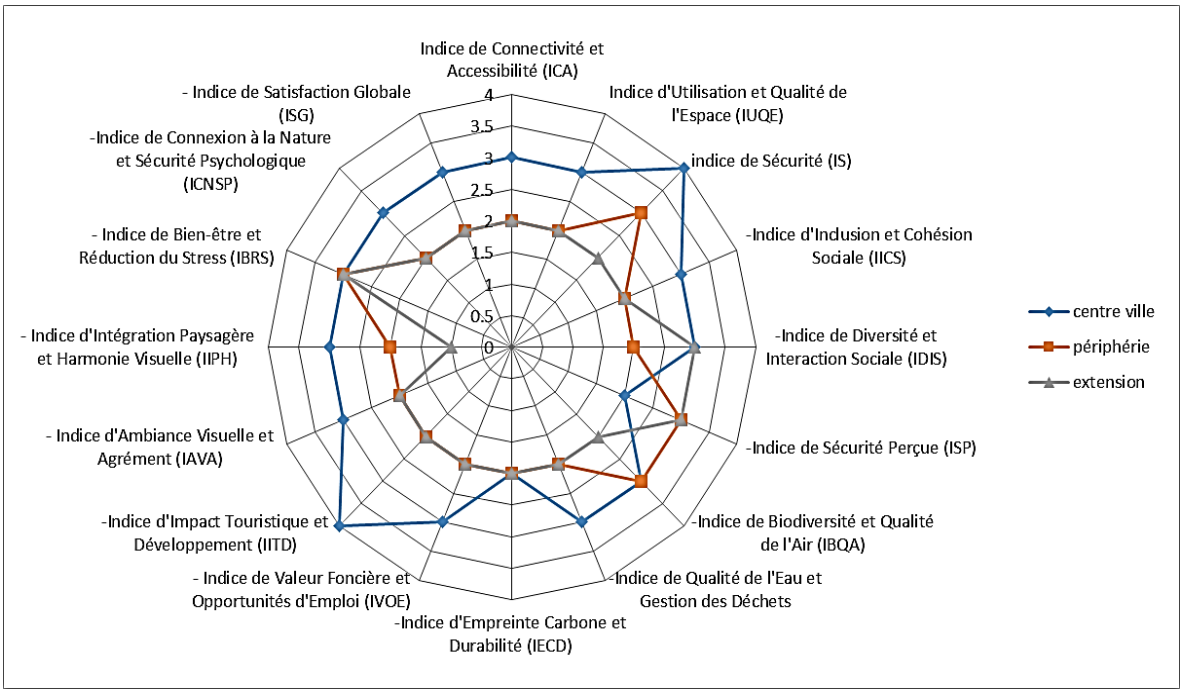



**Figure 149.**Visualisation des valeurs des indices de bien-être et de santé via les structures vertes

## ➢ Indices de bien-être et satisfaction des usagers

Les résultats montrent une forte corrélation entre la qualité des infrastructures des espaces verts et la satisfaction des usagers. Le centre-ville se distingue avec des indices de satisfaction élevés dans plusieurs domaines, tels que l'accessibilité (ICA), l'ambiance visuelle (IAVA), la sécurité (ISP), et la qualité des infrastructures. Cette combinaison d'éléments contribue à un usage fréquent et régulier des espaces verts par les résidents, renforçant le sentiment de bien-être et la qualité de vie.

• **Bien-être général** : L'indice de satisfaction générale (ISG) montre que les usagers des espaces verts du centre-ville considèrent ces lieux comme des havres de paix, facilitant le repos et la réduction du stress. Cela est dû à la qualité des infrastructures, au soin apporté à l'entretien,

et à la présence de services diversifiés, adaptés à une large population. En revanche, dans les zones périphériques et d'extension, les usagers expriment un niveau de satisfaction inférieur, principalement en raison d'une connectivité insuffisante et d'une gestion des espaces parfois négligée.

• **Impact psychologique et sociabilité** : Le bien-être psychologique des usagers est particulièrement visible dans le centre-ville, où les espaces verts jouent un rôle important en tant que lieux de détente et de rencontres sociales. Les espaces verts en périphérie, bien que moins fréquentés, restent importants pour la cohésion sociale, offrant des lieux de rassemblement communautaire malgré des infrastructures plus rudimentaires. L'indice de diversité sociale (IDIS) et l'indice d'interaction sociale (IICS) mettent en avant l'importance de ces espaces pour maintenir le lien social dans les quartiers périphériques.

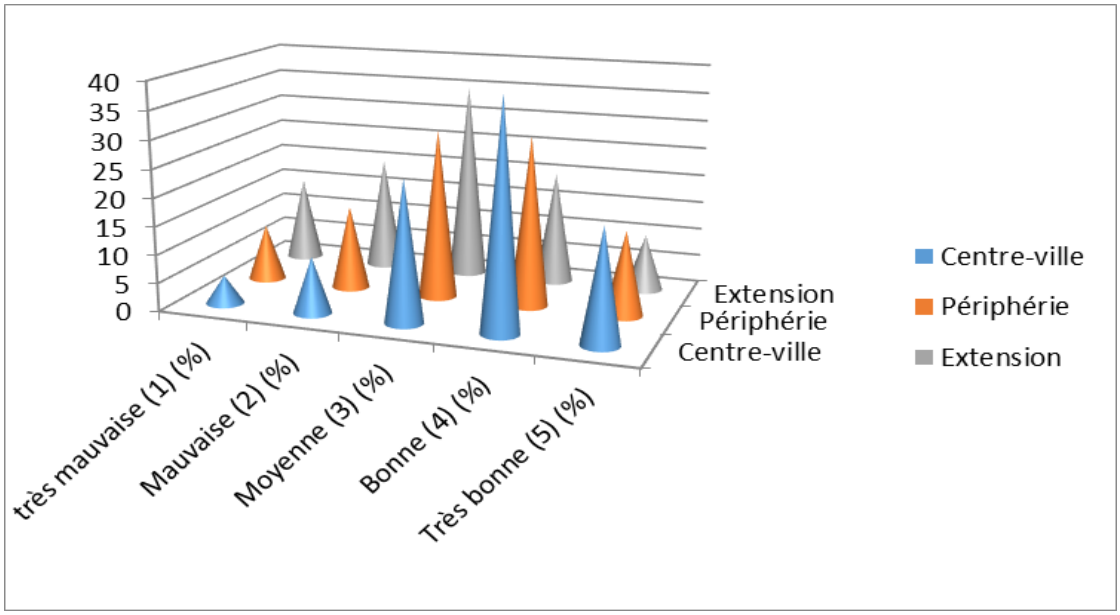



**Figure 150.** Comparaison des indices de satisfaction des résidents en fonction de la qualité perçue des espaces verts

### ➢ Sécurité perçue et utilisation des espaces verts

Les données révèlent que la sécurité perçue est un facteur déterminant de l'utilisation des espaces verts dans les différentes zones urbaines. Le centre-ville est perçu comme relativement sécurisé, ce qui encourage une utilisation fréquente et prolongée des espaces verts, en particulier dans la journée. En revanche, les espaces verts des zones périphériques et d'extension sont perçus comme moins sûrs, ce qui limite leur fréquentation, notamment en soirée. L'indice de sécurité perçue (ISP) est significativement plus bas dans ces zones, soulignant la nécessité d'interventions pour améliorer la perception et les conditions de sécurité.

**Centre-ville** : Les espaces verts du centre-ville, avec leur infrastructure de surveillance et d'éclairage, offrent aux usagers un sentiment de sécurité qui favorise une fréquentation plus élevée et une durée d'utilisation plus longue. L'indice de sécurité (IS) y est supérieur à la moyenne, garantissant que les habitants y passent plus de temps, notamment en soirée.

**Périphérie et zones d'extension** : L'absence d'un éclairage adéquat, d'une surveillance efficace, et d'aménagements sécuritaires dans les espaces verts périphériques et d'extension conduit à une utilisation sporadique et limitée de ces espaces. Les habitants y passent moins de temps, particulièrement après la tombée de la nuit, en raison de la faible perception de sécurité.

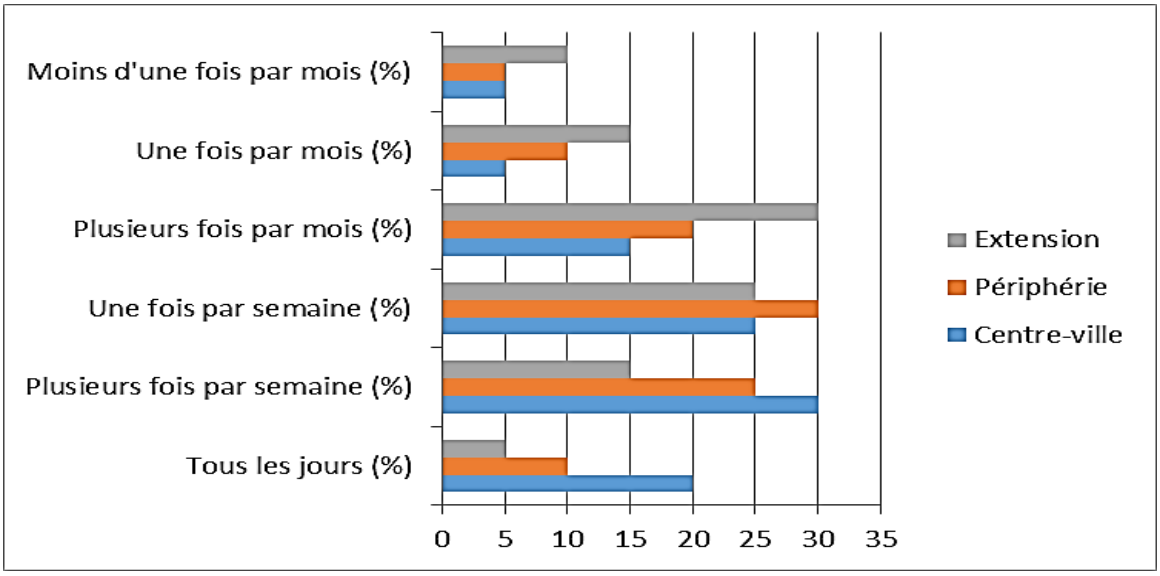



**Figure 151.**Fréquence d'utilisation des espaces verts en fonction de la sécurité perçue

- **Biodiversité et bien être :Perception de la qualité de l'air**

L'analyse de la relation entre biodiversité et qualité de l'air met en évidence l'impact significatif de la végétation sur le bien-être urbain. Comme le montre le graphique, la qualité de l'air tend à se dégrader dans les zones où la biodiversité est réduite ou absente.

Dans le Centre urbain, caractérisé par une densification importante et une forte artificialisation des sols, la biodiversité est faible, ce qui se traduit par une qualité de l'air médiocre. La Périphérie, qui conserve encore quelques espaces verts résiduels, présente une biodiversité légèrement supérieure, induisant une amélioration relative de la qualité de l'air. En revanche, l'Extension urbaine, souvent marquée par une forte minéralisation et une absence notable de couvert végétal, connaît une situation comparable à celle du centre avec une qualité de l'air également affectée(**Figure 152**).

Ces résultats soulignent l'importance de préserver et d'intégrer des espaces verts dans les stratégies d'aménagement urbain. L'augmentation de la biodiversité, en particulier par la végétalisation des zones urbaines, constitue un levier essentiel pour améliorer la qualité de l'air et renforcer le bien-être des populations.

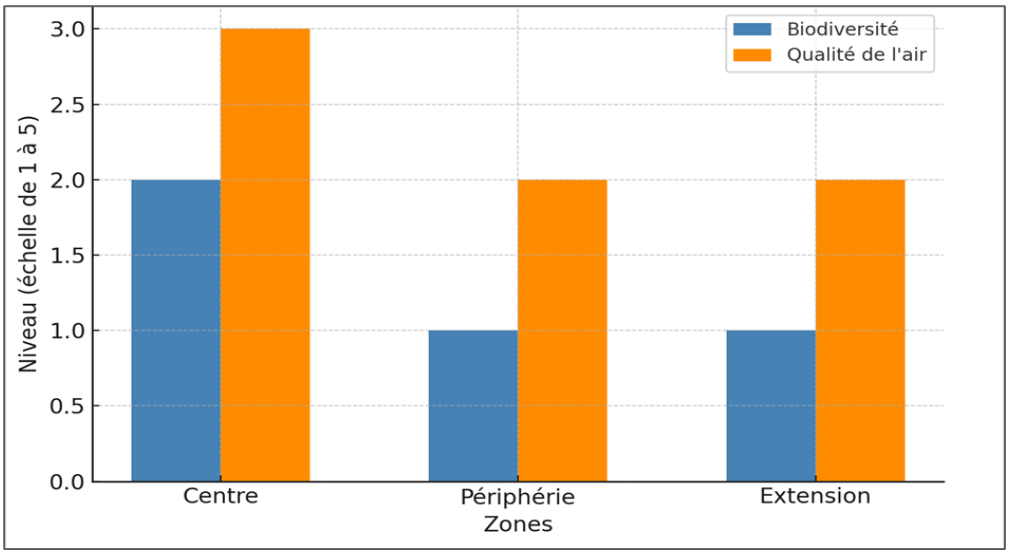



**Figure 152.** Impact de la biodiversité sur Qualité de l'air

➢ **Potentiel économique des espaces verts: Analyse des dynamiques territoriales**

L'analyse du graphique illustre par la **Figure 153** met en évidence l'impact des espaces verts sur deux dimensions économiques clés : l'impact économique et touristique (en rouge) et la valeur foncière (en bleu), selon trois contextes spatiaux distincts : centre, périphérie et extension urbaine. Les résultats montrent que l'impact économique et touristique est plus marqué que la valeur foncière dans toutes les zones étudiées, avec une intensité particulièrement élevée en périphérie urbaine. Ce constat peut être attribué à la présence de grands parcs urbains, d'espaces récréatifs et de sites naturels attractifs, qui jouent un rôle déterminant dans l'attractivité touristique et le développement économique local.

Dans le centre-ville, la valeur foncière des terrains est relativement plus élevée que dans les autres zones, bien que son impact économique et touristique soit moins marqué par rapport à la périphérie. Cela s'explique par le fait que les espaces verts en milieu central sont généralement plus restreints en superficie, mais contribuent significativement à la valorisation immobilière, en améliorant la qualité de vie et en attirant des investisseurs et des résidents à fort pouvoir d'achat. En revanche, dans les zones d'extension urbaine, les valeurs des deux indicateurs sont les plus faibles. Cette tendance suggère que les espaces verts dans ces secteurs ne sont pas encore pleinement intégrés dans une dynamique économique ou touristique structurée, ce qui limite leur influence sur la valorisation du foncier et l'attractivité des territoires.

Ces résultats soulignent l'importance d'une planification stratégique des espaces verts pour maximiser leur retombée économique et leur impact foncier. L'intégration de parcs urbains, de corridors écologiques et d'aménagements paysagers attractifs peut constituer un levier efficace pour renforcer la compétitivité des territoires, favoriser l'essor du tourisme vert et stimuler le développement local et immobilier. Une approche intégrée, articulant environnement et économie, apparaît ainsi essentielle pour assurer une gestion durable et rentable des espaces verts en milieu urbain.

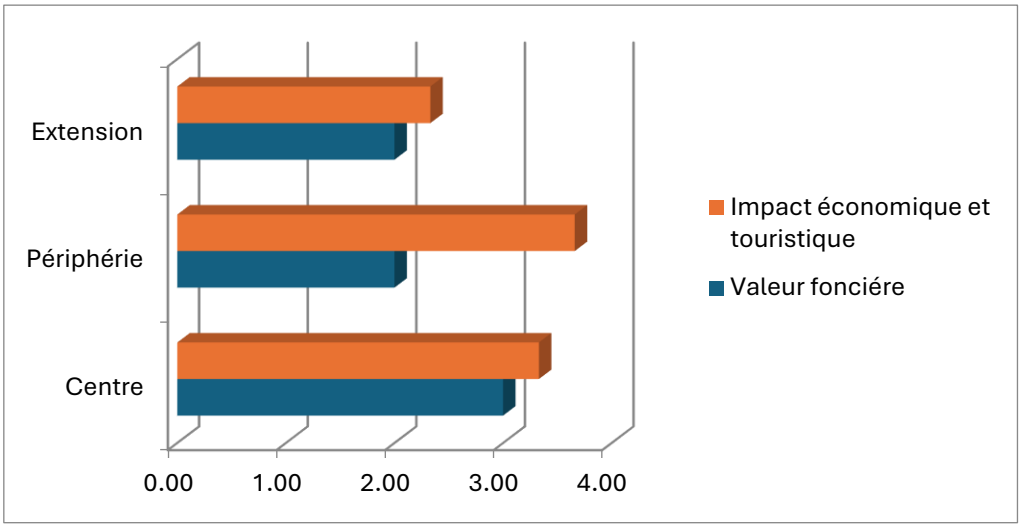



**Figure 153.**Impact économique des espaces verts sur la valeur foncière et l'attractivité

➢ **Discussion**

- **Gestion différenciée des espaces verts et disparités urbaines**

L'analyse des espaces verts dans les différentes zones urbaines révèle une gestion différenciée, ce qui conduit à des disparités importantes dans leur utilisation et leur impact. Le centre-ville, bénéficiant d'un long héritage en matière de planification urbaine, offre des espaces verts bien intégrés et entretenus. En revanche, les espaces verts en périphérie et dans les zones d'extension, malgré leur taille et leur potentiel écologique, sont souvent négligés ou insuffisamment développés, limitant ainsi leur accessibilité et leur attrait pour les usagers.

- **Bien-être et accessibilité : facteurs clés pour l'attractivité des espaces verts**

L'accessibilité des espaces verts joue un rôle central dans leur utilisation et leur contribution au bien-être des habitants. Dans le centre-ville, où l'accessibilité est optimisée, les espaces verts sont fortement fréquentés et offrent des bénéfices significatifs en matière de réduction du stress et d'amélioration de la qualité de vie. En périphérie, cependant, les infrastructures déficientes limitent l'usage des espaces verts, ce qui réduit leur impact positif sur les communautés locales.

- **Sécurité perçue : un défi majeur pour la périphérie et les extensions**

La perception de la sécurité dans les espaces verts des zones périphériques et d'extension reste un obstacle majeur à leur utilisation. Les usagers, confrontés à une faible sécurisation de ces espaces, réduisent la durée de leurs visites, limitant ainsi les bénéfices potentiels des espaces verts sur le bien-être psychologique et social. Pour pallier cette situation, il est essentiel d'investir dans des infrastructures de sécurité (éclairage, surveillance) et d'améliorer la gestion de ces espaces.

- **Importance de la biodiversité pour la résilience climatique**

Les espaces verts périphériques et d'extension, avec leur biodiversité, jouent un rôle important dans la résilience climatique des zones urbaines d'Annaba. Leur capacité à réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain en fait des acteurs clés de la régulation thermique. Toutefois, leur potentiel est sous-exploité en raison du manque d'infrastructures favorisant leur intégration dans le tissu urbain.

- **Maximiser le potentiel économique des espaces verts en périphérie**

Alors que les espaces verts du centre-ville contribuent largement à l'attractivité économique, ceux en périphérie et dans les zones d'extension n'ont pas encore atteint leur plein potentiel. Le développement d'infrastructures adaptées, couplé à des politiques d'investissement stratégique, pourrait transformer ces espaces verts en moteurs de développement économique local, tout en améliorant la qualité de vie des résidents. Les résultats de cette étude montrent que les espaces verts, bien que présents dans toutes les zones d'Annaba, n'offrent pas les mêmes bénéfices selon leur localisation. Il est crucial de renforcer les infrastructures des espaces verts en périphérie et dans les zones d'extension pour améliorer leur accessibilité, leur sécurité et leur contribution au bien-être des habitants. Une gestion plus intégrée, avec une attention particulière portée à la connectivité écologique et à la biodiversité, permettra également de maximiser les bénéfices environnementaux et économiques de ces espaces.

## II.7. Perceptions et Rôle de la Structure Verte dans les Projets d'Urbanisme et d'Aménagement

### ➢ Connaissance et Approche du Concept de Structure Verte

- **Niveau de Connaissance**

Les résultats de l'enquête révèlent une unanimité notable : l'ensemble des répondants (100%) affirme avoir une idée claire du concept de structure verte. Ce constat met en lumière un niveau élevé de sensibilisation parmi les acteurs urbains interrogés, qu'ils soient architectes, urbanistes, ingénieurs ou spécialistes en environnement. Il témoigne également de la reconnaissance croissante du rôle des structures vertes dans la réflexion contemporaine sur l'aménagement durable. Les définitions fournies par les participants convergent vers des idées structurées et pertinentes, illustrant une compréhension commune des principes fondamentaux des structures vertes. Deux éléments majeurs se dégagent de leurs réponses :

**-Un réseau favorisant la durabilité urbaine :** Ce concept repose sur l'idée de relier différents espaces verts, tels que des parcs, des corridors écologiques et des toits végétalisés, afin de maximiser leur impact environnemental. Ces connexions contribuent à renforcer la biodiversité, améliorer la gestion des eaux pluviales et réduire les effets d'îlots de chaleur urbains.

**-Un système visant l'amélioration de l'écologie urbaine :** Les participants associent ce concept à des bénéfices concrets, comme la régulation des microclimats urbains, la gestion efficace des ressources naturelles (eau, sol, végétation) et l'amélioration de la qualité de vie des habitants. Les structures vertes sont perçues comme des solutions intégrées, capables de concilier les enjeux environnementaux, sociaux et économiques.

Cette compréhension commune reflète l'influence croissante des approches durables dans les pratiques d'urbanisme, notamment celles qui intègrent les principes d'écologie urbaine. Cependant, il est important de souligner que cette connaissance reste majoritairement théorique. Une minorité des répondants a mentionné une maîtrise concrète des outils ou des méthodes nécessaires pour intégrer ces structures dans des projets urbains. Cela souligne un besoin d'accompagnement technique et méthodologique pour transformer cette sensibilisation en actions concrètes.

L'unanimité des réponses et la précision des définitions fournies témoignent non seulement de l'intérêt croissant pour ces concepts, mais également de la pertinence de leur diffusion dans les milieux professionnels. En revanche, la transformation de cette compréhension théorique en réalisations pratiques reste un défi à relever pour renforcer leur adoption dans les projets urbains.

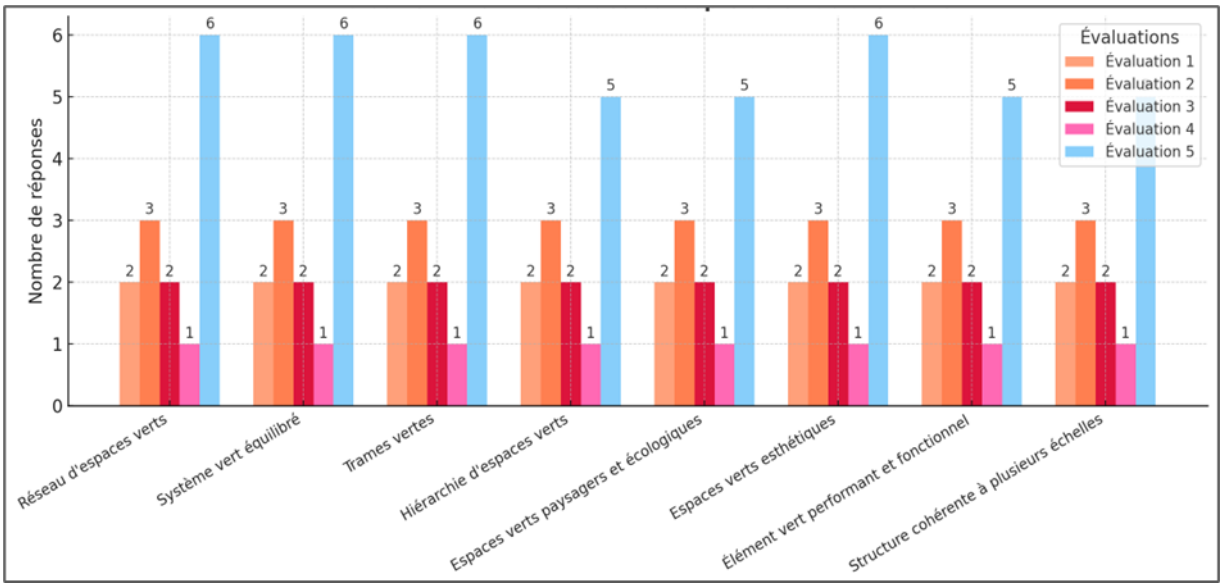



**Figure 154.** Perceptions et évaluation du concept de structure verte

Ce graphique illustre visuellement le pourcentage de répondants ayant affirmé une connaissance du concept, mettant en évidence l'absence de divergence sur cette question. Il offre un aperçu synthétique de l'ampleur de la sensibilisation au sein de la population interrogée.

## ➢ Les Attitudes et Approches Relatives au Concept de Structure Verte

- **Intérêt pour l'Approche et la Compréhension du Concept**

Le graphique représenté dans la **Figure155 ,** illustre le degré d'intérêt des répondants quant à l'approfondissement de leur compréhension du concept de structure verte. Une écrasante majorité des participants **(83,3%)** se déclare très intéressée, exprimant une volonté claire de s'approprier ce concept et de l'intégrer dans leurs pratiques professionnelles. Cette proportion témoigne d'un haut niveau de sensibilisation et d'une prise de conscience accrue des enjeux liés aux structures vertes, que ce soit pour leur rôle dans l'amélioration de la durabilité urbaine ou leur impact sur la qualité de vie. En parallèle, **16,7%** des répondants se positionnent comme simplement "intéressés", traduisant une ouverture à l'apprentissage sans toutefois manifester une adhésion aussi forte.

Cette répartition révèle un apport favorable pour initier des actions éducatives ou des formations spécifiques sur ce sujet, notamment auprès de professionnels urbains déjà sensibilisés, mais nécessitant des outils conceptuels et pratiques pour une meilleure intégration. La quasi-absence de désintérêt dans les réponses souligne l'importance perçue des structures vertes parmi les acteurs interrogés.

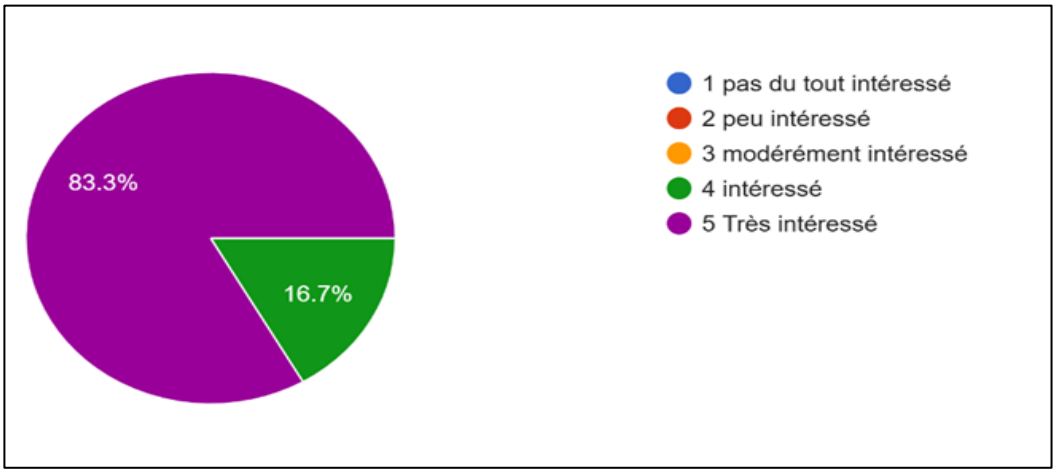



**Figure 155.** Niveau d'Intérêt pour Approfondir la Compréhension du Concept de Structure Verte

- **Préférences Méthodologiques pour Approfondir la Connaissance**

Le second graphique explore les préférences des répondants quant aux modalités d'apprentissage et de formation pour approfondir leur connaissance du concept de structure verte. Les résultats montrent que les formations présentielles (incluant cours et ateliers pratiques) apparaissent comme la modalité privilégiée, avec une majorité des évaluations dans la catégorie "très efficace" **(note 5).** Cela reflète une préférence marquée pour des approches pédagogiques interactives et immersives, où les participants peuvent non seulement acquérir des connaissances théoriques mais également expérimenter des applications pratiques dans un cadre collaboratif. Les séminaires, bien qu'un peu moins plébiscités, obtiennent également une majorité d'évaluations positives, notamment dans les catégories "efficace" **(note 4)** et "très efficace" **(note 5).** Cela met en lumière l'importance des opportunités d'échange et de débat offertes par ce format, permettant une exploration approfondie et contextualisée des structures vertes.

En revanche, les formations en ligne (cours avec applications numériques) suscitent des avis plus partagés. Si certains répondants reconnaissent leur pertinence, d'autres expriment des réserves, attribuant des évaluations plus basses (notes 2 ou 3). Ce résultat pourrait traduire un manque d'interactivité perçue ou une inadéquation avec les besoins pratiques des professionnels interrogés, qui privilégient des approches directes et concrètes. Ces observations soulignent que, bien que les outils numériques soient utiles, ils nécessitent d'être complétés par des formations en présentiel pour garantir leur efficacité.

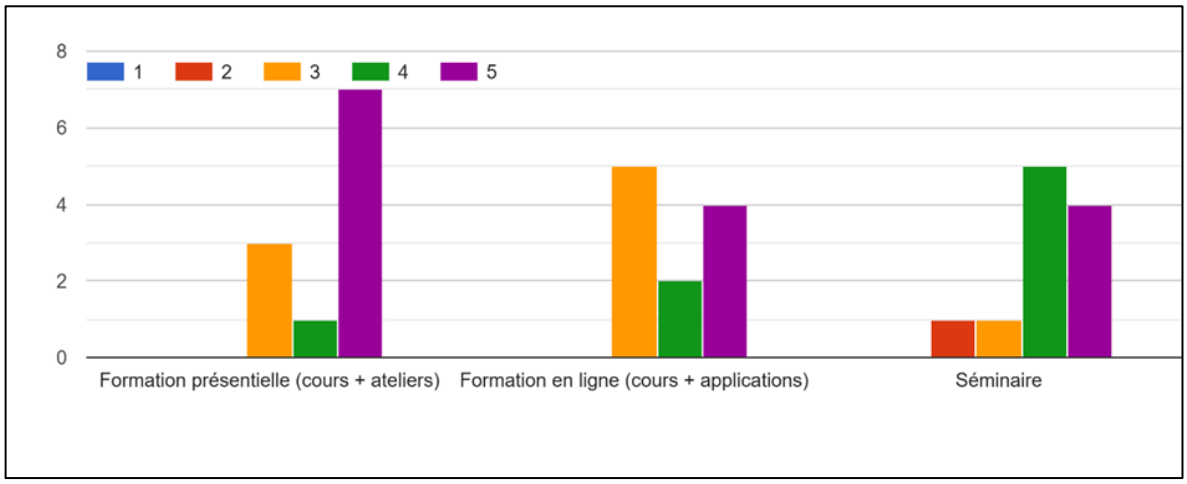



**Figure 156.** Préférences pour l'approfondissement du concept de structure verte

- **Contraintes Identifiées dans l'Approche du Concept**

Le troisième graphique exprimé par la **Figure 158** met en évidence les principaux obstacles identifiés par les répondants concernant l'adoption et l'intégration des structures vertes. Parmi les contraintes, la thématique en marge des réflexions ressort comme le frein principal, avec une majorité des répondants lui attribuant une note de "5" (très contraignant). Ce résultat reflète une marginalisation des structures vertes dans les priorités institutionnelles et professionnelles, souvent éclipsées par d'autres enjeux perçus comme plus urgents.

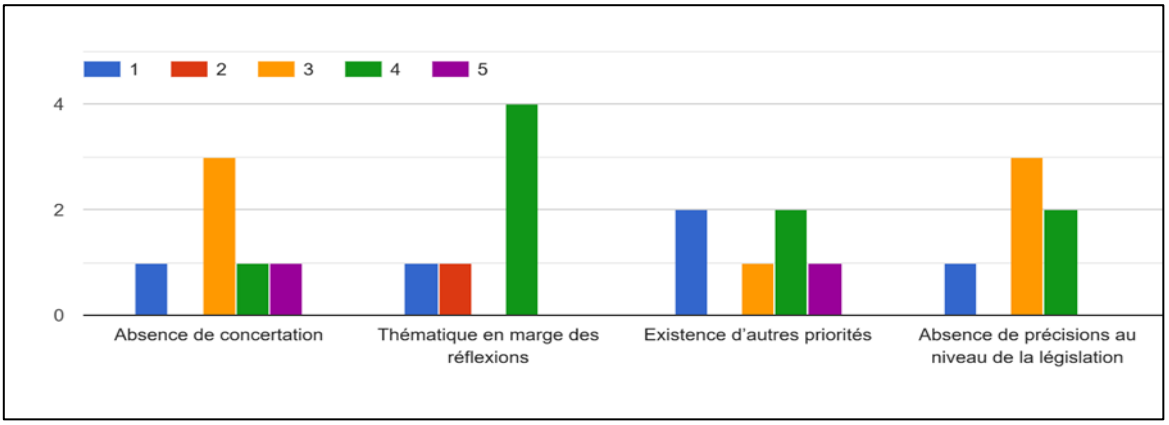



**Figure 157.** Contraintes de l'approche et de l'intégration de la structure verte

L'absence de précisions au niveau de la législation constitue également une contrainte importante, soulignant un cadre réglementaire encore flou ou insuffisant pour encadrer et promouvoir l'intégration des structures vertes. Ce déficit de directives légales peut entraîner une hésitation parmi les acteurs concernés, freinant ainsi leur adoption à grande échelle.

Par ailleurs, l'absence de concertation entre les parties prenantes émerge comme un frein significatif. Ce manque de dialogue limite la coordination entre les différents acteurs (urbanistes, architectes, ingénieurs, décideurs publics), entravant ainsi la mise en place d'une approche intégrée et cohérente. L'existence d'autres priorités, bien qu'évaluée comme moins

contraignante, reste néanmoins un facteur à considérer, car elle illustre les tensions entre différents enjeux urbains et environnementaux.

Ces contraintes révèlent des défis structurels et organisationnels qui nécessitent des réponses adaptées, tant au niveau institutionnel qu'opérationnel. L'élaboration de politiques publiques claires, combinées à des initiatives de concertation et de sensibilisation, pourrait constituer un levier pour surmonter ces obstacles.

- **Classement des avantages des trames vertes**

Le graphique  illustré dans la **Figure 158** .met en lumière l'importance perçue des différents avantages des trames vertes, telle qu'évaluée par les participants sur une échelle allant de 1 (peu important) à 5 (très important). Les données révèlent une nette prédominance des évaluations attribuant une note de "5", traduisant une reconnaissance quasi unanime des bénéfices apportés par ces structures dans divers domaines, notamment environnementaux, énergétiques et sociaux. L'un des principaux avantages identifiés est **la contribution à la résilience des territoires**, perçue comme très importante par une majorité significative des répondants. Ce critère met en évidence le rôle crucial des trames vertes dans l'adaptation des territoires aux perturbations climatiques et environnementales. Elles apparaissent comme un outil essentiel pour renforcer la capacité des zones urbaines à absorber les chocs, qu'ils soient liés à des catastrophes naturelles ou à des pressions anthropiques croissantes.

En parallèle, **la contribution à la performance environnementale** est également jugée très significative. Les trames vertes sont reconnues pour leur impact positif sur la qualité de l'air, la biodiversité et la réduction de la pollution, autant de dimensions fondamentales pour garantir un environnement sain et durable. Ces réponses traduisent une compréhension approfondie des participants quant au rôle de ces structures dans la régénération écologique des espaces urbanisés. **L'amélioration de la performance énergétique** se distingue également comme un avantage majeur. Les trames vertes permettent une régulation thermique des espaces, réduisant ainsi les besoins en énergie pour le chauffage et la climatisation, tout en contribuant à la conception de bâtiments et d'infrastructures plus respectueux des principes de durabilité. Cet aspect est particulièrement pertinent dans les contextes urbains où la consommation énergétique est un enjeu central.

**La régulation hydrique** figure parmi les bénéfices les plus essentiels. Elle est perçue comme cruciale dans la gestion des eaux pluviales, la prévention des inondations et le maintien des nappes phréatiques. Ces fonctions renforcent la résilience des infrastructures hydrauliques urbaines, particulièrement dans un contexte marqué par des épisodes climatiques extrêmes et une raréfaction des ressources en eau. Enfin, **les dimensions liées au bien-être**, à savoir la santé mentale et la santé physique et sociale, sont massivement mises en avant. Les trames vertes jouent un rôle clé dans l'amélioration de la qualité de vie des habitants en offrant des espaces de détente, en favorisant le lien social et en réduisant les effets négatifs de l'urbanisation sur la santé mentale. Elles sont perçues comme des leviers importants pour renforcer le sentiment de bien-être dans les milieux urbains.

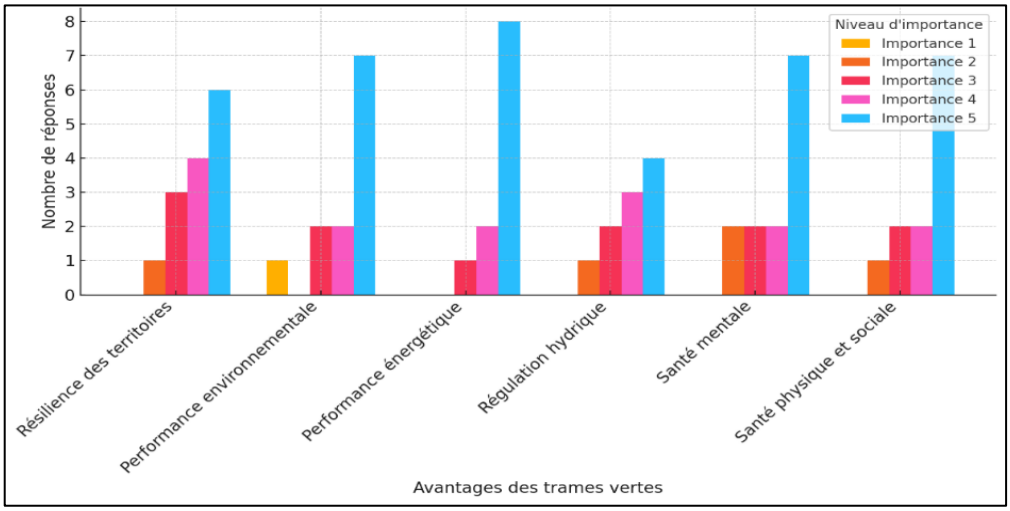



**Figure 158.**Classement des Avantages des trames vertes par ordre d'importance

Les résultats obtenus témoignent donc d'un consensus clair autour des multiples bénéfices des trames vertes, qui touchent à la fois à la résilience des territoires, à la performance environnementale et énergétique, à la gestion durable de l'eau et au bien-être global des habitants. Ces résultats soulignent l'urgence d'intégrer ces structures dans les stratégies d'aménagement urbain, en vue de maximiser leurs retombées positives sur le long terme. Leur intégration systématique dans les politiques publiques apparaît essentielle pour garantir une transition écologique harmonieuse et répondre aux défis multiples auxquels font face les espaces urbains contemporains.

### ➢ Intégration des Structures Vertes dans les Projets d'Urbanisme

L'intégration des structures vertes dans les projets d'urbanisme représente un défi complexe qui mobilise les acteurs de la ville à différents niveaux. Ce volet analyse leur capacité à introduire ce concept en amont des projets, les méthodes employées lorsqu'ils y parviennent, et les contraintes rencontrées dans ce processus. Ces éléments sont essentiels pour comprendre les obstacles et leviers à l'adoption des structures vertes comme vecteurs de durabilité urbaine.

- **Capacité à introduire le concept en amont des projets**

Le graphique dans la **Figure 159** met en lumière la proportion des acteurs urbains qui affirment être en mesure d'introduire les structures vertes en amont des projets. Parmi les répondants, 61,5% déclarent réussir à intégrer ce concept dès les premières étapes de planification, illustrant une prise de conscience croissante de l'importance de ces structures dans les stratégies urbaines. Cependant, 38,5% des participants indiquent ne pas y parvenir, révélant des obstacles structurels, institutionnels ou organisationnels qui freinent l'adoption précoce de ces approches. Cette disparité souligne un besoin d'accompagnement, de sensibilisation et de formation pour renforcer cette capacité d'intégration.

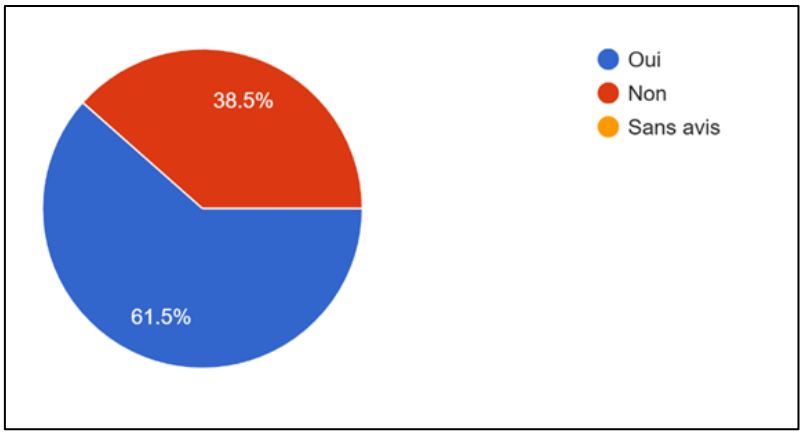



**Figure 159.**Capacité des Acteurs Urbains à Introduire les SV en Amont des Projets.

- **Modalités d'intégration des structures vertes**

Le second graphique, illustré dans la **Figure 160**, met en lumière les différentes modalités adoptées par les acteurs pour intégrer les structures vertes dans leurs projets. Ces modalités sont évaluées selon une échelle d'importance allant de 1 (peu important) à 5 (très important), reflétant les préférences et les priorités des participants. Parmi les approches les plus plébiscitées, le respect de la réglementation et des ratios se distingue nettement. Cette méthode obtient une majorité d'évaluations dans la catégorie 5 (très important), témoignant de l'importance capitale des cadres réglementaires pour structurer et encourager l'intégration des trames vertes. Cela traduit une reconnaissance des participants quant au rôle normatif essentiel dans l'organisation et l'harmonisation des pratiques d'aménagement. L'établissement de plans verts lors de la réalisation des projets figure également parmi les approches les plus valorisées, recevant de nombreuses notes de 4 et 5. Cette pratique met en évidence la nécessité de planifications spécifiques qui intègrent des objectifs écologiques dès la phase de mise en œuvre. Elle reflète une vision opérationnelle de la durabilité, axée sur des solutions concrètes et mesurables.

La consultation de spécialistes, notamment des paysagistes, écologues ou experts en environnement, recueille également des évaluations élevées (notamment dans les niveaux 4 et 5). Cette approche souligne l'importance d'une expertise multidisciplinaire pour garantir une intégration pertinente et techniquement aboutie des structures vertes. Elle illustre également le besoin croissant de renforcer les collaborations interprofessionnelles pour répondre aux exigences des projets complexes. En revanche, des méthodes telles que la révélation du potentiel écologique dès le diagnostic ou l'introduction des structures vertes à différentes échelles de conception reçoivent des évaluations plus variées, avec une répartition notable sur les niveaux 3, 4 et 5. Ces résultats suggèrent que, bien que ces approches soient reconnues, leur application pratique reste perfectible, nécessitant des efforts supplémentaires pour les intégrer pleinement dans les processus existants. Les niveaux d'évaluation plus faibles (1 et 2) attribués à certaines approches, bien que minoritaires, mettent en lumière des marges d'amélioration spécifiques. Ces notes indiquent que des obstacles ou des résistances peuvent encore freiner la mise en œuvre de certaines méthodes, soit par manque de ressources, soit par absence de sensibilisation ou de soutien institutionnel.

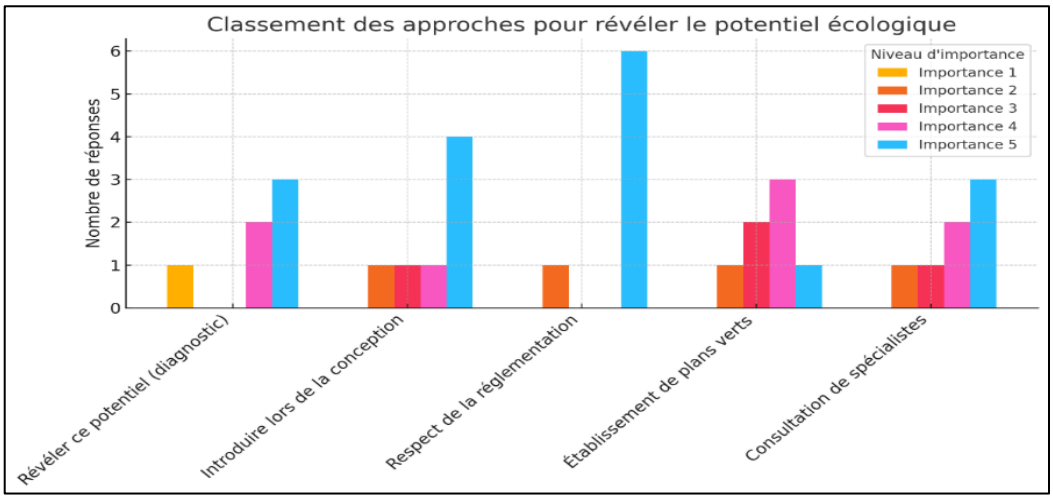



**Figure 160.** Modalités d'intégration des structures vertes

- **Contraintes rencontrées dans l'intégration des structures vertes**

Le graphique **Figure 161** met en évidence les principales contraintes identifiées par les répondants lorsqu'ils ne parviennent pas à intégrer les structures vertes dans leurs projets urbains. Ces contraintes sont évaluées sur une échelle de 1 (peu contraignant) à 5 (très contraignant), permettant une analyse nuancée des freins à leur adoption.

Parmi les obstacles recensés, l'absence de coopération et d'ateliers de partage entre les acteurs impliqués ressort comme le principal frein. Une majorité des participants attribuent à ce facteur une note de 5, signalant un manque critique de coordination et de dialogue entre les parties prenantes. Cette situation limite la mise en œuvre intégrée et cohérente des structures vertes, soulignant un besoin urgent d'espaces de concertation pour favoriser l'échange de savoirs et d'expertises.

La rareté du foncier est également identifiée comme une contrainte importante. Elle reçoit des évaluations significatives dans les niveaux 4 et 5, reflétant les pressions exercées sur les terrains disponibles dans les zones urbaines. Ces pressions, souvent exacerbées par une urbanisation rapide et une gestion foncière déficiente, limitent les opportunités d'aménagements verts. En outre, la priorité donnée à la construction de logements au détriment des espaces verts apparaît comme un autre défi majeur, particulièrement dans les contextes où la demande sociale pour les logements prime sur les considérations environnementales. Les réponses attribuant des niveaux **3 à 5** montrent que cette tension entre besoins immédiats et objectifs à long terme constitue un frein à l'intégration des structures vertes. Par ailleurs, **l'absence de spécialistes en la matière** est perçue comme une contrainte significative, avec des évaluations concentrées sur les niveaux **4 et 5**. Ce résultat souligne une lacune en termes de formation et de disponibilité d'experts capables de concevoir et d'implémenter efficacement ces structures. Cette carence met en lumière la nécessité d'une politique de renforcement des capacités professionnelles dans le domaine. Enfin, les niveaux **1 et 2** attribués à certaines contraintes, bien que minoritaires, traduisent des perceptions moins critiques de ces freins pour certains participants, possiblement dans des contextes où les ressources ou la réglementation sont plus favorables.

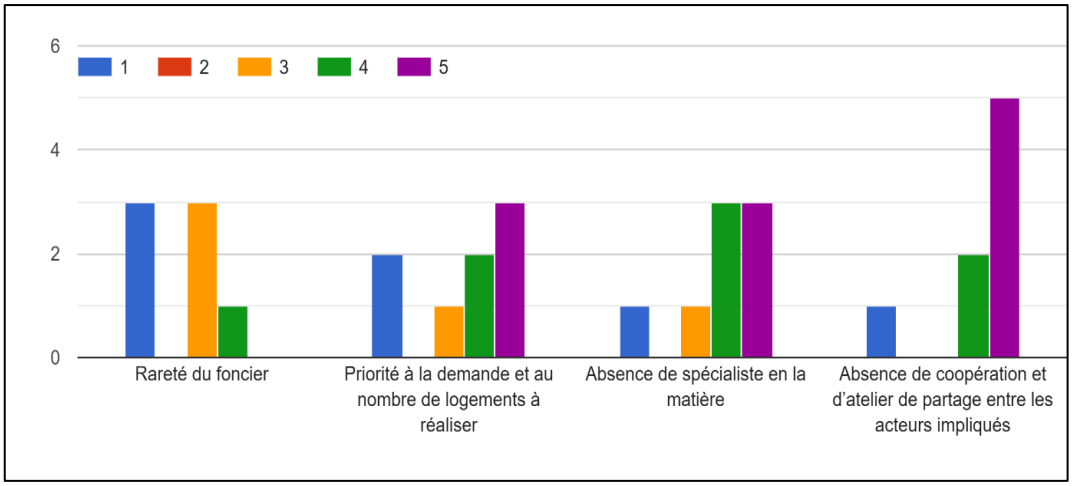



**Figure 161. Contraintes relatives à l'intégration de la SV**

Ces résultats mettent en lumière des défis structurels majeurs à l'intégration des structures vertes. La priorité doit être donnée à la création de cadres de collaboration interdisciplinaire, en promouvant la tenue d'ateliers et de plateformes de dialogue entre les acteurs de l'urbanisme, de l'écologie, et des politiques publiques. De plus, la formation et la spécialisation dans ce domaine doivent être renforcées pour pallier l'absence de compétences adéquates.

Les politiques publiques doivent également aborder la question de la gestion foncière en intégrant des mesures favorisant la préservation des terrains dédiés aux structures vertes, tout en équilibrant les exigences concurrentes de développement urbain et de durabilité. En parallèle, il est crucial de sensibiliser les décideurs à l'importance stratégique des trames vertes, non seulement pour répondre aux besoins écologiques actuels, mais aussi comme un investissement à long terme dans la résilience urbaine.

### ➢ Prise en Compte des Structures Vertes dans les Projets Réalisés

- **Considération des structures vertes dans les projets réalisés**

Les résultats mettent en évidence une réalité préoccupante : dans la majorité des projets réalisés, les structures vertes ne sont pas intégrées. En effet, 90,9 % des répondants affirment que les structures vertes ne sont pas prises en compte, tandis que seulement 9,1 % déclarent leur inclusion. Ce résultat illustre un déficit important dans la planification durable des projets urbains, soulignant la nécessité de reconsidérer les priorités en matière d'aménagement.

- **Modalités de mise en œuvre pour les projets intégrant les structures vertes**

Le graphique de la **Figure 162** présente les méthodes utilisées pour intégrer les structures vertes dans les rares cas où elles sont prises en compte. Parmi les approches évoquées, l'exigence des instruments d'urbanisme apparaît comme un levier clé, obtenant des évaluations élevées, notamment dans les niveaux 4 et 5. Cela indique que les cadres réglementaires existants jouent un rôle important pour encourager la mise en œuvre des trames vertes. L'adéquation de canevas, qui inclut l'aménagement de terrains fonciers naturels ou verts, est également bien valorisée, bien que les notes soient plus dispersées, variant entre les niveaux 3 et 5. Cette variabilité pourrait refléter des disparités dans les capacités locales à mobiliser des espaces adaptés aux structures vertes.

D'autres approches, comme **l'établissement d'un plan vert** ou **l'organisation selon une mosaïque paysagère**, obtiennent des évaluations équilibrées entre les niveaux 3 et 4. Cela suggère qu'elles sont reconnues comme pertinentes, mais leur mise en pratique reste limitée, sans doute en raison de contraintes institutionnelles ou financières.

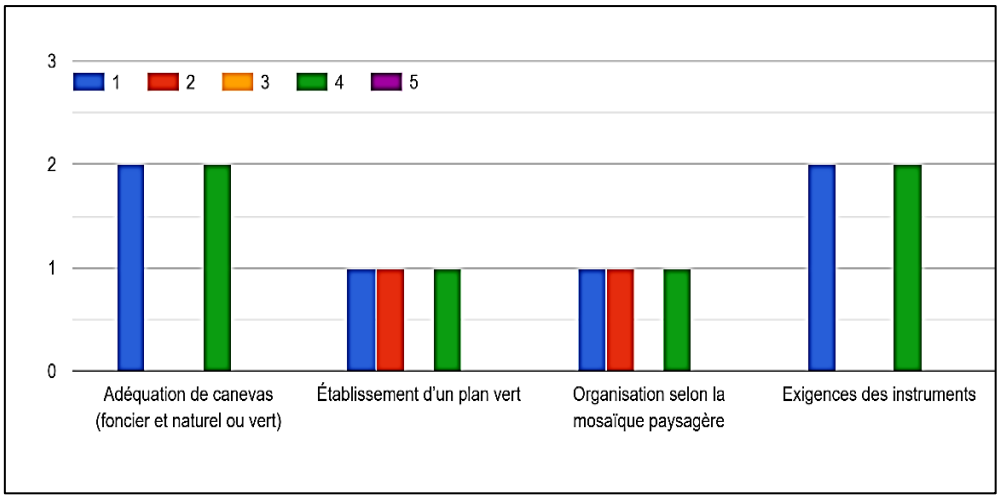



**Figure 162.**Modalités de mise en œuvre des SV

- **Les Obstacles à la Prise en Compte des Structures Vertes**

Le graphique illustré dans la **Figure 163** les raisons principales expliquant pourquoi les structures vertes ne sont pas prises en considération dans certains projets. Ces obstacles sont évalués selon une échelle de 1 (pas du tout contraignant) à 5 (très contraignant), fournissant une vue d'ensemble des défis rencontrés par les acteurs urbains. L'un des freins majeurs mis en avant est le fait que "ce n'est pas une priorité", avec une forte proportion des réponses attribuant une note de 5. Cela souligne une inadéquation entre les besoins écologiques pressants et les priorités actuelles des décideurs, qui restent focalisées sur d'autres urgences perçues, comme le logement ou les infrastructures.

Par ailleurs, "l'instrument n'en définit pas l'importance" constitue un autre obstacle significatif, avec des évaluations concentrées sur les niveaux 4 et 5. Ce constat reflète une faiblesse dans les cadres réglementaires actuels, qui ne mettent pas suffisamment en avant la nécessité d'intégrer les structures vertes dans les projets urbains. L'absence d'un cadastre vert, qui recueille également des évaluations élevées, est un autre facteur limitant majeur. Ce manque d'outil stratégique complique l'identification des zones adaptées aux trames vertes et freine leur mise en œuvre dans les stratégies d'aménagement. Enfin, le non-usage ou non-respect du cadastre vert, même lorsqu'il est présent, illustre un problème d'application et de suivi. Cette contrainte, avec des réponses réparties sur les niveaux 3, 4 et 5, indique qu'une sensibilisation accrue et un renforcement des mécanismes d'application sont nécessaires pour améliorer l'efficacité de cet outil.

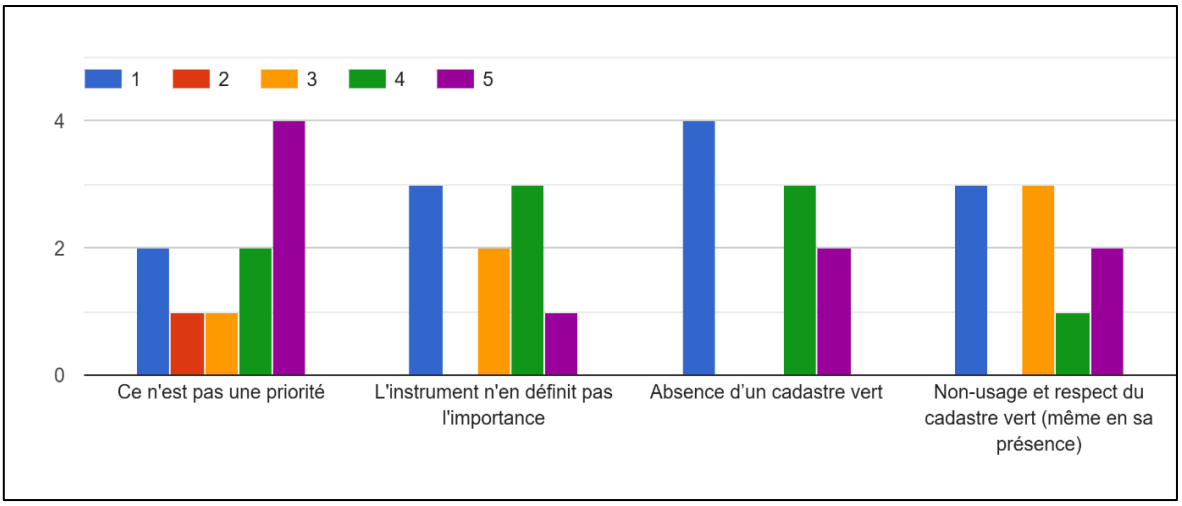



**Figure 163.** Obstacles à la Prise en Compte des Structures Vertes

On note un besoin urgent de réorienter les priorités politiques, de renforcer les cadres réglementaires et de développer des outils stratégiques comme le cadastre vert. Des efforts accrus en termes de sensibilisation, de coordination entre les acteurs et de suivi de la mise en œuvre pourraient contribuer à surmonter ces obstacles et promouvoir une prise en compte systématique des structures vertes dans les projets urbains.

### ➢ Structure Verte et Législation

Le résultat de l'enquête illustré dans la **Figure 164** met en évidence les efforts entrepris en Algérie, et plus spécifiquement dans les villes où les répondants sont actifs, pour appliquer la loi 06-2007 relative à la gestion, à la protection et au développement des espaces verts. Les évaluations des initiatives déployées varient en fonction de leur efficacité perçue, mesurée sur une échelle de 1 (pas du tout efficace) à 5 (très efficace). Cette analyse révèle les progrès réalisés, mais aussi les insuffisances qui freinent l'application de cette législation ambitieuse.

L'amélioration et la mise en œuvre des mesures législatives sont perçues comme insuffisantes par une majorité de participants, comme en témoigne la prévalence des réponses dans la catégorie "1". Ce constat reflète une inefficacité générale dans l'application des cadres réglementaires, possiblement en raison d'un manque de coordination, de ressources ou de volonté politique. Cette faiblesse limite la portée des initiatives visant à préserver et à développer les espaces verts dans les environnements urbains.

Les réflexions stratégiques et les efforts de planification reçoivent des évaluations plus nuancées, avec des notes réparties entre **"3", "4" et "5".** Cela montre que des tentatives d'intégration des espaces verts dans les processus de planification existent, mais que leur mise en œuvre reste inégale. Bien que des initiatives soient identifiées, elles peinent souvent à produire des résultats concrets et à répondre aux objectifs fixés par la loi. La collaboration interinstitutionnelle, essentielle pour une application cohérente de la législation, obtient des notes modérées, suggérant des progrès limités dans ce domaine.

Les participants reconnaissent l'importance de cette collaboration, mais les résultats indiquent des efforts encore insuffisants pour garantir un dialogue efficace et des actions concertées entre les différents acteurs, qu'il s'agisse des collectivités locales, des institutions étatiques ou des organisations non gouvernementales.

Les initiatives de sensibilisation et d'implication communautaire, bien qu'existantes, sont jugées insuffisantes par une majorité de répondants, comme le montrent les notes concentrées dans les catégories "2" et "3". Ce résultat met en évidence un déficit dans l'engagement des citoyens, pourtant essentiel pour garantir la pérennité des actions de préservation et de développement des espaces verts. En revanche, la création et la réhabilitation des espaces verts obtiennent des évaluations globalement positives, avec une concentration notable de notes dans les catégories "4" et "5". Ces efforts sont perçus comme les plus tangibles et les plus visibles, témoignant d'une certaine réussite dans la mise en œuvre de projets concrets. Cependant, ces initiatives restent souvent localisées et ne semblent pas refléter une stratégie nationale cohérente.

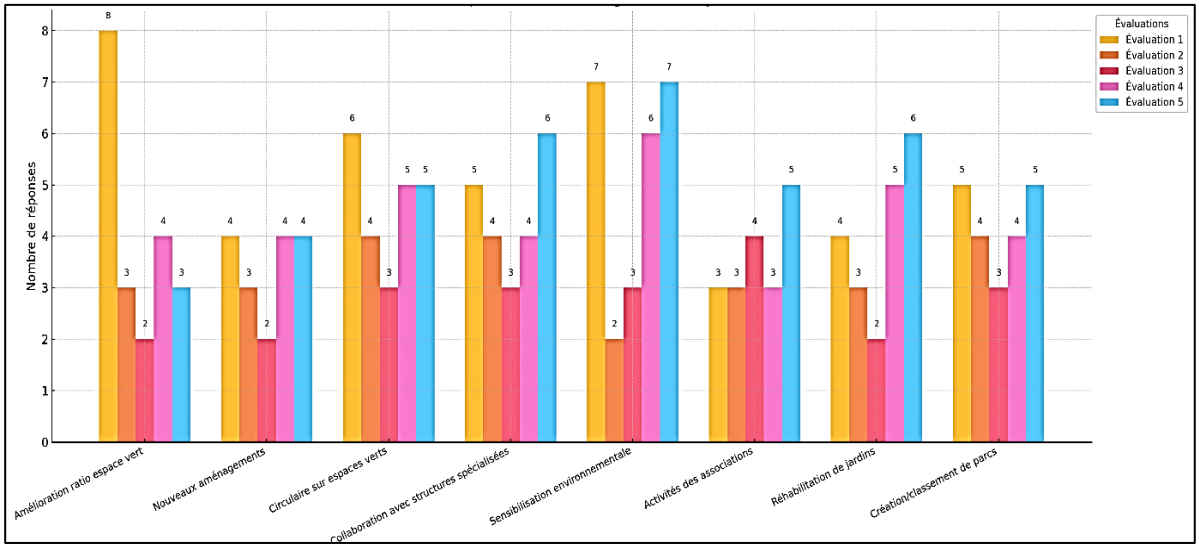



**Figure 164 .**Évaluation des opérations liées à l'intégration des SV

L'analyse des efforts déployés pour mettre en œuvre **la loi 06-2007** met en lumière des avancées notables, particulièrement dans la création et la réhabilitation des espaces verts. Toutefois, les insuffisances en matière de coordination interinstitutionnelle, de sensibilisation communautaire et d'amélioration des cadres législatifs limitent l'efficacité globale des initiatives. Pour maximiser l'impact de cette loi, il est nécessaire de renforcer les synergies entre les acteurs, de prioriser l'application des mesures législatives et de développer des stratégies plus inclusives, capables de mobiliser l'ensemble des parties prenantes autour d'une vision commune pour un urbanisme durable et résilient.

- **Croissance, Étalement Urbain et Impact sur la Structure Verte**
  - **Face à l'urbanisation croissante et la rareté du foncier: Solutions suggérées**

L'urbanisation accélérée et la pression croissante sur le foncier constituent des défis majeurs pour le maintien et le développement des structures vertes dans les zones urbaines. Comme l'illustre le graphique en **Figure 165**, les acteurs interrogés privilégient, à une large majorité, le renouvellement des tissus urbains par l'introduction d'infrastructures vertes comme réponse principale à ce problème. Ce choix reflète une prise de conscience croissante de la

nécessité de repenser les espaces urbains de manière durable. Par ailleurs, la végétalisation des tissus lâches par la verdurisation des cœurs d'îlots émerge également comme une stratégie notable, particulièrement pertinente dans des environnements denses où les espaces ouverts sont limités. Enfin, la compensation par des toits verts, bien que souvent considérée comme une solution complémentaire, révèle un fort potentiel dans des contextes où les surfaces au sol disponibles sont insuffisantes. Ces résultats soulignent une convergence vers des approches intégrées qui conjuguent innovation et durabilité.

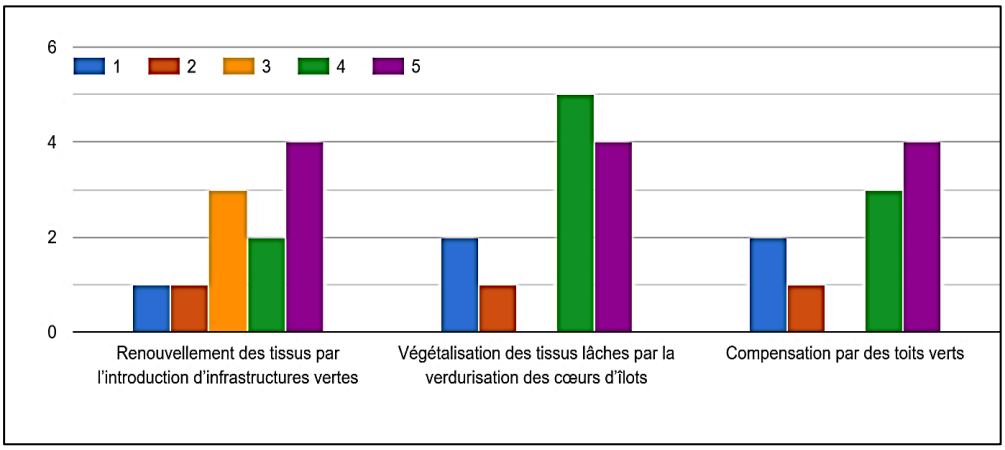



**Figure 165.**Solutions suggérées pour le maintien de la SV

- **Mise en œuvre des toits verts**

L'un des enjeux majeurs de la mise en œuvre des toits verts réside dans la mobilisation des moyens nécessaires. Le graphique en Figure 2 met en évidence les éléments jugés indispensables par les répondants pour garantir l'efficacité de cette technique. Les professionnels qualifiés et les moyens techniques se distinguent comme les facteurs clés (niveaux 4 et 5), traduisant l'importance d'une expertise spécialisée et d'un équipement adapté. La réglementation, bien que reconnue comme un levier crucial, reçoit des évaluations plus modérées, soulignant des lacunes possibles dans l'application ou la cohérence des cadres législatifs existants. Enfin, les moyens humains, bien qu'essentiels, apparaissent comme un domaine nécessitant un renforcement, notamment en termes de formation et de sensibilisation. Ces observations mettent en lumière l'urgence de structurer davantage les mécanismes de soutien et d'accompagnement pour favoriser la généralisation des toits verts (**Figure 166**).

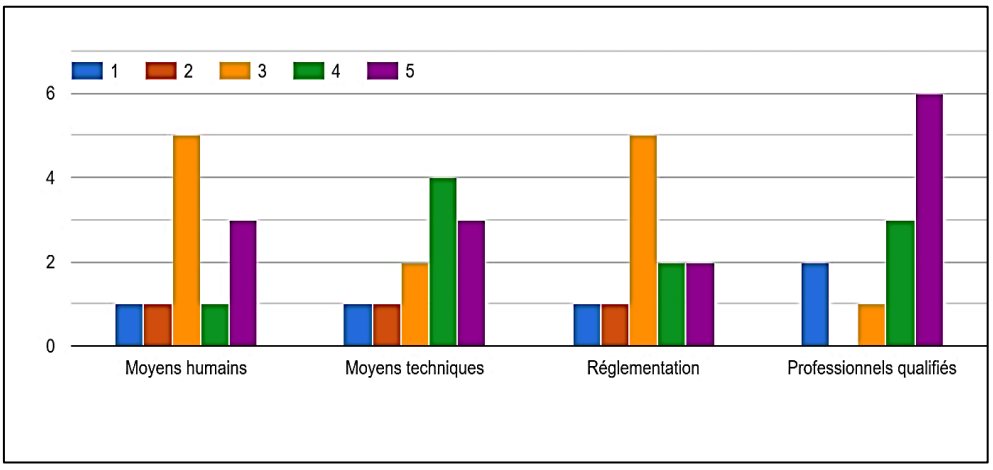



**Figure 166.**Enjeux de mise en œuvre des toits verts

- **Évaluation de la Contribution des spécialités aux toits verts**

La réalisation des toits verts repose sur des expertises diversifiées. Comme le montre la **Figure 167** , 83,3 % des répondants affirment l'existence de spécialités pertinentes pour la mise en œuvre de ces infrastructures. Toutefois, les résultats révèle que certaines professions, telles que les paysagistes, les horticulteurs, et les écologues, sont plus largement perçues comme indispensables, tandis que d'autres, comme les jardiniers et les biologistes, occupent un rôle complémentaire, mais moins central (**Figure 168**). Ces résultats soulignent la nécessité d'un renforcement des filières professionnelles liées à l'environnement et à l'aménagement. La faible reconnaissance de certaines spécialités traduit également un manque de visibilité ou de valorisation de ces métiers dans les projets urbains, ce qui pourrait freiner leur pleine mobilisation.

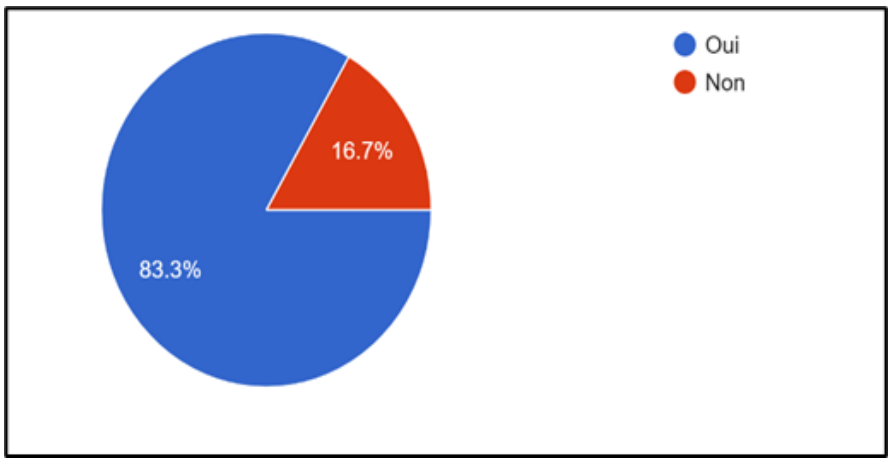



**Figure 167.** Pertinence pour l'introduction de toits verts

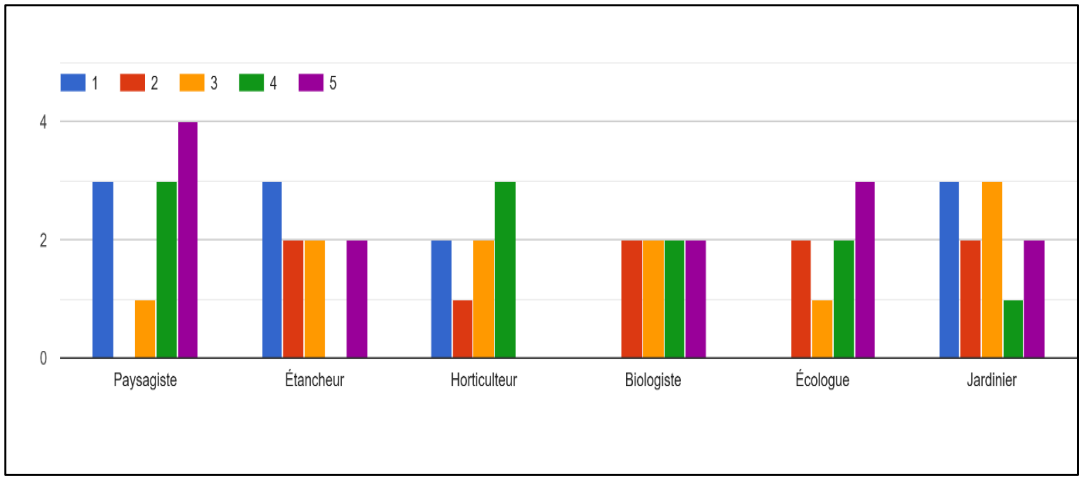



**Figure 168.**Interet des spécialités pour la mise en œuvre de toit verts

- **Formation et orientation professionnelle**

Les résultats présentés dans la Figure 5 mettent en évidence un consensus unanime des répondants (100 %) quant à l'urgence d'orienter les formations universitaires et professionnelles vers les spécialités nécessaires à la réalisation des toits verts. Cette unanimité reflète une prise de conscience claire de l'importance de ces métiers dans la transition écologique des villes. Cependant, cette orientation nécessite la mise en place de programmes

éducatifs adaptés, intégrant des modules spécialisés en écologie urbaine, aménagement paysager et gestion des infrastructures vertes. De tels programmes permettraient de répondre à la demande croissante d'expertise tout en renforçant l'intégration des structures vertes dans les projets urbains.

- **Apport des formations universitaires spécialisées**

Le graphique présenté en **Figure 169** met en lumière les attentes des répondants quant au rôle de la société universitaire dans le développement de compétences spécialisées pour répondre aux besoins liés aux structures vertes. Trois catégories de formations se distinguent nettement parmi les réponses et traduisent une volonté de combler des lacunes actuelles en matière de formation dans ce domaine. Le lancement de masters professionnels en paysage émerge comme une priorité essentielle. Avec une majorité de réponses situées aux niveaux 4 et 5 d'importance, cette proposition reflète une reconnaissance de l'urgence de doter les professionnels de compétences pratiques adaptées aux défis du terrain. Ces masters permettraient de former des experts aptes à concevoir, aménager et entretenir des espaces verts dans un cadre urbain souvent contraint par des enjeux fonciers et des pressions économiques. Ces formations contribueraient également à ancrer des pratiques durables dans les projets d'aménagement, en tenant compte des particularités locales et des exigences écologiques.

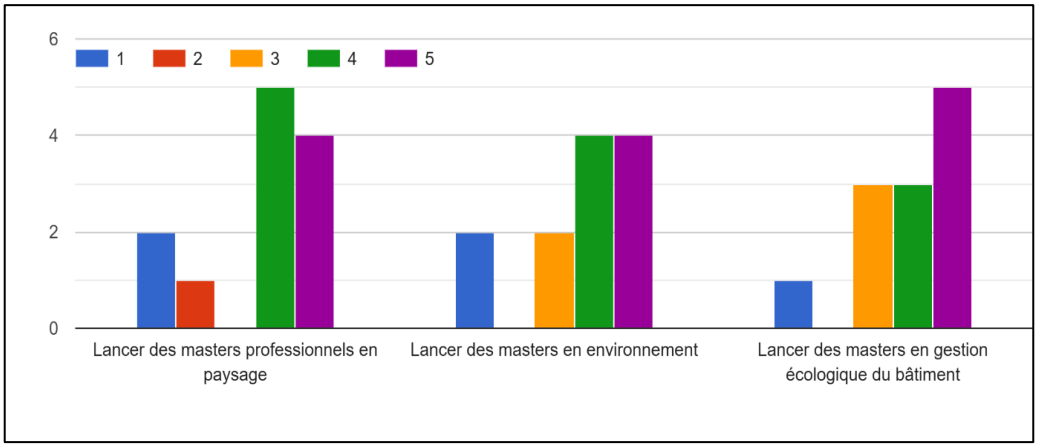



**Figure 169 .** Rôle des formations universitaires dans le développement de compétences spécialisées

Le lancement de masters en environnement s'impose également comme une priorité forte, les répondants attribuant des niveaux d'importance élevés (4 et 5). Ces programmes viseraient à former des spécialistes en mesure de relever les défis environnementaux contemporains, notamment en matière de durabilité, de gestion raisonnée des ressources naturelles et de conception de plans écologiques intégrés. En dotant les professionnels des outils et des connaissances nécessaires, ces formations pourraient avoir un impact direct sur la qualité de vie urbaine et la résilience environnementale des territoires. Enfin, les masters en gestion écologique du bâtiment se démarquent comme la proposition la plus soutenue par les répondants, avec une majorité significative d'évaluations au niveau 5. Cela reflète une prise de conscience croissante de la nécessité d'intégrer des principes écologiques dans les projets de construction et de réhabilitation. Ces formations offriraient une expertise combinant innovation technique et respect des normes environnementales, tout en répondant aux attentes croissantes en matière de performance énergétique et de durabilité. Elles pourraient également jouer un rôle

clé dans la transition écologique des espaces bâtis, en favorisant des solutions adaptées aux enjeux spécifiques de chaque territoire.

Ces résultats mettent en exergue la nécessité pour les universités de s'engager pleinement dans la formation de professionnels capables de relever les défis environnementaux et urbains du XXIe siècle. La création de programmes spécialisés dans les domaines du paysage, de l'environnement et de la gestion écologique des bâtiments pourrait non seulement répondre aux besoins actuels, mais aussi anticiper les exigences futures en matière de durabilité. Par ailleurs, ces formations offriraient un cadre propice à la collaboration entre les universités, les collectivités locales et le secteur privé, garantissant une meilleure adéquation entre les compétences développées et les réalités du terrain. Cette approche contribuerait à inscrire les structures vertes au cœur des stratégies urbaines, consolidant ainsi leur rôle dans l'édification de villes résilientes et respectueuses de l'environnement.

- **Les toits verts : un concept qui se mondialise**

La **Figure 170** met en lumière l'intérêt croissant pour les toits verts, perçus comme une solution mondiale face aux enjeux de durabilité urbaine. Avec 69,2 % des répondants considérant cette approche comme pertinente, les toits verts s'imposent comme un outil majeur dans la lutte contre les effets néfastes de l'urbanisation, tels que la réduction des espaces verts, l'augmentation des îlots de chaleur urbains, et la perte de biodiversité. Ce consensus traduit une prise de conscience de leur efficacité dans la gestion des ressources environnementales et leur contribution à la qualité de vie urbaine. Cependant, une proportion non négligeable de 30,8 % des participants reste sceptique ou indécise. Ce résultat soulève des interrogations quant aux barrières potentielles à leur adoption, notamment les contraintes financières, techniques, ou encore la méconnaissance de leurs bénéfices. Ces chiffres révèlent la nécessité d'une sensibilisation accrue et d'une démonstration concrète des avantages des toits verts dans des contextes locaux variés, afin de dissiper les doutes et encourager leur adoption.

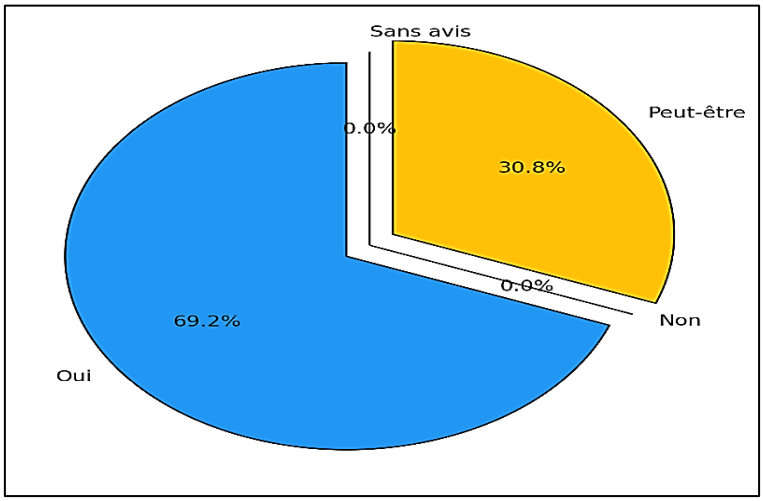



**Figure 170.**Intérêt pour les toits verts

- **Intérêt pour les toits verts : une ouverture significative**

Comme le montre la **Figure 171**, 76,9 % des répondants estiment que les toits verts représentent une technique pertinente et adaptée aux réalités urbaines algériennes. Cette forte adhésion reflète une reconnaissance de leur potentiel à répondre aux besoins spécifiques du pays, tels que l'amélioration du confort thermique, la réduction de l'impact environnemental des bâtiments, et l'optimisation des espaces inutilisés. Cette prise de position souligne

également l'urgence de repenser les approches d'urbanisme en intégrant des solutions innovantes et durables. Toutefois, 15,4 % des participants trouvent cette technique moins intéressante, pointant peut-être des défis spécifiques à l'Algérie, tels que le coût élevé des installations, les exigences en matière d'entretien, ou l'absence de politiques incitatives. Ces résultats soulignent l'importance de développer des cadres réglementaires favorables et des mécanismes de financement adaptés pour faciliter la mise en œuvre de ces infrastructures.

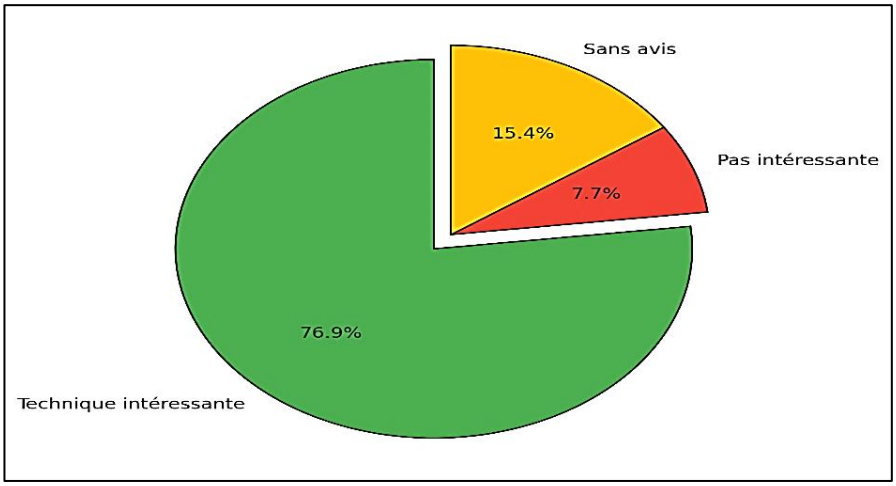



**Figure 171 .**Répartition des opinions en relation avec l'intérêt de la technique de toit végétalisé

Les résultats mettent en lumière plusieurs motivations majeures expliquant l'intérêt des participants pour les toits verts. La compensation des espaces verts absents au sol se distingue clairement comme une priorité, la majorité des répondants ayant attribué des niveaux d'importance élevés **(notes 4 et 5)**. Cela reflète une prise de conscience croissante des limitations liées à la rareté du foncier en milieu urbain, où les toits verts apparaissent comme une solution innovante pour recréer des espaces naturels et restaurer la biodiversité. Par ailleurs, l'implication des acteurs urbains, tels que les collectivités locales, les habitants, et les professionnels, est également jugée cruciale, les notes les plus élevées étant majoritairement attribuées à cette raison. Cette implication est perçue comme essentielle pour garantir la pérennité des toits verts et assurer leur maintien à long terme.

En outre, la capacité des toits verts à être appliqués dans divers secteurs, qu'ils soient résidentiels, industriels ou institutionnels, reflète une vision intégrative et inclusive de leur rôle dans la ville. Bien que les niveaux d'évaluation varient légèrement, les notes **4 et 5** prédominent, soulignant l'importance de cette flexibilité pour les participants. Enfin, les critères économiques, tels que la rentabilité des installations et leur contribution aux performances énergétiques des bâtiments, renforcent leur attractivité auprès des décideurs et des praticiens.

Ces aspects économiques obtiennent des niveaux d'importance variables, mais les notes les plus élevées traduisent une reconnaissance de leur valeur ajoutée. Ces résultats, illustrés dans la **Figure 172**, démontrent une convergence des préoccupations écologiques, économiques et sociales, mettant en avant l'intérêt croissant pour les toits verts comme réponse aux défis urbains contemporains.

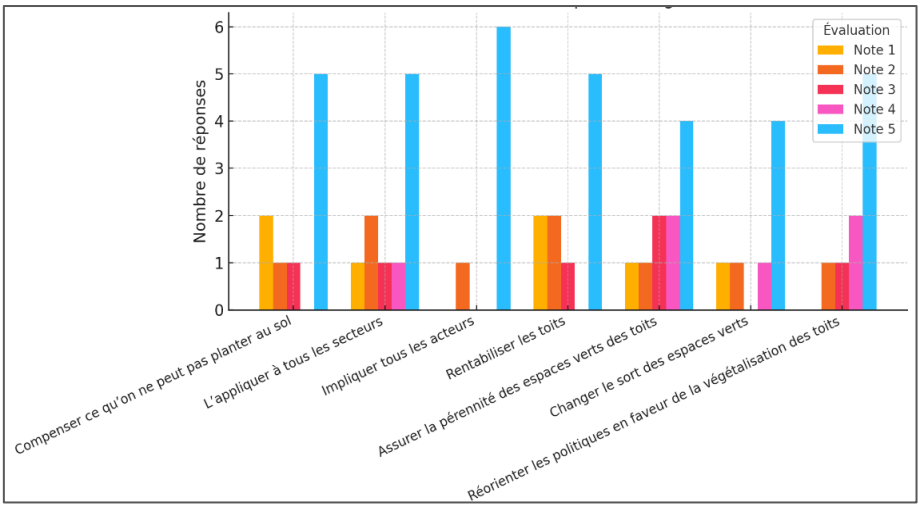



**Figure 172.**.Évaluation des raisons d'intérêt pour la végétalisation des toits

- **Intégration dans les cadres réglementaires et Stratégies de mise œuvre**

La Figure **173** révèle que 69,2 % des participants estiment que l'intégration des toits verts dans les instruments réglementaires est une étape cruciale. Cette majorité souligne l'importance de définir un cadre législatif clair et contraignant pour encourager leur adoption. Des exemples internationaux, tels que l'obligation des toits verts à Paris ou à Toronto, démontrent que de telles mesures peuvent stimuler leur déploiement à grande échelle.

Cependant, 23,1 % des répondants se montrent hésitants, citant probablement des barrières administratives ou des conflits d'intérêts entre priorités économiques et écologiques. Pour surmonter ces obstacles, il est impératif de promouvoir des politiques incitatives, telles que des subventions, des réductions fiscales, ou des crédits carbone, afin de créer un environnement propice à l'adoption des toits verts. De plus, 7,7 % des participants indiquent un avis neutre ou une incertitude ("Peut-être").

Cette proportion peut refléter un manque d'information sur les avantages concrets des toits verts ou une méfiance envers leur efficacité réelle dans certains contextes urbains. Cela souligne l'importance de sensibiliser davantage les parties prenantes, notamment par des campagnes d'information et des exemples concrets de réussite. Enfin, bien que aucun répondant n'ait exprimé de désaccord total, cela montre un consensus relatif sur le potentiel des toits verts. Pour surmonter les obstacles identifiés, il est impératif de promouvoir des politiques incitatives. Ces dernières pourraient inclure des subventions pour les installations, des réductions fiscales pour les propriétaires ou des crédits carbone pour les entreprises, afin de créer un environnement propice à l'adoption massive des toits verts.

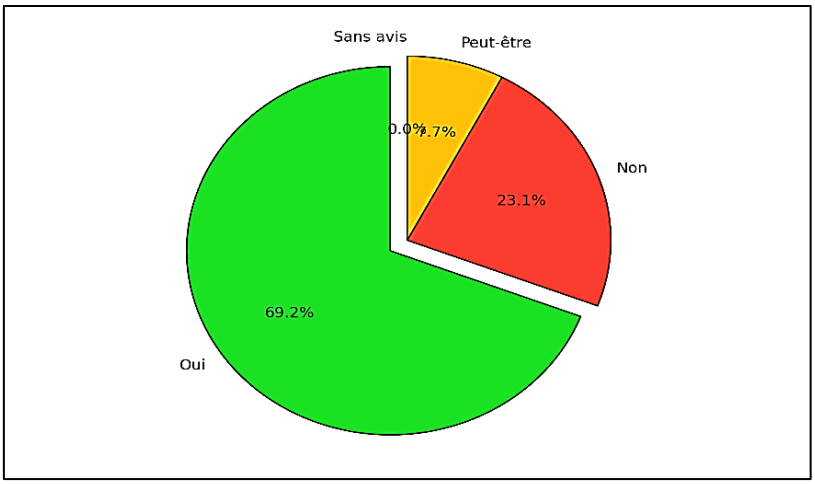



**Figure 173.**Perception de l'intégration des toits verts dans les instruments réglementaires

La **Figure 174** met en lumière les approches stratégiques pour la mise en œuvre des toits verts. Parmi celles-ci, la planification urbaine apparaît comme une priorité absolue, avec des scores élevés attribués par les participants. Cette priorité reflète une reconnaissance de l'importance d'intégrer les toits verts dès la phase de conception des projets urbains pour maximiser leur impact. La révision des codes du bâtiment, la formation et la sensibilisation des acteurs, ainsi que le développement de partenariats public-privé, sont également identifiés comme des leviers stratégiques. Ces mesures nécessitent une coordination étroite entre les différents acteurs, afin d'assurer une mise en œuvre efficace et durable. Les politiques incitatives, telles que les crédits d'impôt pour les projets verts ou les certifications écologiques, jouent également un rôle clé dans la mobilisation des ressources nécessaires.

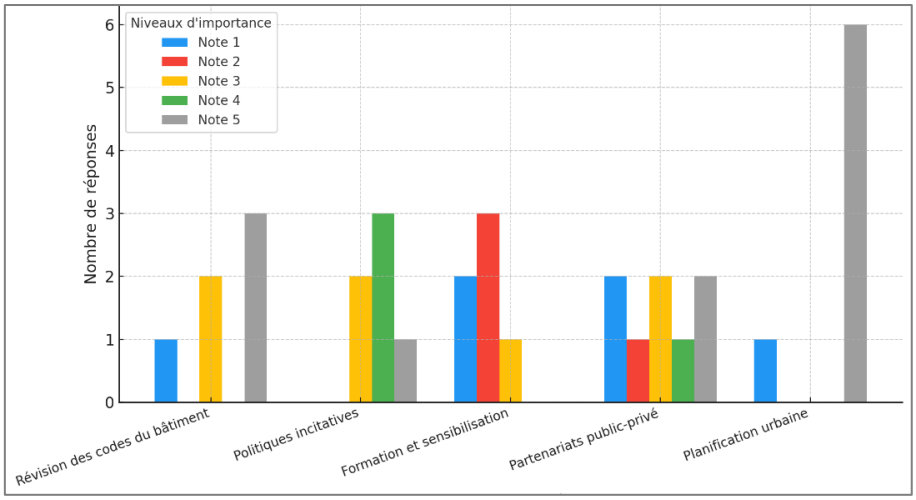



**Figure174.** Priorités identifiées pour l'intégration des toits verts en milieu urbain

- **Identification des acteurs clés et la nécessité d'une concertation**

La Figure 6 met en évidence les acteurs perçus comme essentiels dans la réussite des projets de toits verts. Les urbanistes se distinguent nettement avec la majorité des réponses attribuant un niveau d'importance maximal (note 5). Leur rôle clé réside dans la conception stratégique et la planification urbaine, ce qui fait d'eux les premiers responsables de l'intégration efficace des toits verts dans les projets d'aménagement. Les architectes, tout comme les urbanistes, sont jugés très importants (notes 4 et 5), en raison de leur expertise dans la conception des bâtiments et leur capacité à intégrer des solutions durables dès les phases

initiales des projets. Les autorités locales suivent de près, jouant un rôle déterminant en tant que facilitatrices réglementaires et institutionnelles, notamment pour assurer la conformité aux normes et encourager les initiatives. Les développeurs immobiliers et les citoyens, bien qu'évalués à des niveaux d'importance légèrement inférieurs, sont également essentiels. Les développeurs immobiliers assurent la faisabilité économique et la réalisation pratique des projets, tandis que les citoyens, en tant qu'utilisateurs finaux, garantissent l'acceptation sociale et la pérennité des initiatives. Les réponses attribuant des notes de 3 ou moins pour ces acteurs traduisent une perception de leur rôle comme complémentaire plutôt que central.

Ces résultats mettent en lumière la nécessité d'une approche collaborative et multi-acteurs pour maximiser les bénéfices des toits verts. Une coordination accrue entre urbanistes, architectes, autorités locales, développeurs immobiliers et citoyens est essentielle pour assurer le succès des projets de végétalisation urbaine, tant en termes de conception que d'acceptation et de durabilité. La **Figure 175 illustre** clairement cette hiérarchisation des responsabilités et l'importance d'un engagement commun pour relever les défis environnementaux dans les zones urbaines.

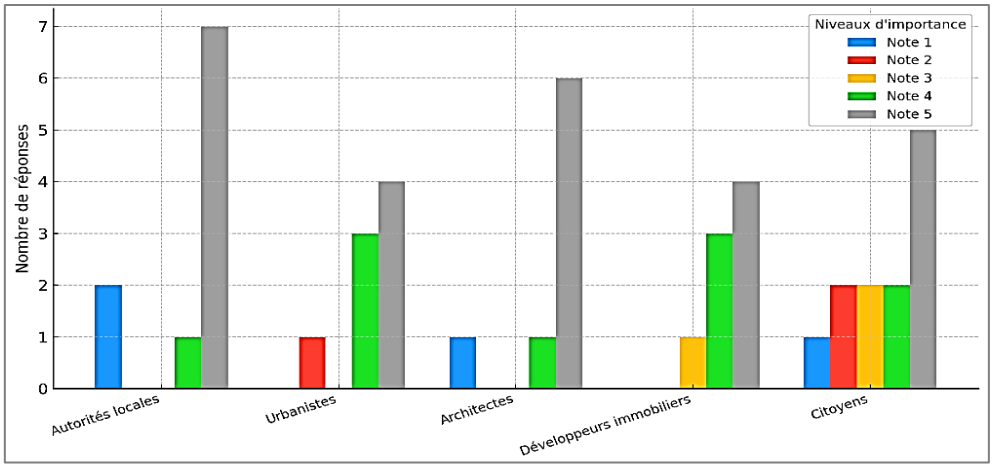



**Figure 175.** Degré d'implication des acteurs dans la mise en places des mesures

La **Figure 176** met également en évidence l'importance de la concertation entre ces acteurs, avec 92,3 % des participants la jugeant essentielle. Cette collaboration intersectorielle est perçue comme un pilier fondamental pour surmonter les barrières administratives, culturelles, et financières. Une meilleure coordination permettrait de maximiser l'impact des toits verts sur la durabilité urbaine tout en renforçant leur adoption.

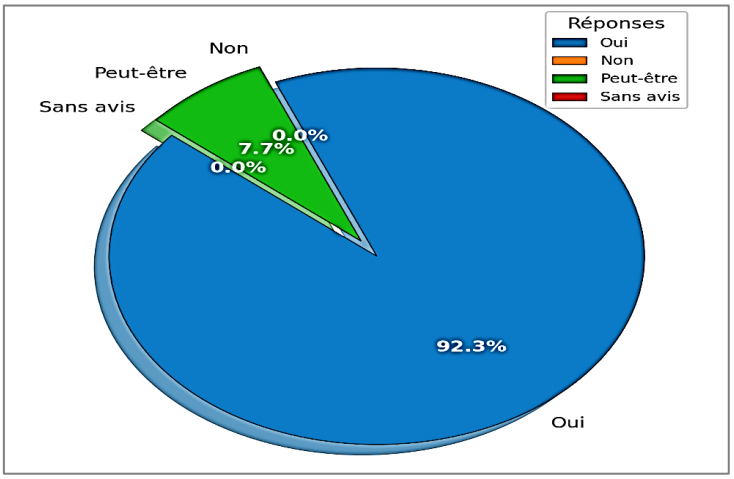



**Figure 176.**Importance de la concertation

- **Pour l' Amélioration de la concertation via des actions concrètes**

Les réponses illustré dans la **Figure 177** proposent des pistes concrètes pour renforcer la concertation entre les acteurs. L'organisation d'ateliers participatifs, la création de plateformes de communication en ligne, et le renforcement des partenariats public-privé sont les initiatives les plus soutenues par les répondants. Ces actions visent à instaurer un dialogue constructif et à favoriser l'émergence de solutions collaboratives.

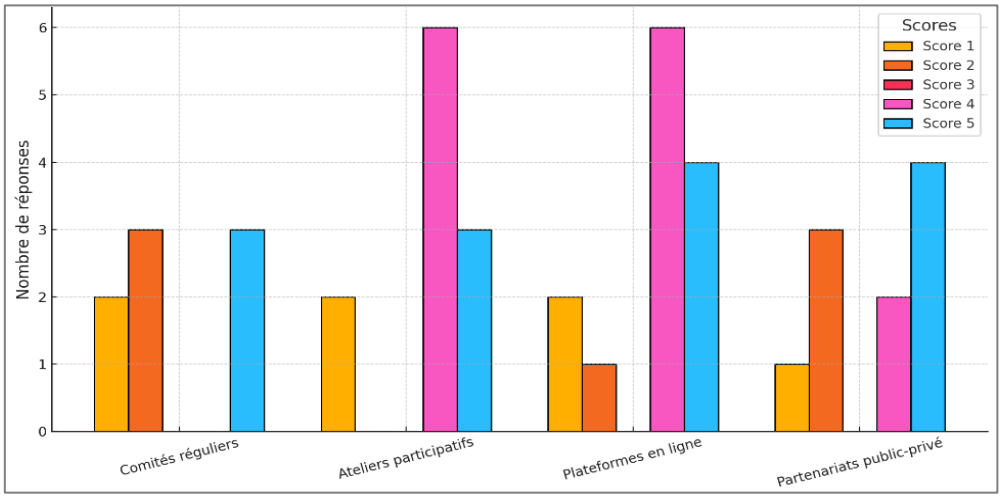



**Figure 177.**Orientations pour renforcement de la concertation

Par ailleurs, le lancement de projets pilotes, l'élaboration de directives claires, et la mise en place de mécanismes de suivi participatif apparaissent comme des étapes cruciales. Ces mesures permettraient d'instaurer un cadre de travail structuré et inclusif, tout en assurant une évaluation continue des résultats obtenus. À long terme, ces initiatives contribueront à faire des toits verts un levier central de la transition écologique dans les villes algériennes**.(Figure de 178 et 179)**

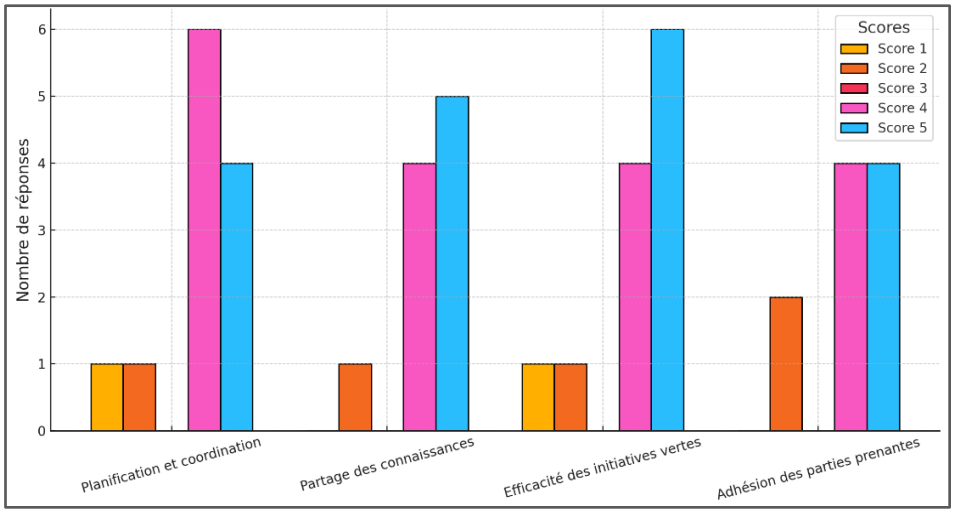



**Figure 178.** Évaluation des actions concrètes pour améliorer la concertation (1 = Pas efficace, 5 = Très efficace)

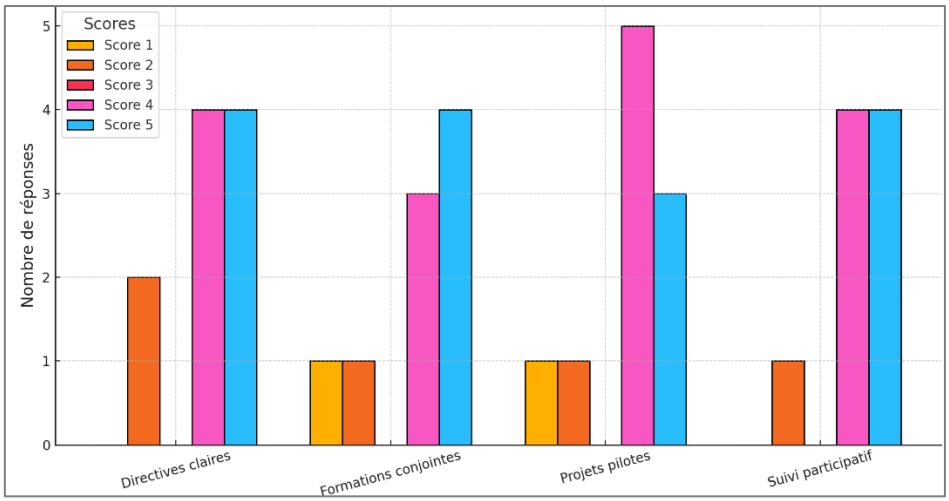



**Figure 179.**Les actions concrètes pour améliorer la concertation (1 = Pas efficace, 5 = Très efficace)

Les résultats révèlent un consensus autour du potentiel des toits verts pour répondre aux défis urbains contemporains. Cependant, leur mise en œuvre nécessite des efforts concertés, des cadres réglementaires adaptés, et une sensibilisation accrue des parties prenantes. En intégrant ces éléments, les toits verts pourraient devenir un modèle emblématique de durabilité urbaine, améliorant non seulement les performances environnementales des villes, mais aussi la qualité de vie de leurs habitants.

➢ **Discussion de la Perceptions et du Rôle de la Structure Verte dans les Projets d'Urbanisme et d'Aménagement**

- **Connaissance et Approche du Concept de Structure Verte**

Les résultats de l'enquête révèlent un consensus général quant à la compréhension du concept de structure verte. L'ensemble des répondants affirme en avoir une idée claire, mettant en évidence une forte sensibilisation des acteurs urbains (architectes, urbanistes, ingénieurs et spécialistes de l'environnement). Cette unanimité illustre l'ancrage du concept dans les pratiques d'aménagement durable et l'intérêt croissant pour des solutions intégrant les principes d'écologie urbaine. Deux idées majeures émergent des définitions fournies par les participants. D'une part, la structure verte est perçue comme un réseau contribuant à la durabilité urbaine, reliant divers espaces verts (parcs, corridors écologiques, toits végétalisés) afin d'améliorer la biodiversité, la gestion des eaux pluviales et la résilience face aux îlots de chaleur. D'autre part, elle est envisagée comme un levier pour l'écologie urbaine, favorisant la régulation climatique, la gestion durable des ressources naturelles et l'amélioration de la qualité de vie des habitants. Cependant, bien que cette connaissance soit théoriquement bien maîtrisée, une minorité des répondants indique une faible maîtrise des outils techniques et méthodologiques permettant une intégration effective des structures vertes dans les projets urbains. Ce constat souligne le besoin d'accompagnement et de formation pour transformer cette sensibilisation en actions concrètes.

- **Attitudes et Approches Relatives au Concept de Structure Verte**

L'intérêt des acteurs interrogés pour approfondir leur compréhension du concept est particulièrement marqué : 83,3 % des participants expriment un fort engagement à s'approprier ces notions et à les appliquer dans leurs pratiques professionnelles. Ce haut niveau d'intérêt constitue un levier essentiel pour promouvoir des actions éducatives ciblées. Seuls 16,7 % se déclarent simplement intéressés, ce qui témoigne d'une ouverture à l'apprentissage sans

engagement profond. Concernant les modalités d'apprentissage privilégiées, les formations présentielles (cours et ateliers pratiques) sont considérées comme les plus efficaces, soulignant le besoin d'une approche interactive et appliquée. Les séminaires sont également bien perçus, tandis que les formations en ligne suscitent des avis plus partagés, certains professionnels exprimant des réserves quant à leur aspect trop théorique ou leur manque d'interactivité. Parmi les contraintes freinant l'intégration des structures vertes, plusieurs défis sont identifiés. La marginalisation du sujet dans les priorités institutionnelles, l'absence d'un cadre réglementaire précis, ainsi que le manque de concertation entre les parties prenantes figurent parmi les obstacles majeurs. Ces résultats révèlent la nécessité d'un soutien institutionnel accru, de politiques publiques adaptées et de synergies interprofessionnelles pour surmonter ces freins.

- **Intégration des Structures Vertes dans les Projets d'Urbanisme**

L'intégration des structures vertes en amont des projets urbains reste un défi. Bien que 61,5 % des répondants déclarent réussir à inclure ces concepts dès la phase de planification, 38,5 % peinent à les intégrer, invoquant des barrières institutionnelles et organisationnelles. Cette disparité met en évidence un besoin d'accompagnement technique et réglementaire pour renforcer l'appropriation des structures vertes par les acteurs de l'urbanisme. Les modalités d'intégration varient : le respect des réglementations, l'élaboration de plans verts spécifiques et la consultation d'experts en écologie urbaine sont les approches les plus plébiscitées.

Cependant, l'application de certaines méthodes, comme la révélation du potentiel écologique d'un site dès le diagnostic ou la planification à différentes échelles, demeure limitée, traduisant un manque d'outils et de directives adaptées. Parmi les contraintes freinant cette intégration, le manque de concertation entre acteurs, la rareté du foncier et la priorité donnée aux projets de construction au détriment des espaces verts sont les plus fréquemment mentionnées. Ces résultats soulignent l'urgence d'un cadre réglementaire renforcé et de stratégies de concertation interdisciplinaire. Les résultats de l'enquête mettent en lumière une reconnaissance étendue du rôle des structures vertes dans l'aménagement urbain, soutenue par un intérêt manifeste pour leur approfondissement. Toutefois, plusieurs défis subsistent, notamment en matière de formation, de réglementation et d'intégration effective dans les projets urbains. Pour favoriser leur adoption, il est essentiel de structurer des programmes éducatifs adaptés, d'établir des cadres législatifs clairs et de promouvoir une coopération entre urbanistes, architectes et décideurs publics. Seule une approche intégrée et collaborative permettra d'exploiter pleinement le potentiel des structures vertes pour une ville durable et résiliente.

# Conclusion générale

## Conclusion

Cette thèse a analysé en profondeur le rôle des structures vertes dans la planification urbaine notamment celle durable, révélant leur nature essentielle au-delà de leurs fonctions esthétiques ou écologiques. Elles apparaissent comme des leviers stratégiques pour faire face à des défis complexes liés aux changements climatiques, à l'urbanisation rapide et à la dégradation continue des écosystèmes naturels. Par leur capacité à intégrer des dimensions environnementales, sociales, économiques et culturelles, les structures vertes jouent un rôle crucial dans la résilience des territoires, la qualité de vie des habitants, et la construction de villes durables.

À travers l'étude de cas de la ville d'Annaba avec ses spécificités géographiques, sociopolitiques et écologiques , cette recherche a démontré la diversité des fonctions des structures vertes : régulation thermique, préservation de la biodiversité, amélioration des conditions climatiques locales, gestion des risques naturels et création d'espaces de bien-être pour les citoyens. Annaba, caractérisée par sa dynamique urbaine complexe et ses défis environnementaux, a offert un cadre d'analyse idéal pour tester les hypothèses de cette thèse. Les résultats révèlent que, malgré leur richesse et leur potentiel, les structures vertes de cette ville demeurent sous-exploitées et sont souvent menacées par une gestion territoriale fragmentée, une urbanisation déséquilibrée et des choix politiques parfois incompatibles avec une vision de durabilité à long terme.

Les pertes considérables de forêts, d'espaces verts et de terres agricoles dans la région mettent en évidence un déséquilibre croissant entre urbanisation et conservation environnementale. Cette fragmentation des corridors écologiques et l'inégalité d'accès aux espaces verts créent des impacts mesurables non seulement sur la biodiversité, mais aussi sur la santé, le bien-être social et les services écosystémiques offerts à la population. Ces constats soulignent la nécessité de repenser les politiques d'aménagement urbain pour réintégrer ces infrastructures naturelles dans une stratégie cohérente de développement.

D'un point de vue méthodologique, cette recherche a adopté une approche innovante, combinant des outils modernes comme les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et la télédétection pour analyser les dynamiques territoriales et les transformations de l'environnement urbain. Ces techniques ont permis d'obtenir une évaluation précise et empirique des impacts de l'urbanisation sur les trames vertes, offrant ainsi une base robuste pour identifier des solutions adaptées. En outre, la méthodologie développée dans cette thèse peut être répliquée dans d'autres contextes urbains, ouvrant des perspectives pour des comparaisons internationales qui enrichiraient encore davantage le corpus de connaissances.

Cette recherche dépasse également les frontières strictement scientifiques en proposant des recommandations pratiques et applicables pour orienter les politiques publiques et les stratégies d'urbanisme durable. Ces recommandations s'articulent autour de la création, de la préservation et de l'expansion des structures vertes, avec une attention particulière portée à leur intégration dès les premières étapes de la planification urbaine. En mettant l'accent sur l'inclusion sociale, l'équité environnementale et la participation citoyenne, ce travail démontre que les structures vertes ne sont pas seulement des infrastructures physiques, mais aussi des catalyseurs pour renforcer la cohésion sociale et la gouvernance urbaine.

Enfin, cette thèse propose une vision globale et intégrée de l'urbanisme écologique, où les structures vertes sont reconnues comme des infrastructures prioritaires, au même titre que les réseaux de transport ou les systèmes d'approvisionnement en énergie. Elle met en avant l'importance de stratégies intersectorielles pour maximiser les bénéfices écologiques, économiques et sociaux des espaces verts, tout en garantissant leur pérennité face aux pressions anthropiques et climatiques. Ce travail constitue ainsi une contribution scientifique, méthodologique et pratique significative, en fournissant des outils et des connaissances qui répondent non seulement aux défis actuels, mais aussi aux besoins des générations futures.

Cette recherche appelle à une mobilisation collective pour transformer nos pratiques de gestion urbaine et pour intégrer pleinement les structures vertes comme piliers d'une transition écologique et sociale réussie. En ce sens, cette thèse ne se limite pas à un apport académique : elle constitue une invitation à repenser la ville et ses infrastructures pour construire un avenir résilient, équitable et durable.

## Perspectives et Recommandations

Les conclusions issues de cette thèse ouvrent des perspectives enrichissantes et des opportunités stratégiques, tant pour approfondir la recherche que pour orienter les pratiques et politiques en matière d'urbanisme durable.

- **Perspectives de recherche**

Une direction prometteuse pour les recherches futures réside dans le développement de nouveaux indicateurs de performance, permettant de mieux quantifier les bénéfices socio-écologiques des structures vertes. L'intégration de ces dimensions dans les analyses enrichirait notre compréhension des interactions complexes entre les structures vertes et le cadre de vie urbain.

En outre, les avancées technologiques dans l'intelligence artificielle (IA) et le big data représentent des outils puissants pour optimiser la gestion et la planification des structures vertes. Ces technologies pourraient être utilisées pour modéliser différents scénarios urbains, prédire les impacts des expansions urbaines sur la biodiversité et simuler l'efficacité des corridors écologiques. Par exemple, les modèles d'apprentissage automatique pourraient anticiper les besoins en infrastructures vertes pour équilibrer croissance urbaine et préservation des écosystèmes.

La méthodologie développée dans cette thèse pourrait également être appliquée à d'autres contextes géographiques. En particulier, l'adaptation de ces analyses à des villes méditerranéennes aux caractéristiques similaires à Annaba permettrait d'évaluer la robustesse des résultats obtenus et d'élargir leur portée scientifique. Une telle approche comparative fournirait des connaissances plus universelles sur les interactions entre les structures vertes, les dynamiques urbaines et les pressions environnementales.

Enfin, une recherche interdisciplinaire combinant urbanisme, écologie, sociologie et économie offrirait une vision globale de la valeur des structures vertes dans le développement urbain durable. Une collaboration avec des experts en santé publique, climatologie et gouvernance pourrait générer des solutions intégrées et innovantes.

- **Recommandations stratégiques pour l'intégration des structures vertes en milieu urbain et suburbain**

Pour transformer les conclusions de cette thèse en actions concrètes et pertinentes, plusieurs recommandations stratégiques sont formulées, visant à promouvoir une gestion innovante et durable des structures vertes dans les espaces urbains. Ces recommandations s'adressent aux décideurs politiques, chercheurs, urbanistes, et à l'ensemble des acteurs impliqués dans l'aménagement territorial.

➢ **Renforcement des politiques publiques et de la gouvernance environnementale**

- **Intégration précoce et obligatoire :** Les trames vertes et bleues doivent être considérées comme des infrastructures essentielles et non optionnelles, et intégrées dès les premières phases de la planification urbaine. Cette reconnaissance doit être inscrite dans les cadres stratégiques des plans d'aménagement locaux et régionaux afin de garantir une protection efficace et une expansion durable des espaces verts.

- **Gouvernance anticipative et approche multi-niveaux :** La collaboration entre les différents niveaux de gouvernance (local, national et régional) doit être renforcée pour assurer une mise en œuvre harmonieuse et équilibrée. Une approche intersectorielle, impliquant les institutions locales et nationales ainsi que des secteurs tels que l'urbanisme, l'environnement et les transports, permettrait de maximiser la cohérence et l'impact des actions.
- **Création d'unités spécialisées :** Des comités spécifiques devraient être créés au sein des municipalités pour superviser l'implémentation et le suivi des projets liés aux trames vertes. Ces unités permettraient une gestion ciblée et efficace, garantissant ainsi que les objectifs fixés soient atteints dans les délais impartis.

➢ **Renforcement de la sensibilisation et de l'éducation environnementale**

- **Programmes adaptés aux publics cibles :** Conçus pour sensibiliser différents groupes sociaux, des programmes doivent aborder les avantages écologiques, économiques et sociaux des espaces verts. Ces programmes peuvent inclure des ateliers interactifs, des conférences et des expositions.
- **Soutien aux initiatives locales :** Les initiatives communautaires doivent être encouragées et soutenues financièrement par des subventions publiques, des partenariats ou des mécénats.
- **Projets éducatifs immersifs :** Création de parcours pédagogiques dans les parcs et jardins pour enseigner les éléments de la biodiversité et des écosystèmes urbains.

➢ **Renforcement des cadres législatifs et réglementaires**

- **Règlementation contraignante et préservation des espaces verts :** Il est indispensable de définir des obligations légales claires pour les promoteurs immobiliers concernant l'inclusion d'espaces verts dans leurs projets. Ces lois doivent également garantir non seulement la préservation des espaces verts existants, mais aussi leur expansion par des objectifs précis intégrés dans les plans d'urbanisme.

- **Audits environnementaux systématiques :** Introduire des audits réguliers pour vérifier la conformité des nouveaux développements urbains avec les objectifs écologiques locaux et nationaux, en s'assurant qu'ils respectent les normes en matière de trames vertes.
- **Harmonisation et incitations fiscales :** Les plans d'urbanisme locaux doivent être alignés avec les politiques nationales de développement durable pour éviter les incohérences. Des incitations fiscales et des subventions devraient être mises en place pour encourager les projets respectueux de l'environnement.

➢ **Stratégies de financement innovantes**

- **Fonds dédiés aux infrastructures vertes** : Créer des fonds d'investissement public spécifiquement destinés au financement des trames vertes et bleues, garantissant ainsi un financement stable et permanent.
- **Partenariats public-privé** : Ces partenariats constituent une solution efficace pour mobiliser des ressources financières et techniques. Ils permettent également de favoriser l'expérimentation à travers des projets pilotes qui peuvent servir de modèles pour d'autres villes.
- **Incitations pour le secteur privé** : Proposer des avantages fiscaux aux entreprises qui adoptent des solutions vertes dans leurs installations ou projets, contribuant ainsi à une responsabilité environnementale partagée.
- **Exploration des mécanismes internationaux** : Tirer parti des programmes de financement internationaux pour les villes durables, comme les subventions des Nations Unies, les crédits verts ou les mécanismes de financement basés sur les crédits carbone. Ces outils offrent des opportunités financières importantes pour soutenir des initiatives ambitieuses.

➢ **Conservation proactive des écosystèmes**

- **Création de zones tampons et mise en place de zones de protection :** Identifier et protéger légalement des zones à haute valeur écologique. Ces zones tampons, situées aux abords des espaces naturels sensibles, permettent de prévenir les dégradations dues aux activités humaines et d'atténuer les impacts des pressions anthropiques.
- **Restauration des écosystèmes dégradés :** Établir des programmes de restauration écologique ciblant les écosystèmes urbains endommagés. Ces initiatives doivent inclure la réintroduction d'espèces endémiques, la plantation d'arbres et la réhabilitation des sols.
- **Cartographie dynamique et surveillance adaptative :** Utiliser les outils de télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) pour surveiller en temps réel l'état des écosystèmes urbains. Ces données permettent de développer des mesures adaptatives basées sur l'évolution des conditions environnementales.
- **Participation communautaire et implication citoyenne :** Impliquer activement les citoyens dans les programmes de conservation par le biais d'initiatives telles que les projets de reboisement, les jardins partagés ou la restauration de cours d'eau. Cette participation renforce le lien social et favorise un sentiment de responsabilité collective envers l'environnement.

- **Renforcement des corridors écologiques :** Connecter les espaces verts à l'aide de corridors écologiques pour faciliter le déplacement des espèces et maintenir la biodiversité dans les zones urbaines. Ces corridors contribuent à restaurer la connectivité écologique et à réduire les effets de la fragmentation des habitats.

➢ **Innovation participative et implication citoyenne**

- **Outils technologiques et applications mobiles :** Développer des plateformes numériques et des applications mobiles permettant aux citoyens de signaler des besoins, de rapporter des problèmes ou de proposer des idées pour l'aménagement et la gestion des espaces verts.

- **Projets communautaires et jardins partagés :** Encourager l'implication citoyenne à travers des projets collaboratifs, tels que la gestion des jardins communautaires, les initiatives de plantation ou les programmes de reforestation urbaine. Ces actions renforcent le sentiment d'appartenance et de responsabilité partagée.

- **Engagement intergénérationnel :** Créer des activités inclusives pour toutes les tranches d'âge afin de favoriser la transmission des valeurs environnementales. Des ateliers intergénérationnels peuvent être organisés pour sensibiliser les jeunes tout en mobilisant les personnes âgées.

- **Renforcement du lien social et de la cohésion communautaire :** Mettre en place des événements participatifs, comme des "journées de l'arbre", pour unir les communautés autour d'objectifs environnementaux communs.

Cette recherche appelle à une mobilisation collective pour réinventer la gestion et l'aménagement des villes à travers une intégration cohérente et stratégique des structures vertes. En alliant les avancées technologiques, les politiques publiques ambitieuses et des approches participatives, il est possible de transformer ces espaces en piliers de la résilience urbaine, de la cohésion sociale et de la durabilité environnementale.

Les recommandations présentées dans cette thèse visent à transcender le cadre purement académique pour offrir des solutions concrètes et adaptées aux enjeux urbains contemporains. Elles invitent à une refonte globale des approches d'aménagement, basée sur une vision à long terme, participative et intégrée. En combinant innovation, gouvernance et mobilisation citoyenne, les trames vertes peuvent devenir des solutions durables, équitables et inclusives pour les générations présentes et futures. Ces recommandations tracent une voie vers un avenir où les villes ne seront pas seulement des centres d'activités humaines, mais aussi des modèles d'harmonie entre nature et société.

# BIBLIOGRAPHIE

# BIBLIOGRAPHIE

**Accorsi, F. (2010**). *L'îlot ouvert de Christian de Portzamparc*. Bruxelles : Archives d'Architecture Moderne.

**Agence d'Urbanisme et d'Aménagement Toulouse aire métropolitaine (AUA/T). (2019).** Décliner la trame verte et bleue dans les projets d'aménagement. Perspectives Villes – Environnement. Toulouse, France.

**Ahern, J. (2007).** Green infrastructure for cities: The spatial dimension. *In* V. Novotny & P. Brown (Eds.), *Cities of the future: Towards integrated sustainable water and landscape management* (pp. 267–283). IWA Publishing. https://people.umass.edu/jfa/pdf/Chapter17_Ahern2%20copy.pdf

**Ahern, J. (2011).** From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. Landscape and Urban Planning, 100(4), 341–343. https://www.academia.edu/download/106068566/13617170.pdf

**Ahern, J. (2013).** Urban landscape sustainability and resilience: the promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design. Landscape ecology, 28, 1203-1212. https://doi.org/10.1007/s10980-012-9799-z

**Agence Parisienne du Climat,(2021**), changement climatique et adaptation https://www.apc-paris.com/app/uploads/2023/11/brochurechangementclimatiqueetadaptationsurleperimetredelamgp-vf.pdf

**Agence Parisienne du Climat,(2023**), changement climatique et adaptation https://www.apc-paris.com/app/uploads/2023/11/brochurechangementclimatiqueetadaptationsurleperimetredelamgp-vf.pdf

**Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001**). Cool Surfaces and Shade Trees to Reduce Energy Use and Improve Air Quality in Urban Areas. Solar Energy, 70(3), 295-310. https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X

**Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014).** Molecular Biology of the Cell (6e éd.). Garland Science. (p. 127-135).

**Allen, E., & Iano, J. (2019).** Fundamentals of building construction: materials and methods. John Wiley & Sons.

**Alphandéry, P., & Fortier, A. (2012).** La trame verte et bleue et ses réseaux : Science, acteurs et territoires. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, 12*(2). https://doi.org/10.4000/vertigo.12453

**Anderson, S. T., & West, S. E. (2006).** Open space, residential property values, and spatial context. Regional Science and Urban Economics, 36(6), 773–789. https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2006.03.007

**Anguelovski, I., Connolly, J. J. T., Masip, L., & Pearsall, H. (2018).** *From landscapes of utopia to the margins of the green urban life: For whom is the new green city?* **City, 22**(3), 417-436. https://doi.org/10.1080/13604813.2018.1473126.

**APUR. (2005).** Réaliser de nouveaux jardins : Comment végétaliser Paris. Atelier Parisien d'Urbanisme. https://www.apur.org/sites/default/files/documents/195.pdf.

**APUR. (2023).** Diagnostic du PLU bioclimatique de Paris. Atelier Parisien d'Urbanisme. https://www.apur.org/fr/nos-travaux/diagnostic-plu-bioclimatique-paris

**Ardila-Gómez, A. (2004).** Transit planning in Curitiba and Bogotá. Roles in interaction, risk, and change. Unpublished Ph. D. dissertation, Massachusetts Institute of Technology.

https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=f504bbdfec92418c2d2bed30c0b384e3e78db441

**Arantes, L., Marry, S., Baverel, O., & Quenard, D. (2016).** Efficacité énergétique et formes urbaines : élaboration d'un outil d'optimisation morpho-énergétique. *Cybergeo: European Journal of Geography*, *(777)*. https://doi.org/10.4000/cybergeo.27584

**Aristote. (1953).** Métaphysique (J. Tricot, Trad.). Paris : Vrin. ( Oeuvre originale publiée en Antiqué)

**Arnfield, A. J. (2003).** Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. International Journal of Climatology, 23(1), 1-26. https://doi.org/10.1002/joc.859

**Arnstein, S. R. (1969).** A Ladder of Citizen Participation. Journal of the American Institute of Planners, 35(4), 216-224.

**Arrif, T., Blanc, N., & Clergeau, P. (2011).** Trame verte urbaine, un rapport nature–urbain entre géographie et écologie. *Cybergeo: European Journal of Geography*. https://doi.org/10.4000/cybergeo.24862

**Barthes, R. (1964).** Éléments de sémiologie. Paris: Éditions du Seuil.

**Bass, B., & Baskaran, B. (2003).** Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban areas. National Research Council Canada, Report NRCC-46737.

**Beatley, T. (2011).** Biophilic Cities: Integrating Nature into Urban Design and Planning. Washington, DC: Island Press.

**Bell, S., Hamilton, V., Montarzino, A., Rothnie, H., Travlou, P., & Alves, S. (2008).** Greenspace and quality of life: A critical literature review. Greenspace Scotland. https://www.researchgate.net/publication/286782973_Greenspace_and_quality_of_life_A_critical_reviewBowler et al., 2010.

**Beltrame, C., Perennou, C., & Guelmami, A. (2015).** Évolution de l'occupation du sol dans les zones humides littorales du Bassin méditerranéen de 1975 à 2005. Méditerranée. Revue géographique des pays méditerranéens/Journal of Mediterranean geography, (125), 97-111. https://journals.openedition.org/mediterranee/8046

**Benmechiche, M., Bennacer, L., & Laouar, K. (2022**). Espaces verts et cohésion sociale / Green spaces and social cohesion. Revue des Sciences Humaines, 09(03), 418. Université Oum El Bouaghi. https://www.researchgate.net/publication/370954085_Espaces_verts_et_cohesion_sociale_Green_spaces_and_social_cohesion_Espaces_verts_Benmechiche_MeriemBennacer_Leila_Kassah_Laouar_Ines

**Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2012).** Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. Island Press..

**BENZERARA A., (2019),** "Method for assessing the urban comfort of use in the public squares in Annaba -Algeria-", International Conference, Department of Architecture at Hamdullah Emin Pasha University, Alanya, Turkey . https://journal.iccaua.com/index.php/jiccaua/article/view/364, https://doi.org/10.38027/ICCAUA20190022

**BENZERARA A., (2022)**. Du confort urbain au développement urbain qualitatif. Cas des espaces publics à Annaba . Thèse de doctorat en science, Université Badji Mokhtar Annaba. https://dspace.univ-annaba.dz/items/facb22f2-1fb2-4f24-b176-0f924d7b7667

**Berardi, U. (2016).** The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits. *Energy and Buildings, 121*, 217–229. https://www.academia.edu/download/44109271/1-s2.0-S037877881630158X-main.pdf

**Bergerot, B., Fontaine, B., Julliard, R., & Baguette, M. (2011).** Landscape variables impact the structure and composition of butterfly assemblages along an urbanization gradient. Landscape Ecology, 26, 83-94. https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-010-9537-3

**Bertolini, L., & Spit, T. (1998).** Cities on rails: The redevelopment of railway station areas. E & FN Spon.

**Bertrand, F., & Simonet, G. (2012).** Les trames vertes urbaines et l'adaptation au changement climatique : Perspectives pour l'aménagement du territoire. *VertigO - La revue électronique en sciences de l'environnement*, *(Hors-série 12)*. https://doi.org/10.4000/vertigo.11869

**Bloomfield, L. (1933).** Language. New York: Holt, Rinehart & Winston.

**Böhringer, C., & Jochem, P. E. (2007).** Measuring the immeasurable—A survey of sustainability indices. Ecological economics, 63(1), 1-8. https://mpra.ub.uni-muenchen.de/91562/1/MPRA_paper_91562.pdf, https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.008

**Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999).** Ecosystem Services in Urban Areas. Ecological Economics, 29(2), 293-301. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0

**Bonnefoy, B., & Léger, L. (2020).** Ressourcer son attention au contact de la nature. Sciences et bonheur, 5, 102–116. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-04277272

**Bouhelouf, Y., Hadjiedj, A., & Dubois-Maury, J. (2019).** Potentialités et projet d'attractivité du territoire de la ville de Jijel (Algérie). Bulletin de l'association de géographes français, 96(1). Publié en ligne le 15 mai 2020. Consulté le 15 octobre 2024. URL : http://journals.openedition.org/bagf/4686; DOI : https://doi.org/10.4000/bagf.4686

**Bouiron, M., Paone, F., Sillano, B., Castrucci, C., & Scherrer, N. (eds.). (2011).** Fouilles à Marseille : la ville médiévale et moderne (1–). Publications du Centre Camille Jullian, Éditions Errance. https://doi.org/10.4000/books.pccj.879

**Boulton, A., Brunn, S. D., & Devriendt, L. (2011).** Cyberinfrastructures and "smart" world cities: Physical, human, and soft infrastructures. *Habitat International*, 35(3), 517-525. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2010.12.002

**Bousmaha, A., & Boulkaibet, A. (2019).** Planification foncière et espaces agricoles périurbains en Algérie. Développement Durable et Territoires, Vol. 10, n°3. https://doi.org/10.4000/developpementdurable.16002

**Bowler, D. E., Buyung-Ali, L. M., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010).** A systematic review of evidence for the added benefits to health of exposure to natural environments. BMC Public Health, 10(1), 456. http://dx.doi.org/10.1186/1471 2458-10-456.

**Bratman, G. N., Hamilton, J. P., & Daily, G. C. (2019).** The impacts of nature experience on human cognitive function and mental health. Annals of the New York Academy of Sciences, 1437(1), 5-20. https://doi.org/10.1111/nyas.13921

**Brown, K., & Miller, J. (2013).** The Cambridge Dictionary of Linguistics. Cambridge University Press.

**Brown, R. D., & Gillespie, T. J. (1995).** Microclimatic Landscape Design: Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency. John Wiley & Sons.

**Brundtland, G. H. (1987).** *Our common future: The World Commission on Environment and Development.* https://docenti.unimc.it/elena.borin/teaching/2019/21812/files/lessons-and-recommended-readings-1/Our%20Common%20future%201987.pdf

**Bryman, A. (2016).** Social Research Methods. Oxford University Press. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=N2zQCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Bryman,+A.+(2016).+Social+Research+Methods.+Oxford+University+Press.&ots=dqKzGPO4wl&sig=I2AI5_-9tQ0zI_vbaYGoy8lHZ5k

**Buehler, R., & Pucher, J. (2011).** Transports durables à Fribourg : les leçons de la capitale environnementale allemande. Revue internationale des transports durables , 5 (1), 43-70. https://www.researchgate.net/profile/Ralph-

Buehler/publication/228675356_Sustainable_Transport_in_Freiburg_Lessons_from_Germany%27s_Environmental_Capital/links/0fcfd50c0b88b4f7df000000/Sustainable-Transport-in-Freiburg-Lessons-from-Germanys-Environmental-Capital.pdf

**Bulkeley, H., Castán Broto, V., & Edwards, G. A. S. (2014).** An Urban Politics of Climate Change: Experimentation and the Governing of Socio-Technical Transitions. Routledge.

**Buller, H. (2012).** Biodiversity conservation and the Grenelle Environnement. Environmental Policy and Governance, 22(5), 322–331. https://doi.org/10.1002/eet.1594.

**Bulteau, J. (2009).** La mobilité durable en zone urbaine : efficacité et perspectives des politiques d'environnement (Thèse de doctorat en Économie et finances). Université de Nantes. https://theses.hal.science/tel-00589001

**Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (2015).** *Principles of geographical information systems* (2nd ed.). Oxford University Press.

**Bussmann, H. (1996).** The Routledge Dictionary of Language and Linguistics. Routledge.

**C40 Cities. (2018).** The role of nature-based solutions in urban resilience: Case study of Bishan-Ang Mo Kio park, Singapore. C40 Cities Climate Leadership Group. Retrieved from https://www.c40.org

**Camagni, R., & Capello, R. (2009).** Territorial capital and regional competitiveness: Theoryand evidence. *Studies in Regional Science, 39*(1), 19–39. https://doi.org/10.2457/srs.39.19

**Campbell, J. B. (2011).** *Introduction to Remote Sensing* (5th ed.). Guilford Press.

**Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011).** *Introduction to Remote Sensing* (5th ed.). Guilford Press.

**Cantuarias-Villessuzanne, C., Touzard, J. M., & Ruf, T. (2021).** Urban green infrastructure and resilience to heat waves: A review of benefits and challenges for urban planning. Urban Forestry & Urban Greening, 59, 126927. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.126927

**Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011).** Smart cities in Europe. Journal of urban technology, 18(2), 65-82. https://research.vu.nl/files/2474218/20090048.pdf.

**CARRIÈRE, S., & Méral, P. (2008).** Corridors: la nécessité d'une réflexion. Entre l'homme et la nature, une démarche pour des relations durables, Paris, UNESCO, Réserves de Biosphère, Notes Techniques, 3, 58-60. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-10/010048816.pdf

**Carter, T., & Fowler, L. (2008).** Establishing green roof infrastructure through environmental policy instruments. Environmental Management, 42(1), 151-164. https://doi.org/10.1007/s00267-008-9095-5

**Carter, T., & Keeler, A. (2008).** Life-cycle cost–benefit analysis of extensive vegetated roof systems. Journal of Environmental Management, 87(3), 350–363.

**Cerdà, I. (1867).** Teoría General de la Urbanización. Madrid: Imprenta Española.

**Cerema. (2018).** Formes urbaines et adaptation au changement climatique : des arguments pour agir en faveur du climat, de l'air et de l'énergie. Disponible sur : https://www.cerema.fr/system/files/documents/2018/11/formes_urbaines.pdf

**Chadwick, E. (1842).** Report on the Sanitary Condition of the Labouring Population of Great Britain. Her Majesty's Stationery Office.

**Chang, K.-T. (2008).** Introduction to Geographic Information Systems (5th ed.). McGraw-Hill.

**Chaurand, J. (2017).** La cohérence interterritoriale des projets de continuités écologiques. L'exemple de la politique Trame verte et bleue en France (Thèse de doctorat, AgroParisTech). Montpellier : AgroParisTech. https://agritrop.cirad.fr/587593/1/171114_These_Julie_V8.pdf

**Chaurand, J., Bigard, C., Vanpeene-Bruhier, S., & Thompson, J. D. (2019).** Articuler la politique Trame verte et bleue et la séquence Éviter-réduire-compenser : complémentarités et limites pour une préservation efficace de la biodiversité en France. VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, 19(1).

**Cherenack, K., & van Pieterson, L. (2012).** Smart textiles: Challenges and opportunities. Journal of Applied Physics, 112(9), 091301.

**Chiesura, A. (2004).** The role of urban parks for the sustainable city. Landscape and Urban Planning, 68(1), 129–138. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.003

**Choay, F. (1965).** L'urbanisme : Utopies et réalités. Éditions du Seuil.

Choay, F. (1999). La ville : Art et architecture en Europe, 1400-1600. Éditions du Seuil

Choay, F. (1960). Le Corbusier. George Braziller.

**Chomsky, N. (1965).** Aspects of the Theory of Syntax. MIT Press.

**Chouari, W., & Belarem, M. (2017).** Enjeux de la Tunisie orientale : un territoire développé et un environnement à protéger. Confins, (30). Publié en ligne le 18 février 2017. Consulté le 25 novembre 2024, sur http://journals.openedition.org/confins/11701. https://doi.org/10.4000/confins.11701

**Choumert, J. (2009).** Analyse économique d'un bien public local: les espaces verts (Doctoral dissertation, Université d'Angers).

**Clavel-Lévêque, M., & Lévêque, P. (1984).** Villes et structures urbaines dans l'Occident romain (Vol. 288, No. 1). Persée - Portail des revues scientifiques en SHS. Récupéré de https://www.persee.fr/doc/ista_0000-0000_1984_mon_288_1_3394

**Clavier, F., Follain, Y., & Marzloff, L. (2021).** Pratiques et perceptions quotidiennes de la nature à Singapour. Revue Sur-Mesure. https://www.revuesurmesure.fr/contributions/pratiques-et-perceptions-quotidiennes-de-la-nature-a-singapour

**Cohen, D. A., Marsh, T., Williamson, S., Golinelli, D., & McKenzie, T. L. (2012).** Impact and cost-effectiveness of family Fitness Zones: A natural experiment in urban public parks. Health & Place, 18(1), 39–45. https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2011.09.008

**Cohen, J.-L. (1992).** Le Corbusier and the Mystique of the USSR: Theories and Projects for Moscow, 1928-1936. Princeton Architectural Press.

**Colding, J., Lundberg, J., & Folke, C. (2006)**. Incorporating green-area user groups in urban ecosystem management. AMBIO: A Journal of the Human Environment, 35(5), 237-244. https://doi.org/10.1579/05-A-098R.1

**Colombert, M., & Boudes, P. (2012).** Adaptation aux changements climatiques en milieu urbain et approche globale des trames vertes. Propos introductifs. VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement, (Hors-série 12). https://doi.org/10.4000/vertigo.11821

**Consalès, J.-N., Goiffon, M., & Barthélémy, C. (2012).** Entre aménagement du paysage et ménagement de la nature à Marseille: la trame verte à l'épreuve du local. Développement durable et territoires, 3(2). https://doi.org/10.4000/developpementdurable.9268

**Cormier, L. (2015).** Les urbanistes et l'approche écologique de la nature en ville: une conciliation possible?. Innovations agronomiques. https://hal.science/hal-01597268/file/Les%20urbanistes%20et%20l%E2%80%99approche%20%C3%A9cologique%20de%20la%20nature%20en%20ville.pdf

**COST Action C11. (2005).** Green Structure and Urban Planning. European Cooperation in Science and Technology (COST). Disponible sur : https://www.cost.eu/publication/green-structure-and-urban-planning-final-report.

**Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., ... & Turner, R. K. (2014).** Changes in the global value of ecosystem services. Global environmental change, 26, 152-158. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002

**Crompton, J. L. (2001).** The impact of parks on property values: A review of the empirical evidence. Journal of Leisure Research, 33(1), 1–31. https://doi.org/10.1080/00222216.2001.11949928

**Daily, G. C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P. M., Mooney, H. A., Pejchar, L., ... & Shallenberger, R. (2009).** Ecosystem services in decision making: time to deliver. Frontiers in Ecology and the Environment, 7(1), 21-28. https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1890/080025

**Diédhiou, I., Mering, C., Sy, O., & Sané, T. (2020).** Cartographier par télédétection l'occupation du sol et ses changements. EchoGéo, 54. https://doi.org/10.4000/echogeo.20510.

**Deschamps, A. (2020).** L'appropriation par les habitants des dispositifs de végétalisation urbaine participative à Lyon: quelles inégalités socio-spatiales?. Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie, 11(3). https://doi.org/10.4000/developpementdurable.18012

**Dearborn, DC, & Kark, S. (2010).** Motivations pour la conservation de la biodiversité urbaine. Conservation biology , 24 (2), 432-440. https://www.bates.edu/dearborn-lab/files/2022/02/2010ConBio-Dearborn-Kark.pdf

**Dictionnaire médical.** https://www.dictionnaire-medical.fr/definitions/027-bien-etre

**Diener, E. (2000).** Subjective well-being: The science of happiness and a proposal for a national index. American Psychologist, 55(1), 34-43. https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0003066X.55.1.34

**Diener, E. (2006).** Guidelines for national indicators of subjective well-being and ill-being. Applied research in quality of life, 1(2), 151-157. https://doi.org/10.1007/s11482-006-9007-x

**Diener, E. Assessing subjective well-being: Progress and opportunities.** Soc Indic Res 31, 103–157 (1994). https://doi.org/10.1007/BF01207052

**Diener, E., Oishi, S., & Lucas, R. E. (2003).** Personality, culture, and subjective well-being: Emotional and cognitive evaluations of life. Annual review of psychology, 54(1), 403-425. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.54.101601.145056

**Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC). (2020).** Lutte contre les nuisances sonores en milieu urbain. Ministère de la Transition Écologique. Disponible sur : https://www.ecologie.gouv.fr

**Dorier, É., & Dario, J. (2018).** Les espaces résidentiels fermés à Marseille, la fragmentation urbaine devient-elle une norme ?. L'Espace géographique, 47(4), 323-345. Disponible sur https://urbanicites.hypotheses.org/files/2019/02/2018_DORIER_DARIO_ESPACE_GEO_erratum.pdf.

**Dorier, É., Berry-Chikhaoui, I., & Bridier, S. (2012).** Fermeture résidentielle et politiques urbaines : le cas marseillais. Articulo - Journal of Urban Research, (8). Disponible sur https://journals.openedition.org/articulo/1973.

**Douglas, M. (1986).** How Institutions Think. Syracuse University Press.

**Dueymes, A. (2022).** *Pré-étude R&D d'une méthodologie de planification de trame verte urbaine adaptée aux petites collectivités* [Mémoire de recherche, Sciences du Vivant]. https://hal.science/dumas-03538071

**Dupuy, G. (2005).** Réseaux et urbanisme : l'évolution d'une relation à double sens. Shifting Sense in Spatial Planning , 125-129.https://repository.tudelft.nl/file/File_575e7025-261c-4dd5-b05c-d22085a0f827#page=125

**Durand, C., & Keucheyan, R. (2024).** Comment bifurquer : les principes de la planification écologique. Paris : Zones.

**Eberstadt, R., Möhring, B., & Petersen, R. (1910).** Groß-Berlin. Ein Programm für die Planung der neuzeitlichen Großstadt. Berlin.

**EBRAHIMZADEH, I., SHAHRAKI, A. A., SHAHNAZ, A. A., & MANOUCHEHRI MYANDOAB, A. (2016).** Progressing urban development and life quality simultaneously. City, Culture and Society, X(X), 1-8. Istanbul, Turkey.

**Eisenman, TS (2013).** Frederick Law Olmsted, Infrastructures vertes et ville en évolution. Journal of Planning History , 12 (4), 287-311. https://doi.org/10.1177/1538513212474227

Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., McDonald, R. I., ... & Wilkinson, C. (2013). Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities: a global assessment (p. 755). Springer Nature. https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/28058/1/2013_Book_UrbanizationBiodiversityAndEco.pdf

**Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S. N., van der Ploeg, S., Aronson, J., Blignaut, J. N., Gómez-Baggethun, E., Nowak, D. J., Kronenberg, J., & de Groot, R. (2015).** Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. Current Opinion in Environmental Sustainability, 14, 101-108.

**Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., McDonald, R. I., ... & Wilkinson, C. (2013).** Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities: a global assessment (p. 755). Springer Nature. https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/28058/1/2013_Book_UrbanizationBiodiversityAndEco.pdf

**Engels, F. (1845).** The Condition of the Working Class in England. Otto Wigand.

**EPI (Environmental Performance Index),2024.** Overall EPI scores for 180 countries, combining data on 58 performance indicators. https://epi.yale.edu/

**Ernston, H., Barthel, S., Andersson, E., & Borgström, S. T. (2010).** Scale-crossing brokers and network governance of urban ecosystem services: The case of Stockholm. *Ecology and Society, 15*(4), 28. https://pdfs.semanticscholar.org/956d/712a8f15120c591f69f88c7c2dd2d35507e6.pdf

**Arnstein, S. R. (1969).** A Ladder of Citizen Participation. Journal of the American Institute of Planners, 35(4), 216-224.

**Esri. (2023).** What is GIS? Esri. https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview

**European Space Agency (ESA). (2023).** What is remote sensing? ESA Earth Observation. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/What_is_remote_sensing

**Fall, A. (2024).** Analyse de la croissance spatiale de la commune de Kaffrine (Sénégal) de 1960 à 2022.

**Fanger, PO (1970).** Confort thermique. Analyse et applications en génie environnemental. Danish Technical Press.

**Fashae, O. A., Adagbasa, E. G., Olusola, A. O., & Obateru, R. O. (2020).** Land use/land cover change and land surface temperature of Ibadan and environs, Nigeria. Environmental Monitoring and Assessment, 192, 1-18.

**Fatmi, H., & Rejeb, H. (2016).** Vers une requalification néo-paysagère de la trame verte de la ville de Kasserine. Thèse de doctorat, Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem, Université de Sousse. Disponible sur https://www.researchgate.net/publication/353636896_vers_une_Requalification_neo-paysagere_de_la_trame_verte_de_la_ville_de_Kasserine

**Faivre, N., Fritz, M., Freitas, T., De Boissezon, B., & Vandewoestijne, S. (2017).** Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. Environmental research, 159, 509-518. https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.032.

**Farinha-Marques, J., Lameiras, J., Fernandes, J., Silva, J., & Guilherme, J. (2014).** A estrutua verde urbana: conceito, importância e desafios. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, 3(2), 1-15.

**Farr, D. (2008).** Sustainable Urbanism: Urban Design with Nature. Wiley

**Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., ... & Montalto, F. (2015).** SUDS, LID, BMPs, WSUD and More – The Evolution and Application of

Terminology Surrounding Urban Drainage. Urban Water Journal, 12(7), 525-542. https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314

**Florida, R. (2002).** The economic geography of talent. Annals of the Association of American geographers, 92(4), 743-755.

**FNAU,(2001) .** Les systèmes d'observation des quartiers dans les agglomérations françaises http://www.fnau.org/wp-content/uploads/2016/03/Observatoire-des-quartiers-part-1.pdf

**Fédération nationale des agences d'urbanisme (Fnau) , (2016)** . Les systèmes d'observation des quartiers dans les agglomérations françaises http://www.fnau.org/wp-conten/uploads/2016/03/Observatoire-des-quartiers-part-1.pdf

**Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010).** Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability, and transformability. *Ecology and Society, 15*(4). http://www.jstor.org/stable/26268226

**Folke, C., Jansson, Å., Rockström, J., Olsson, P., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., III, ... & Westley, F. (2011).** Reconnecting to the biosphere. Ambio, 40(7), 719–738. https://doi.org/10.1007/s13280-011-0184-y

**Forman, R. T. T. (2014).** Urban Ecology: Science of Cities. Cambridge University Press.

**Forman, R. T. (1995).** Some general principles of landscape and regional ecology. Landscape ecology, 10, 133-142.Forman, R. T. T., & Godron, M. (1986). Landscape Ecology. New York: John Wiley & Sons.

**Forsé, M., & Parodi, M. (2014).** Bien-être subjectif et sentiment de justice sociale. L'Année sociologique, 64(2), 359-388. https://www.cairn.info/revue-l-annee-sociologique-2014-2-page-359.htm

**Forsé, M., Langlois, S., & Parodi, M. (2016).** Sentiments contrastés de justice sociale en Franceet au Québec. Revue Tocqueville , 37 (2), 13-34. https://www.utpjournals.press/doi/abs/10.3138/ttr.37.2.13,https://doi.org/10.3138/ttr.37.2.13

**Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2000).** *Quantitative geography: Perspectives on spatial data analysis*. Sage Publications.

**Foucault, M. (1966).** Les Mots et les Choses: Une archéologie des sciences humaines. Paris: Gallimard.

**Fourier, C. (1829).** Le Nouveau Monde industriel et sociétaire. Bossange.

**Frankhauser, P., & Genre-Grandpierre, M. (1998).** L'analyse fractale des structures urbaines. In Urbanisme et échelles (pp. 65-75). Éditions du Moniteur.

**Gascon, M., Triguero-Mas, M., Martínez, D., Dadvand, P., Foraster, M., Plasència, A., ... & Nieuwenhuijsen, M. J. (2016).** Mental health benefits of long-term exposure to residential green and blue spaces: A systematic review. Environmental International, 94, 41-75. https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.05.017

**Gauthier, C. A. F. C. L., & Suslova, A. M. G. O (2019).** La nature à Marseille, miroir et outil de l'urbain. https://geographie.ens.fr/IMG/pdf/la_nature_a_marseille_miroir_et_outil_de_l_urbain-2.pdf.

**Gehl, J. (2013). *Cities for people*. Island press.**

**Geneletti, D., & Zardo, L. (2016).** Ecosystem-based adaptation in cities: An analysis of European urban climate adaptation plans. Land use policy, 50, 38-47. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.09.003

**Gherraz, H., Guechi, I., & Alkama, D. (2020).** Quantifying the effects of spatial patterns of green spaces on urban climate and urban heat island in a semi-arid climate. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, 89, 164-185. https://doi.org/10.25518/0037-9565.9821.

**Gilbert-Norton, L., Wilson, R., Stevens, J. R., & Beard, K. H. (2010).** A Meta-Analytic Review of Corridor Effectiveness. Conservation Biology, 24(3), 660-668. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01450.x

**Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007).** Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. Built Environment, 33(1), 115-133. https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115

**Giudice, B., Novarina, G., & Voghera, A. (2021).** L'intégration de la trame écologique et paysagère dans la planification territoriale. Mise en perspective des stratégies de deux régions alpines en France et en Italie. Sciences Eaux & Territoires, 2021/2 N° 36, pp. 8-15. https://doi.org/10.3917/set.036.0008

**Goddard, M. A., Dougill, A. J., & Benton, T. G. (2010).** Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments. Trends in Ecology & Evolution, 25(2), 90-98. https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.07.016

**Godin, J.-B. A. (1871).** Solution sociale. Paris: Librairie Internationale A. Lacroix.

**Goldberg, A. E. (1995).** Constructions: A Construction Grammar Approach to Argument Structure. University of Chicago Press.

**Goodchild, M. F. (2007).** Citizens as sensors: The world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), 211-221. https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y

**Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017).** Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031

**Greenly, (2023)** par Justine Dumont .Tout savoir sur l'Indice de Performance Environnementale (IPE) . https://greenly.earth/fr-fr/blog/guide-entreprise/tout-savoir-sur-l-indice-de-performance-environnementale-ipe

**Guide du citoyen. (2024).** Bienvenue à Lac-Tremblant-Nord. Disponible à : https://lac-tremblant-nord.qc.ca/wp-content/uploads/2024/02/Guide-bienvenue_Lac-Tremblant-Nord.pdf

**Gulrajani, M. L. (2010).** Biotextiles: Applications in medicine. In Textile-based materials for healthcare applications (pp. 1-22). Woodhead Publishing.

**Haaland, C., & van den Bosch, C. K. (2015).** Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review. Urban Forestry & Urban Greening, 14(4), 760–771. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.07.009

**Haase, D., Frantzeskaki, N., & Elmqvist, T. (2014).** Ecosystem services in urban landscapes: Practical applications and governance implications. AMBIO, 43, 407–412. https://doi.org/10.1007/s13280-014-0503-1

**Haase, D., Larondelle, N., Andersson, E., Kabisch, N., & Kremer, P. (2014).** A quantitative review of urban ecosystem service assessments: Concepts, models, and implementation. AMBIO, 43, 413–433. https://doi.org/10.1007/s13280-014-0504-0

**Hadji, M., & Petrişor, A. I. (2022).** Planification des infrastructures urbaines vertes et les défis du développement urbain durable: une analyse littérature. Urbanism. Arhitectura. Constructii, 63-70.

**Hall, P. (2014).** Cities of Tomorrow: An Intellectual History of Urban Planning and Design in the Twentieth Century (4th ed.). Wiley-Blackwell.

**Hansen, R., & Pauleit, S. (2014).** From multi-functionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for urban areas. *Ambio, 43*(4), 516–529. https://doi.org/10.1007/s13280-014-0510-2

**Haq, S. M. A. (2011).** Urban green spaces and an integrative approach to sustainable environment. Journal of environmental protection, 2(5), 601-608. https://api.taylorfrancis.com/content/chapters/edit/download?identifierName=doi&identifierValue=10.1201/b18713-14&type=chapterpdf

**Harasimowicz, M. (2018).** La structure verte urbaine: une approche multifonctionnelle pour la durabilité des villes. Urbanités et biodiversité. Entre villes fertiles et campagnes urbaines, quelle place pour la biodiversité ?, 1-15.

**Harlan, S. L., Brazel, A. J., Prashad, L., Stefanov, W. L., & Larsen, L. (2006).** Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. *Social Science & Medicine, 63*(11), 2847-2863.

**Hartig, T., Mitchell, R., de Vries, S., & Frumkin, H. (2014).** Nature and health: The influence of nature on physical and mental health. Annual Review of Public Health, 35, 207-228. https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032013-182443

**Harvey, D. (1989).** The Condition of Postmodernity: An Enquiry into the Origins of Cultural Change. Blackwell.

**Hasler, S., & Sicher, P. (2021).** Projet « VILLE ÉPONGE » pour une gestion des eaux adaptée au climat en zone urbaine. Traduit d'AQUA & GAS, No 10. Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA). Disponible sur : https://vsa.ch/wp-content/uploads/2021/12/FA_Sicher_F_1021.pdf.

**Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015).** Temperature extremes: Effect on plant growth and development. Weather and Climate Extremes, 10, 4-10.
https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001

**, D. T., & Pianka, E. R. (1999).** Metapopulation theory and the spatial dynamics of species diversity. The Canadian Geographer / Le Géographe canadien, 43(1), 37–57. https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.1999.tb01620.x

**Heidegger, M. (1986).** Être et Temps (F. Vezin, Trad.). Paris : Gallimard. (Œuvre originale publiée en 1927)

**Gafsi, H. (2020, mai).** Politique urbaine nationale pour la Tunisie : Rapport de diagnostic. https://urbanpolicyplatform.org/wp-content/uploads/2022/01/Rapport-de-diagnostic-version-finale-.pdf.

**Herbert, J.-L. (1999).** *Brasilia : un urbanisme volontariste à l'épreuve des contradictions sociales*. Géocarrefour, 74(4), 301-311.

**Hérat, A. (2012).** Une politique de nature à l'épreuve du territoire: le quartier de la Cayolle et la calanque de Sormiou (Marseille). Le Parc national des Calanques–Construction territoriale, concertation et usages, Versailles, Quae, 53-72. https://ciqhautsdemazargueslacayolle.com/wp-content/uploads/2018/03/qurtier-cayolle-hc3a9rat.pdf

**Herath, P., & Bai, X. (2024).** Benefits and co-benefits of urban green infrastructure for sustainable cities: Six current and emerging themes. *Sustainability Science, 19*, 1039–1063. https://doi.org/10.1007/s11625-024-01475-9

**Heywood, I., Cornelius, S., & Carver, S. (2019).** *An Introduction to Geographical Information Systems* (5th ed.). Pearson Education.

**Hilberseimer , L. (1944).** The New City: Principles of Planning. Chicago: Paul Theobald.

**Holston, J. (1989).** *The modernist city: An anthropological critique of Brasilia*. University of Chicago Press.

**Howard, E. (2003).** Garden Cities of To-morrow. Routledge. (Réédition de l'édition originale de 1902). https://doi.org/10.4324/9780203403029

**Howard, L. (1818).** The Climate of London Deduced from Meteorological Observations. W. Phillips.

**Huang, C., Davis, L. S., & Townshend, J. R. G. (2002).** An assessment of support vector machines for land cover classification. International Journal of Remote Sensing, 23(4), 725-749. https://doi.org/10.1080/01431160110040323

**IDDRI. (2023).** Synthèse de la revue de littérature relative à la planification écologique. Institut du Développement Durable et des Relations Internationales. https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Catalogue%20Iddri/Propositions/Revue_litterature_planification_ecologique.pdf

**IPCC. (2014).** Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/

**Institut Paris Region. (2022).** BARCELONA, METROPOLITAN AVENUES.. https://en.institutparisregion.fr/fileadmin/NewEtudes/000pack4/Etude_2925/Barcelona_complet.pdf

**Jakobson, R. (1963).** Essais de linguistique générale. Paris: Éditions de Minuit.

**Jenks, M., & Jones, C. (Eds.). (2010).** *Dimensions of the sustainable city*. Springer. **https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8647-2**

**Jamaa, H. F. B., Muller, S. D., Daoud-Bouattour, A., Ghrabi-Gammar, Z., Rhazi, L., Soulié-Märsche, I., ... & Saad-Limam, S. B. (2010).** Structures de végétation et conservation des zones humides temporaires méditerranéennes: la région des Mogods (Tunisie septentrionale). Comptes Rendus. Biologies, 333(3), 265-279. https://comptes-rendus.academie-sciences.fr/biologies/articles/fr/10.1016/j.crvi.2009.12.014/ https://doi.org/10.1016/j.crvi.2009.12.014

**Januchta-Szostak, A. (2015).** Modular Water Squares (MWS) in Poznan – People-Friendly Solutions for Rainwater Management. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering, 12*(3), 5–15. https://doi.org/10.5755/j01.sace.12.3.12659

**Jensen, J. R. (2013).** Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective (2nd ed.). Pearson Education.

**Jumeau, J. (2017).** Les possibilités de dispersion et éléments d'habitat-refuge dans un paysage d'agriculture intensive fragmenté par un réseau routier dense: le cas de la petite faune dans la plaine du Bas-Rhin (Doctoral dissertation, Université de Strasbourg). https://theses.hal.science/tel-01768001/document

**Kabisch, N., & Haase, D. (2014).** Green justice or just green? Provision of urban green spaces in Berlin, Germany. Landscape and urban planning, 122, 129-139. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.016

**Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., Bonn, A. (2017).** Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas—Linkages Between Science, Policy and Practice. In: Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., Bonn, A. (eds) Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas. Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5_1

**Kant, I. (1963).** Critique de la raison pure (A. Tremesaygues & B. Pacaud, Trad.). Paris : Presses Universitaires de France. (Œuvre originale publiée en 1781)

**Kaplan, R., & Kaplan, S. (1989).** The experience of nature: A psychological perspective. Cambridge Univerity Press. https://books.google.dz/books?id=7l80AAAAIAAJ&printsec=frontcover

**Keniger, L. E., Gaston, K. J., Irvine, K. N., & Fuller, R. A. (2013).** What Are the Benefits of Interacting with Nature?. International Journal of Environmental Research and Public Health, 10(3), 913-935. https://doi.org/10.3390/ijerph10030913

**Kitano, H. (2002).** Systems biology: a brief overview. Science, 295(5560), 1662-1664.

**Kondo, M. C., Fluehr, J. M., McKeon, T., & Branas, C. C. (2018).** Urban green space and its impact on human health. International journal of environmental research and public health, 15(3), 445. https://doi.org/10.3390/ijerph15030445

**Kostof, S. (1991).** La ville façonnée (pp. 9-39). Boston, MA : Little, Brown and Company.

**Kühlbrandt, W. (2014).** The Resolution Revolution. Science, 343(6178), 1443-1444.

**Kumar, A., & Mutanga, O. (2018).** Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, 10(10), 1509. https://doi.org/10.3390/rs10101509

**Labat, D., & Aggeri, G. (2013).** La loi paysage a-t-elle eu un impact sur la planification territoriale? Projets de paysage, 9. Published online 20 December 2013. Consulted on 15 October 2024. URL: http://journals.openedition.org/paysage/11953; DOI: https://doi.org/10.4000/paysage.11953

**Lafaye, C. G. (2007).** Bien-être. Dictionnaire du corps, p-127. https://hal.science/hal-00373339/document

**LaGuardia, J. G., & Ryan, R. M. (2000).** Buts personnels, besoins psychologiques fondamentaux et bien-être : théorie de l'autodétermination et applications. Revue québécoise de psychologie, 21(2), 281–304.

**Laurie, I. C. (Ed.). (1979).** Nature in Cities: The Natural Environment in the Design and Development of Urban Green Space. Wiley.

**Le Corbusier. (1950).** Le Modulor I. Boulogne-sur-Seine : Éditions de l'Architecture d'Aujourd'hui, Collection ASCORAL.

**Le Corbusier. (1923).** Vers une architecture. Paris: G. Crès & Cie.

**Le Corbusier. (1943).** La Charte d'Athènes. Paris: Éditions de Minuit.

**Lee, A. C. K., Jordan, H. C., & Horsley, J. (2015).** Value of Urban Green Spaces in Promoting Healthy Living and Wellbeing: Prospects for Planning. Risk Management and Healthcare Policy, 8, 131-137. https://doi.org/10.2147/RMHP.S61654

**Lévi-Strauss, C. (1958). Anthropologie structurale. Paris: Plon.**

Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7th ed.). Wiley.

**Lin, L., Chen, X., Zhang, X., & Wang, J. (2020).** Cloud contamination in coastal Landsat time series: Challenges for long-term observations. Remote Sensing, 12(5), 845. https://doi.org/10.3390/rs12050845

**Lin, L., Hao, Z., Post, C. J., et al. (2020).** Monitoring land cover change on a rapidly urbanizing island using Google Earth Engine. *Applied Sciences, 10*(20), 7336. https://doi.org/10.3390/app10207336

**Liu, D., Chen, N., Zhang, X., Wang, C., & Du, W. (2020).** Annual large-scale urban land mapping based on Landsat time series in Google Earth Engine and OpenStreetMap data: A case study in the middle Yangtze River basin. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 159, 337-351. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.11.021

**Liu, O. Y., & Russo, A. (2021).** Assessing the contribution of urban green spaces in green infrastructure strategy planning for urban ecosystem conditions and services. Sustainable Cities and Society, 69, 102-132. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102640

**Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015).** *Geographic Information Systems and Science* (4th ed.). Wiley.

**Lombard, L., Durand, P. J., & Dubois, E. (2015**). Regard écologique sur le recul stratégique : atouts et risques pour la diversité végétale péri-urbaine marseillaise. VertigO - La revue électronique en sciences de l'environnement, Hors-série 21. https://doi.org/10.4000/vertigo.15748

**Lu, D., & Weng, Q. (2007).** A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), 823-870. https://doi.org/10.1080/01431160600746456

**Lynch, K. (1976).** L'image de la cité (M.-F. Vénard & J.-L. Vénard, Trad.). Paris : Dunod. (Travail original publié en 1960 :Lynch, K. (1960). The Image of the City. MIT Press.

**Lyubomirsky, S., Sheldon, K. M., & Schkade, D. (2005).** Pursuing happiness: The architecture of sustainable change. Review of general psychology, 9(2), 111-131. https://escholarship.org/content/qt4v03h9gv/qt4v03h9gv.pdf

**MedCities, Área Metropolitana de Barcelona (AMB), & Ville de Tunis. (2022)**. Liste des projets du plan d'action : Projet « A'SIMA Tunis : Planification stratégique et gouvernance multiniveau pour une ville métropolitaine résiliente ». Tunis : MedCities, AMB, & Ville de Tunis.

**Maas, J., Verheij, R. A., Groenewegen, P. P., De Vries, S., & Spreeuwenberg, P. (2006).** Green Space, Urbanity, and Health: How Strong is the Relation?. Journal of Epidemiology & Community Health, 60(7), 587-592. https://doi.org/10.1136/jech.2005.043125

**Mahgoub, Y., Cavalagli, N., Versaci, A., Bougdah, H., & Serra-Permanyer, M. (éd.). (2021).** L'identité des villes à travers l'architecture et les arts . Springer International Publishing.

**Maller, C., Townsend, M., Pryor, A., Brown, P., & St Leger, L. (2006).** Healthy nature healthy people: 'Contact with nature' as an upstream health promotion intervention for populations. Health Promotion International, 21(1), 45-54. https://doi.org/10.1093/heapro/dai032

**Margalef , R. (1968).** Perspectives in Ecological Theory. University of Chicago Press.

**Marmot, M. et Wilkinson, R. (éd.). (2005).** Déterminants sociaux de la santé . Oup Oxford. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=AmwiS8HZeRIC&oi=fnd&pg=PT11&dq=Marmot+et+Wlkinson,+2006&ots=y1ED78StK_&sig=HHIevqlwFvjlArzbYBjRms9C0-c

**Marques, B., Alvim, B., & Schröder, C. (2022).** Green Infrastructure and Urban Resilience: Assessing the Role of Urban Green Spaces in Addressing Climate Change and Public Health Challenges. Journal of Urban Planning and Development, 148(3), 04022025. https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000786

**Mata Otero, J. (2010).** Development of sustainable transportation systems: lessons from Curitiba, Brazil. https://repositories.lib.utexas.edu/bitstreams/92cd4d18-0e11-47d7-b458-239b4687469b/download.

**McHarg, I. L. (1969).** Design with nature (pp. 7-17). New York: American Museum of Natural History.

**McKinney, M. L. (2002).** Urbanization, biodiversity, and conservation: the impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems. Bioscience, 52(10), 883-890. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0883:UBAC]2.0.CO;2

**Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016).** Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning, 147*, 38–49. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011

**Mehdi, L., & Di Pietro, F. (2010). La structure verte :** Une nouvelle stratégie de lutte contre les risques urbains. *Dans* Séminaire international (pp. 12).

**Meiss, P. (2010).** Paysages et formes urbaines: Une lecture esthétique et symbolique de la ville. Paris: Éditions Parenthèses.

**Mering, J. A. C. (2008).** Cartographie par télédétection des changements de la couverture végétale sur la bande littorale ouest-africaine : exemple des Rivières du Sud du delta du Saloum au Rio Geba. Télédétection, 8(2), 93-118.

Merlin, P. (1991). Villes, formes et temps : Les temps de la ville, les temps sur la ville. Éditions du Seuil.

**Merlin, P., & Choay, F. (1988).** Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement. Paris : Presses Universitaires de France.

**Mestaye, J. (2015).** L'impact des arbres urbains sur la qualité de l'air et la gestion des eaux pluviales. Revue Internationale des Sciences de l'Environnement, 32(4), 234-245.

Météo-France. (2024). Les îlots de chaleur urbains : Comprendre et agir. Extrait de https://meteofrance.fr

**Métropolitiques. (2015).** L'urbanisme écologique : Un nouvel impératif ? Métropolitiques. https://metropolitiques.eu/L-urbanisme-ecologique-un-nouvel-imperatif.html

**Mhedhbi, Z. (2021).** Construire une expertise climatique locale pour mettre à l'agenda l'adaptation au changement climatique dans la planification et l'aménagement urbains: le cas du Grand Tunis (Doctoral dissertation, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II). https://theses.hal.science/tel-03956366/document

**Millennium Ecosystem Assessment. (2005).** Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press. https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf

Ministère de la Transition écologique, (2013). https://www.normandie.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/n5-comprendre-fr-bd-web.pdf

**Ministère de la Transition Écologique. (n.d).** *Trame verte et bleue*. https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/trame-verte-bleue

**Ministère de la Transition écologique. (2021).** Guide méthodologique : Évaluation de la pollution sonore en milieu urbain. Paris : Ministère de la Transition écologique. Disponible sur : https://www.ecologie.gouv.fr

**Mitchell, R., & Popham, F.** (2007). Greenspace, urbanity and health: Relationships in England. *Journal of Epidemiology & Community Health, 61*(8), 681-683. https://doi.org/10.1136/jech.2006.053553

**Mitchell, R., & Popham, F. (2008).** Effect of exposure to natural environment on health inequalities: an observational population study. The lancet, 372(9650), 1655-1660. https://eprints.gla.ac.uk/4767/01/4767.pdf

**Mohamed, T., Farah, B. S., & Mohamed, N. (2015).** Impact des activités humaines sur la dynamique de l'occupation des terres dans le gouvernorat de Médenine entre 1969 et 2010. Revue des Régions Arides, (37), 155–163. https://www.researchgate.net/publication/309637648_Impact_des_activites_humaines_sur_la_dynmique_de_l'occupation_des_terres_dans_le_gouvernorat_de_Medenine_entre_1969_et_2010

**Mokhtari, F. (2017).** Les déterminants du bien-être subjectif en Algérie. Revue Algérienne d'Economie et de Management N. https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticlepdf/145/8/1/11344

**Monteny, B. A. (1987).** *Contribution a l'etude des interactions vegetation-atmosphere en milieu tropical humide: importance du role du systeme forestier dans le recyclage des eaux de pluies* (Doctoral dissertation, ANRT).

**MOUSSAOUI, N., BOUZAHZAH, M., & KARIM, M. (2023).** Proposition d'un modèle théorique pour la mise en place du mécanisme du budget vert au sein des collectivités territoriales au Maroc. International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics, 4(4-1), 334-361. https://doi.org/10.5281/zenodo.8279489

**Mumford, L. (1961).** The City in History: Its Origins, Its Transformations, and Its Prospects. Harcourt, Brace & World.

**Musy, M. (2014).** Une ville verte : Les rôles du végétal en ville. Versailles : Éditions Quae. Consulté sur : https://books.google.com/books/about/Une_ville_verte.html?id=oujtAwAAQBAJ

**Nardo, M. (2005).** Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide, https://www.oecd-ilibrary.org/handbook-on-constructing-composite-indicators_5lgmz9dkcdg4.pdf

**Nassauer, J. I., & Opdam, P. (2008).** Design in science: Extending the landscape ecology paradigm. Landscape Ecology, 23(6), 633–644. https://doi.org/10.1007/s10980-008-9226-7

**Nassauer, J. I. (1995).** Messy ecosystems, orderly frames. Landscape Journal, 14(2), 161-170. Nassauer, J. I., & Opdam, P. (2008). Design in science: Extending the landscape ecology paradigm. *Landscape Ecology, 23*(6), 633–644. https://doi.org/10.1007/s10980-008-9226-7

**Nations Unies, Département des affaires économiques et sociales, Division de la population. (2019).** *Perspectives de l'urbanisation mondiale : révision de 2018*. Disponible sur : https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf

**National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2023).** Remote sensing for environmental monitoring. NASA Earth Science Division. https://earthobservatory.nasa.gov/topics/remote-sensing

**Newman, P., & Jennings, I. (2008).** Cities as sustainable ecosystems: Principles and practices. Washington, DC: Island Press.

**Newman, P., & Kenworthy, J. (1999).** *Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence*. Island Press.

**Newman, P., Beatley, T., Boyer, H., Newman, P., Beatley, T., & Boyer, H. (2017).** Introduction : Résilience urbaine : villes de peur et d'espoir. Villes résilientes : surmonter la dépendance aux combustibles fossiles , 1-22.

**Niemelä, J., Saarela, S. R., Söderman, T., Kopperoinen, L., Yli-Pelkonen, V., Väre, S., & Kotze, D. J. (2010).** Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study. Biodiversity and Conservation, 19, 3225-3243. https://doi.org/10.1007/s10531-010-9888-8

**Noui, N. (2009).** Les espaces verts en ville : Leur importance dans les stratégies de développement urbain et durable (cas d'Annaba) [Thèse de magister, Université Badji Mokhtar Annaba]. Université Badji Mokhtar Annaba.

**Noui, N., Rouag Saffeddine, D., Harizi, K., ,(2023).** Detecting changes in land occupation and use (between 1984-2021) using "GEE" and GIS tools: focus on the green structure of the future metropolis of Annaba (north-east Algeria). Indonesian Journal of Social Science Research

**Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2002).** Carbon Storage and Sequestration by Urban Trees inthe USA. Environmental Pollution, 116(3), 381-389. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7

**Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2006).** Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. Urban Forestry & Urban Greening, 4(3-4), 115-123. DOI: 10.1016/j.ufug.2006.01.007

**Nunes, B. F., & Bandeira, L. (2004).** Brasília: l'urbanité dans une ville nouvelle. Espaces et sociétés, 119(4), 93-111. https://www.cairn.info/load_pdf.php?ID_ARTICLE=ESP_119_0093&download=1&from-feuilleteur=1

**OECD (2013),** OECD Guidelines on Measuring Subjective Well-being, OECD Publishing. http://dx.doi.org/10.1787/9789264191655-en

**Oechslin, W. et Wang, W. (1987).** Les cinq points d'une architecture nouvelle. Assemblages , (4), 83-93. https://www.jstor.org/stable/3171037

**Oke, T. R. (1981).** Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. Journal of Climatology, 1(3), 237-254. https://doi.org/10.1002/joc.3370010304

**Oke, T. R. (1982).** The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 108(455), 1-24. https://doi.org/10.1002/qj.49710845502

**Opdam, P., Steingröver, E., & van Rooij, S. (2006).** Ecological networks: A spatial concept for multi-actor planning of sustainable landscapes. Landscape and Urban Planning, 75(3-4), 322–332. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.015

**OPub. (2024).** Active, Beautiful, Clean Waters (ABC Waters) program: Integrating urban water management and ecological preservation. OPub Publications.

**Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. (2020**). *Urbanisation et imperméabilisation des sols*. Disponible sur : https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8f842c13-0473-4ec6-b4a9-0fb7a6c89906/content

**Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2012).** La quête du bien être . https://who-sandbox.squiz.cloud/__data/assets/pdf_file/0008/256589/EHR2012-Fre-Chapter-3-How-we-are-getting-there-and-what-we-value-the-case-for-measuring-well-being.pdf

**Organisation Mondiale de la Santé. (1946).** Préambule à la Constitution de l'Organisation Mondiale de la Santé, tel qu'adopté par la Conférence internationale sur la Santé, New York, 19–22 juin 1946 ; signé le 22 juillet 1946 par les représentants de 61 États (Actes officiels de l'OMS, n°2, p. 100) et entré en vigueur le 7 avril 1948. Organisation Mondiale de la Santé. http://apps.who.int/gb/bd/PDF/bd47/FR/constitution-fr.pdf?ua=1

**Organisation mondiale de la Santé. (2016).** Urban green spaces and health: A review of evidence. Copenhague: Bureau régional de l'Europe. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/321971/Urban-green-spaces-and-health-review-evidence.pdf

**Oxford University Press.** (1998). Oxford English Dictionary (2e éd.). Disponible sur https://www.oed.com.

**Pallares-Barbera, M., Badia, A., & Duch, J. (2011).** Cerdà and Barcelona: The need for a new city and service provision. Urbani Izziv, 22(2), 122-136. http://dx.doi.org/10.5379/urbani-izziv-en-2011-22-02-005

**Panerai, P., Castex, J., & Depaule, J.-C. (1997).** Formes urbaines : De l'îlot à la barre. Éditions Parenthèses.

**Pedro Pérez-Cutillas, P., Vicente-Serrano, S. M., Domínguez-Castro, F., & Peña-Gallardo, M. (2023).** Non-parametric methods for satellite data classification on Google Earth Engine: A case study. Journal of Remote Sensing and Environment, 259, 112345. https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.112345

**Pérez-Cutillas, P., Pérez-Navarro, A., Conesa García, C., Zema, D. A., & Amado-Álvarez, J. P. (2023).** What is going on within Google Earth Engine? A systematic review and meta-analysis. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 29, 100907. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100907

**Perutz, M. F., Rossmann, M. G., Cullis, A. F., Muirhead, H., Will, G., & North, A. C. (1960).** Structure of haemoglobin: a three-dimensional Fourier synthesis at 5.5 Å resolution, obtained by X-ray analysis. Nature, 185(4711), 416-422.

**Perrotin, F. (2023**, 16 novembre). La politique de préservation de la biodiversité à Paris. Article de presse. https://www.actu-juridique.fr/administratif/la-politique-de-preservation-de-la-biodiversite-a-

paris/#:~:text=La%20pr%C3%A9servation%20de%20la%20biodiversit%C3%A9,toutes%20les%20grandes%20m%C3%A9tropoles%20europ%C3%A9ennes

**Peters, K., Elands, B., & Buijs, A. (2010).** Social interactions in urban parks: Stimulating social cohesion? Urban Forestry & Urban Greening, 9(2), 93–100. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.11.003

**Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., Grove, J. M., Boone, C. G., Groffman, P. M., Irwin, E., Kaushal, S. S., Marshall, V., McGrath, B. P., Nilon, C. H., Pouyat, R. V., Szlavecz, K., Troy, A., & Warren, P. (2010).** Urban ecological systems: Scientific foundations and a decade of progress. Journal of Environmental Management, 92(3), 331-362. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.022.

**Pickett, S. T. A., Cadenasso, M., Grove, M., Nilon, C., Pouyat, R., Zipperer, W., & Costanza, R. (2003).** Urban ecological systems: Linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. Annual Review of Ecology and Systematics, 32. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114012.

**Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., & McGrath, B. (Eds.). (2013).** Resilience in Ecology and Urban Design: Linking Theory and Practice for Sustainable Cities. Springer.

**Pierzynski, G., & Brajendra, S. (2017).** *Menaces pour les sols : tendances mondiales et perspectives*. Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification. Disponible sur : https://www.unccd.int/sites/default/files/2018-06/17.%20Threats%2Bto%2BSoils__Pierzynski_Brajendra.pdf

**Pincetl, S., Gillespie, T. W., Pataki, D. E., Saatchi, S., & Saphores, J. D. (2013).** Urban tree planting programs, function or fashion? Los Angeles and urban tree planting campaigns. *GeoJournal,* *78*(3), 475–493. https://www.academia.edu/download/67054482/Urban_tree_planting_programs_function_or20210504-21793-rxv5st.pdf

**Pinson, G. (2009).** Gouverner la ville par projet : urbanisme et gouvernance des villes européennes. Paris : Presses de Sciences Po. Disponible sur https://books.openedition.org/pufr/1187.

**Pressman, S. D., Matthews, K. A., Cohen, S., Martire, L. M., Scheier, M., Baum, A., & Schulz, R. (2009).** Association of enjoyable leisure activities with psychological and physical well-being. Psychosomatic Medicine, 71(7), 725-732. https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e3181ad7978

**Pretty, J., Peacock, J., Sellens, M., & Griffin, M. (2005).** The mental and physical health outcomes of green exercise. International journal of environmental health research, 15(5), 319-337. https://doi.org/10.1080/09603120500155963

**Rabinovitch, J. (1996).** Politiques innovantes d'aménagement du territoire et de transports publics : le cas de Curitiba, Brésil. *Politique d'aménagement du territoire* , *13* (1), 51-67. https://doi.org/10.1016/0264-8377(95)00023-2

**Remy, A. (2003).** La ville et l'urbanisme. Éditions de l'Aube.

**Richards, J. A. (2022).** *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82327-6

**Rochard, H. (2023).** Renaturation urbaine et actions citoyennes: vers une co-production de la ville écologique? Études de cas dans le Grand Paris et à New York City (Doctoral dissertation, Université Paris) http://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/7060/cufe_Bonhomme_M__17-05-2012_essai241.pdf?sequence=1

**Rodell, M., Velicogna, I., & Famiglietti, J. S. (2018).** Satellite-based estimates of groundwater depletion in India. Nature, 460(7258), 999-1002. https://doi.org/10.1038/nature08238

**Roseland, M. (2012).** Toward sustainable communities: Solutions for citizens and their governments (Vol. 6). New Society Publishers.

**Rudd, H., Vala, J., & Schaefer, V. (2002).** Importance of Backyard Habitat in a Comprehensive Biodiversity Conservation Strategy: A Connectivity Analysis of Urban Green Spaces. Restoration Ecology, 10(2), 368–375. https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2002.02041.x.

**Sandström, U. G. (2002).** Green Infrastructure Planning in Urban Sweden. Planning Practice & Research, 17(4), 373-385. https://doi.org/10.1080/02697450216356

**Santamouris, M. (2014).** Cooling the cities—A review of reflective and green roof mitigatin technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. Solar Energy, 103, 682–703. https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003

**Sasikala, S., Bharathidason, S., & Jothi Venkateswaran, C. (2015).** Improving classification accuracy based on random forest model through weighted sampling for noisy data with linear decision boundary. *Indian Journal of Science and Technology, 8*(S8), 614. https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8is8/71714

**Sen, A. (1993).** Capability and well-being73. The quality of life, 30, 270-293. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=mOHnCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA30&dq=related:xhlGSv7xo0sJ:scholar.google.com/&ots=HLHXTZk5Nx&sig=k2ZCV_63d0aiN17rMR-HsT-poUA

**Shafqat, A., & Arshad, S. (2012).** Role of green structure and ecological services: a case study of Bahawalpur city, Pakistan. Science Vision, 18(1-2), 59-68.

**Shandas, V., Nelson, A., Arendes, C., & Cibor, C. (2010).** Tabor to the River: An evaluation of outreach efforts and opportunities for engaging residents in stormwater management. Bureau of Environmental Services, City of Portland. https://pdxscholar.library.pdx.edu/iss_pub/78/?utm

**Simonet, G. (2011).** Enjeux et dynamiques de la mise en œuvre de stratégies d'adaptation aux changements climatiques en milieu urbain: les cas de Montréal et paris. https://central.bac-lac.gc.ca/.item?id=TC-QMUQ-4138&op=pdf&app=Library&oclc_number=779874777

**SNAT, (2030).** Direction générale de l'aménagement du territoire et de l'attractivité, Rapport méthodologique, Mise à jour de l'étude du Plan national d'aménagement du territoire ,SNAT 2030.

**Serrano, J., Demazière, C., Nadou, F., & Servain, S. (2014).** La planification stratégique spatialisée contribue-t-elle à la durabilité territoriale? Développement Durable et Territoires, 5(2). https://doi.org/10.4000/developpementdurable.10295

**Siradel. (2023).** Comprendre les îlots de chaleur urbains et les solutions de lutte. Retrieved from https://www.siradel.com

**Soria y Matta, A. (1995).** Cerdà: The Five Bases of the General Theory of Urbanization. Elect.

**Marmot, M., & Wilkinson, R. (2006).** Social support and social cohesion. Social determinants of health, 2, 148-71.

**Stiglitz, J. E., Sen, A., & Fitoussi, J. P. (2009).** The measurement of economic performance and social progress revisited (Vol. 33). France: Ofce. https://www.ofce.sciences-po.fr/pdf/dtravail/WP2009-33.pdf?simple=True

**Sukhdev, P., Wittmer, H., Schröter-Schlaack, C., Neßhöver, C., Bishop, J., ten Brink, P., Gundimeda, H., Kumar, P., & Simmons, B. (2008).** The economics of ecosystems and biodiversity. N/A. https://www.cducsu.de/sites/default/files/benutzer/4/dateien/berlin101006-teebpavan.pdf

**SUISSE, C. F. (2014).** Stratégie pour le développement durable. https://www.are.admin.ch/dam/are/fr/dokumente/nachhaltige_entwicklung/publikationen/strategie_nachhaltigeentwicklung2016-2019.pdf

**Taha, H. (1997).** Urban climates and heat islands: Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. Energy and Buildings, 25(2), 99-103. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00999-1

**TALAVERA-GARCIA Ruben, SORIA-LARA Julio A., Q-PLOS, 2015,** "Developing an alternative walking index. A method based on urban design quality", *Cities 45*, pp.7–17. https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.03.003

**Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., & Adeli, S. (2020).** Google Earth Engine for Geo-Big Data Applications: A Meta-Analysis and Systematic Review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.

**Tan, P. Y., Wang, J., & Sia, A. (2013).** Perspectives on five decades of the urban greening of Singapore. Cities, 32, 24–32. https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.02.001

**Thomas, I., & Da Cunha, A. (2017).** La ville résiliente: Comment la construire?. Les Presses de l'Université de Montréal.

**Thompson, C. W. (2011).** Linking landscape and health: The recurring theme. Landscape and urban planning, 99(3-4), 187-195. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204610002860

**Tjallingii, S. P. (2005).** Green structure and urban planning, general outcomes of COST Action C11.

**Toublanc, M., & Bonin, S. (2012).** Planifier les trames vertes dans les aires urbaines : une alliance à trouver entre paysagisme et écologie. Développement durable et territoires, 3(2). https://doi.org/10.4000/developpementdurable.9347

**Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., & Steininger, M. (2003).** Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(6), 306-314. https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00070-3

**Tyrväinen, L., Ojala, A., Korpela, K., Lanki, T., Tsunetsugu, Y., & Kagawa, T. (2014).** The influence of urban green environments on stress relief measures: A field experiment. Journal of Environmental Psychology, 38, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.12.005

**Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemelä, J., & James, P. (2007).** Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. Landscape and Urban Planning, 81(3), 167-178. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001

**Ulrich, R. S. (1984).** View through a window may influence recovery from surgery. science, 224(447), 420-421. https://www.acsouth.edu/wp-content/uploads/2021/07/Ulrich-Recovery-Window-Views.pdf

**Ulrich, R. S. (1986).** Human responses to vegetation and landscapes. Landscape and urban planning, 13, 29-44. https://www.researchgate.net/profile/Roger-Ulrich-2/publication/222935223_Human_Responses_to_Vegetation_and_Landscapes/links/5f3a84b8458515b729277a6f/Human-Responses-to-Vegetation-and-Landscapes.pdf, https://doi.org/10.1016/0169-2046(86)90005-8

**Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D., Fiorito, E., Miles, M. A., & Zelson, M. (1991).** Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology*, 11(3), 201-230. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272494405801847, https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80184-7

**UN-Habitat (2011).** Les villes et le changement climatique : orientations générales. Disponible sur : https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-

files/Les%20Villes%20et%20le%20Changement%20Climatique%20Orientations%20G%C3%A9n%C3%A9rales.pdf.
**United Nations Environment Programme (UNEP). (2004).** Environmental indicators: A systematic approach to environmental assessment. UNEP. Retrieved from https://www.unep.org
**UNFCCC. (2015).** Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change. Retrieved from https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
United Nations Environment Programme (UNEP). (2004). Environmental indicators: A systematic approach to environmental assessment. UNEP. Retrieved from https://www.unep.org
**United Nations. (2015).** Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations., https://sdgs.un.org/2030agenda
**van der Jagt, A. P. N., Elands, B. H. M., Ambrose-Oji, B., Gerőházi, E., Steen Møller, M., & Buizer, M. (2016).** Participatory governance of urban green spaces: Trends and practices in the EU. Nordic Journal of Architectural Research, 28(3), 11-40. https://arkitekturforskning.net/na/article/viewFile/853/795
**Valette, E., & Cordeau, E. (2011).** Les îlots de chaleur urbains : Répertoire de fiches connaissance. Institut Paris Région. https://www.institutparisregion.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_774/Les_ilots_de_chaleur_urbains_REPERTOIRE.pdf
**Van Kamp, I., Leidelmeijer, K., Marsman, G., & De Hollander, A. (2003).** Urban environmental quality and human well-being: Towards a conceptual framework and demarcation of concepts; a literature study. Landscape and urban planning, 65(1-2), 5-18. https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00232-3
**Ville de Marseille. (2020).** La stratégie locale partenariale en faveur de la biodiversité terrestre et marine de Marseille. Diagnostic : les enjeux en matière de biodiversité sur le territoire marseillais. https://se-deplacer.marseille.fr/sites/default/files/contenu/environnement/PDF/diagnostic_biodiversite_-_bat.pdf
**Ville de Marseille. (2021).** Rapport de développement durable 2020-2021. https://www.marseille.fr/sites/default/files/rdd_vdm_2020_2021_web.pdf
**Ville de Paris. (2021).** Paris face aux changements climatiques. Ville de Paris. https://cdn.paris.fr/paris/2021/09/22/6a5f415362b3420307bd2b247a3ede1f.pdf
**Ville de Paris. (2021).** Support de présentation - Aménagement Bd Bourdon - Réunion publique. Paris, France. Consulté dans le fichier Support de présentation - aménagement Bd Bourdon - réunion publique - Sept 2021.pdf. https://cdn.paris.fr/paris/2021/10/01/dbd8357daf8a745217bef24439bd368e.pdf
**Ville de Paris. (2023a).** Paris s'adapte au changement climatique. Consulté surhttps://www.paris.fr/pages/paris-s-adapte-au-changement-climatique-18541
**Ville de Paris. (2024).** La saison des plantations 2024-2025 est lancée : 120 nouvelles rues et places végétalisées. Consulté sur https://www.paris.fr/pages/la-saison-des-plantations-2024-2025-est-lancee-120-nouvelles-rues-et-places-vegetalisees-29620
**Ville de Paris. (2023b).** Forêt urbaine place de Catalogne : La concertation est lancée. Consulté sur https://www.paris.fr/pages/foret-urbaine-place-de-catalogne-la-concertation-est-lancee-19389
**Ville de Marseille. (2014).** Charte pour la biodiversité sur le territoire de Marseille. https://www.agam.org/wp-content/uploads/2020/02/2013-142.pdf.
**Vennetier, M., & Ripert, C. (2010).** Flore méditerranéenne et changement climatique : la course-poursuite est engagée. Forêt Méditerranéenne, 31(1), 15-24. https://hal.science/hal-03556062/file/bitstream_109829.pdf

**Vivière, M. (2015).** Les représentations sociales de la densité dans l'habitat: vers une faubourisation métropolitaine:" Fabrication, appropriation, territorialisation" (Doctoral dissertation, Université de Bordeaux).

**Vranckx, S., Vos, P., Maiheu, B., & Janssen, S. (2015).** Impact of trees on pollutant dispersion in street canyons: A numerical study. Atmospheric Environment, 103, 112-119.

**Wachsberger, J. M. (2013).** Portée et limites des indicateurs statistiques de fragmentation et de ségrégation. Ségrégation et fragmentation dans les métropoles: Perspectives internationales, In Presses Universitaires du Septentrion.

**Wamsler, C., Alkan-Olsson, J., Björn, H., Falck, H., Hanson, H., Oskarsson, T., ...& Zelmerlöw , F. (2020).** Au-delà de la participation : quand l'engagement citoyen conduit à des résultats indésirables pour les solutions fondées sur la nature et l'adaptation au changement climatique. Climatic Change , 158 , 235-254. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10584-019-02557-9.pdf

**Wang, D., Xu, P.-Y., An, B.-W., & Guo, Q.-P. (2024).** Urban green infrastructure: Bridging biodiversity conservation and sustainable urban development through adaptive management approach. *Frontiers in Ecology and Evolution*. https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1440477

**Watson, J. D., & Crick, F. H. C. (1953).** A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid. Nature, 171(4356), 737–738.

**Weng, Q. (2001).** A remote sensing–GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International Journal of Remote Sensing*, 22(10), 1999-2014. https://doi.org/10.1080/01431160118837

**Wittgenstein, L. (1961).** Tractatus Logico-Philosophicus (P. Klossowski, Trad.). Paris : Gallimard. (Œuvre originale publiée en 1921).

**Vlès, V., Berdoulay, V., & Clarimont, S. (2005).** Espaces publics et mise en scène de la ville touristique. https://shs.hal.science/halshs-00694757/file/EPT_2005.pdf

**Wolch, J. R., Byrne, J., & Newell, J. P. (2014).** Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. Landscape and urban planning, 125, 234-244. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017

**World Health Organization. (2021).** Etablissements de santé résilients face au changement climatique et écologiquement viables: orientations de l'OMS. World Health Organization.

**Wu, J., & Wu, T. (2013).** Ecological resilience as a foundation for urban design and sustainability. *In* S. Pickett, M. Cadenasso, & B. McGrath (Eds.), *Resilience in ecology and urban design* (*Future City*, Vol. 3). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5341-9_10

**Wulder, M. A., & Franklin, S. E. (2006).** Understanding Forest Disturbance and Spatial Pattern: Remote Sensing and GIS Approaches. CRC Press.

**Yang, B., & Li, S. (2016).** Design with Nature: Ian McHarg's ecological wisdom as actionable and practical knowledge. Landscape and Urban Planning, 155, 21-32. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.04.010

**Zaafrane, H. (2021).** Tunisie : Politique urbaine nationale. Note sur le développement économique local et la politique urbaine.. https://urbanpolicyplatform.org/wp-content/uploads/2022/01/Developpement-economique-local.pdf

**Zennir, R. (2019).** L'étalement urbain dans la grande agglomération d'Annaba entre mécanismes et mutations : Cas d'étude des communes d'Annaba et d'El Bouni (Nord-Est Algérien) [Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba]. Université Badji Mokhtar Annaba. https://biblio.univ-annaba.dz

**Zsombor-Murray, P. J. (2020).** *Remote Sensing with Google Earth Engine: Using Cloud-Based Geospatial Data Processing*. Springer.

**ZUFFEREY, J (2015).** Relations entre santé et espaces verts et bleus : une synthèse de la recherche empirique, 2003-2014. Natures Sciences Sociétés, 2015/4 Vol. 23, pp. 343-355. https://doi.org/10.1051/nss/2015057.

**Zurqani, H. A., Post, C. J., Mikhailova, E. A., Schlautman, M. A., & Sharp, J. L. (2018).** Geospatial analysis of land use change in the Savannah River Basin using Google Earth Engine. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 69, 175-185. https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.006

# Annexes

# Annexe A

## La trame verte un moyen pour allier culture et nature : Cas de l'Hemesher Parc

Le Parc Paysager de l'Emscher (Emscher Landschaftspark) est un vaste réseau de parcs régionaux situé dans le nord de la région de la Ruhr, en Rhénanie-du-Nord-Westphalie, Allemagne. La **Figure. 180.** localise la Région de la Ruhr (en rouge) dans le Land de Rhénanie du Nord" "Westphalie (en rose), en Allemagne (en gris) . Il consiste en un ambitieux programme de requalification d'un grand territoire industriel faisant partie du bassin sidérurgique de la Ruhr. Des friches industrielles qui étaient certes le symbole du déclin, mais chargées d'histoire, elles faisaient partie prenante de la mémoire du lieu, du paysage de la ville et de la mémoire collective des habitants. Ce projet de coopération régionale entre plusieurs villes post-industrielles vise à créer un système cohérent de parcs et à régénérer l'environnement naturel de la zone.(Urban nature Atlas,2021)

Une composante notable de ce réseau est le Landschaftspark Duisburg-Nord, aménagé sur le site de l'ancienne aciérie de Duisbourg-Meiderich. Ce parc public unique intègre des structures industrielles historiques dans un cadre naturel, offrant ainsi une combinaison distinctive de patrimoine industriel et de nature. (Landschaftspark Duisburg-Nord,s.d.)

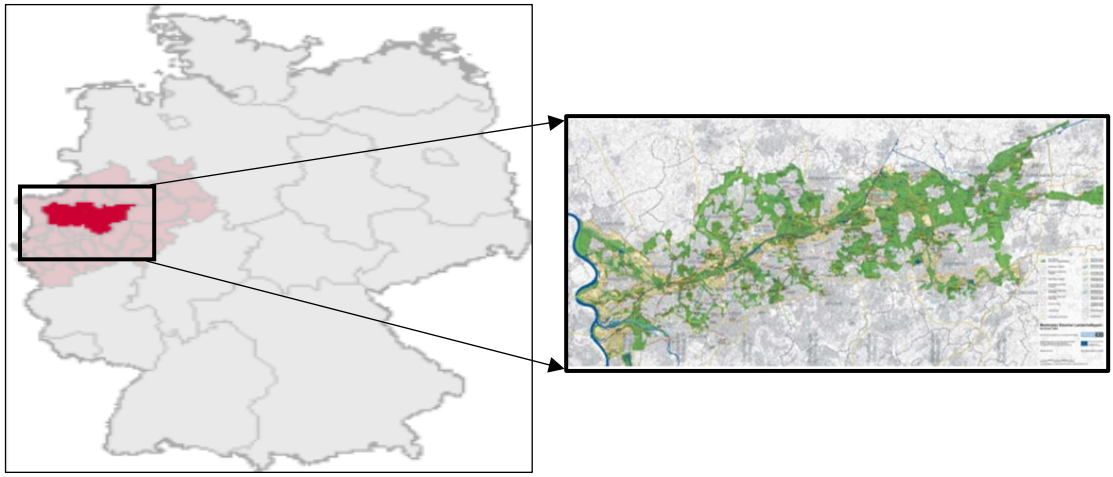


Figure 180.Situation de l'Hemsher Park

Le souci était donc : comment donner un renouveau à ce territoire, tout en tenant compte de cet héritage industriel ? Les principes fondamentaux et les idées directrices sous-tendant l'aménagement du parc paysager de l'Emscher étaient surtout comment allier culture et nature dans un territoire en déclin .Donc afin de régénérer un territoire de 800 Km2, IBA a posé un regard neuf sur ce pays et adopté une démarche embellie du territoire en suivant plusieurs concepts fondateurs :

- Le passé comme levier pour l'aménagement et le développement ;
- Un changement d'image qui passe par l'Art, la Culture et la Nature

- Une volonté écologique marquée pour un territoire plus attractif ;
- La qualité des projets et une création imaginative du paysage.
- La protection, la mise en réseau et la qualification des espaces libres existants, l'aménagement de parc d'un genre inédit sur d'anciens sites et la réalisation d'une infrastructure au sein des parcs[102].

**Figure 181.**Des vues sur l'Hemesher Park

Un changement d'image dans la vallée du Ruhr a permis de passer d'un territoire industriel en déclin à un territoire renouvelé plus attractif. Le projet de l'IBA a été conduit suivant cinq axes stratégiques :

- L'aménagement d'une coulée verte au cœur du territoire ;
- La restauration écologique de la rivière de l'Hemscher ;
- La valorisation du patrimoine industrielle par l'art, la culture et la nature ;
- Travailler dans le parc à travers le développement d'activités nouvelles ;
- Habiter dans le parc, Rénover et construire de l'habitat de qualité[103] .

**Figure 182.**Les différentes actions ayant guidé le renouvellement de L'Hemsher parc en déclin (conception auteure)

[102] IBA IMSHER PARK, https://mcc.gouv.qc.ca/fileadmin/documents/agenda21/fiche-IBA-27oct2010.pdf
[103] Agence d'urbanisme pour le développement de l'agglomération Lyonnaise, 2008

Le Mont Tremblant un deuxième exemple qui a suscité l'intérêt .Il est situé dans les Laurentides au Québec, c'est l'une des destinations touristiques des plus appréciées du Canada, et même de l'Amérique du Nord, grâce à son paysage naturel vert et bleu remarquable, ainsi qu'à ses nombreuses qualités récréatives. Le développement ou le renforcement de l'attractivité touristique de cette région repose en grande partie sur l'affirmation de son image de marque en tant que destination écologique et récréative par excellence. ( Bouhelouf, Hadjiedj, & Dubois-Maury, 2019)

**Figure 182.**Les espaces verts et bleus du Le Mont Tremblant

En effet, la préservation des espaces naturels et la conservation de la beauté des paysages du territoire du lac Mont tremblant représentent des éléments de grande fierté pour les générations de citoyen(ne)s qui, guidé(e)s par une forte volonté de préserver les milieux naturels, ont su préserver notre environnement au fil du temps. Encore aujourd'hui, la protection accrue de l'environnement et de la biodiversité ainsi que la préservation du mode de vie de villégiature où l'aspect sauvage et l'environnement priment sont ce qui constitue le fondement philosophique de Lac-Tremblant-Nord. Il est reconnue pour la beau é de son patrimoine naturel et pour la qualité de sa riche biodiversité (Guide du citoyen, 2024)

Ces deux exemples ont permis de voir la requalification d'une part d'un territoire industriel en friches en un grand parc, et en second un territoire vierge ayant servi comme support et atout pour un projet touristique, dont la finalité est de rendre attractive par un potentiel vert local.

## Annexe B : structures urbaine de modèles de villes

**-Barcelone, Espagne :** Barcelone illustre parfaitement l'utilisation du concept de structure comme base de son développement urbain, combinant organisation spatiale, intégration écologique et cohérence sociale. Son urbanisme repose sur une planification rigoureuse qui intègre une vision fonctionnelle et environnementale adaptée aux défis contemporains. Cette structuration a été initiée au XIX$^{e}$ siècle avec le Plan Cerdà, conçu par Ildefons Cerdà, qui a révolutionné l'organisation de la ville en instaurant une trame urbaine régulière basée sur des blocs carrés de 113 mètres de côté avec des coins chanfreinés à 45 degrés. Cette conception visait à améliorer la mobilité urbaine, l'éclairage naturel, la ventilation des rues et l'intégration des espaces verts dans la ville. Cependant, au fil du temps, des modifications ont été apportées, notamment une augmentation de la hauteur des bâtiments et une réduction des espaces verts initiaux, en raison de la spéculation immobilière et de la densification urbaine(Pallares-Barbera, Badia & Duch, 2011). Avec ses îlots ouverts aux angles échancrés, a non seulement amélioré la fluidité des déplacements, mais a également permis une meilleure répartition des espaces publics et verts, garantissant ainsi une meilleure qualité de vie pour les habitants(**Figure 183**).

**Figure 183** le plan de Cerdà : une ville ouverte, égalitaire et verte .Source : https://acheterenespagne.fr/eixample-naissance-de-la-barcelone-moderniste

L'intégration des espaces verts dans cette trame urbaine constitue une dimension essentielle de cette structuration. La planification de Barcelone a toujours cherché à insérer la nature dans la ville, non pas comme un simple élément décoratif, mais comme une composante structurelle permettant de réduire les effets des îlots de chaleur urbains et de créer des espaces de respiration au cœur de la densité urbaine. Le Parc de la Ciutadella et les nombreux parcs de quartier qui jalonnent Barcelone illustrent cette volonté d'inscrire le végétal dans la trame urbaine (Institut de Paris, 2022). Cette planification verte s'est poursuivie à travers le développement des superblocks modernes, où certaines rues sont piétonnisées et transformées en espaces végétalisés, démontrant ainsi que la structure urbaine de Barcelone est un modèle flexible, capable d'évoluer pour répondre aux impératifs environnementaux et sociaux actuels.

L'usage de la structure comme approche urbaine se manifeste également dans l'intégration de l'architecture à la trame de la ville. Loin d'être des entités isolées, les bâtiments iconiques de Barcelone s'insèrent harmonieusement dans cette structure pensée à grande échelle. Des figures comme Antoni Gaudí ont marqué cette dynamique en concevant des œuvres architecturales qui transcendent l'esthétique pour devenir de véritables éléments structurels, à la fois fonctionnels et en interaction avec leur environnement.

Des édifices comme la Sagrada Família, le Parc Güell ou la Casa Milà témoignent de cette approche où l'architecture dialogue avec son contexte urbain, exploitant des formes inspirées de la nature et intégrant des principes structurels avancés pour optimiser la lumière, la ventilation et l'ergonomie des espaces. Cette articulation entre l'urbanisme et l'architecture illustre une cohérence structurelle, où chaque composante de la ville est pensée en relation avec l'ensemble. Au-delà de son organisation physique, Barcelone adopte également une structure sociale et culturelle, qui s'exprime à travers ses espaces publics conçus comme des pôles d'interaction et d'animation. Des places emblématiques comme la Plaça de Catalunya ou les Rambles témoignent de cette organisation fonctionnelle, où l'espace n'est pas seulement structuré pour des usages spécifiques, mais aussi pour favoriser la vie collective et le dynamisme économique (Vlès et al., 2005). Ces espaces ne sont pas de simples zones de passage ; ils participent activement à la trame urbaine en jouant un rôle fondamental dans la connectivité des quartiers et dans la structuration des échanges sociaux.

L'approche structurelle de Barcelone ne se limite pas à un héritage historique ; elle continue d'évoluer pour répondre aux nouveaux enjeux urbains et environnementaux. L'aménagement des superblocks contemporains, qui réintroduisent la nature en milieu dense et réduisent la dépendance à l'automobile, témoigne de la capacité d'adaptation de cette trame urbaine structurée. La réduction des émissions de CO2, la gestion optimisée de la mobilité et l'amélioration de la qualité de vie démontrent que la structure de Barcelone est un modèle dynamique, qui conjugue planification rigoureuse et innovation. Ainsi, Barcelone illustre parfaitement l'usage du concept structure comme approche urbaine globale, où chaque élément, qu'il soit spatial, écologique ou social, s'inscrit dans une logique d'organisation et de continuité. La ville démontre qu'une trame urbaine bien pensée, capable d'intégrer la nature, l'architecture et les dynamiques sociales, peut évoluer sans perdre sa cohérence. Cette approche structurée, fondée sur une interaction entre planification, résilience et adaptation, fait de Barcelone une référence en matière d'urbanisme durable, où la structure est pensée comme un outil de régulation et d'harmonisation entre développement urbain et qualité de vie.

**-Brasília, Brésil :** Brasília, la capitale moderne du Brésil, conçue par l'architecte Oscar Niemeyer et l'urbaniste Lucio Costa dans les années 1950, est un exemple emblématique de planification urbaine fondée sur les principes du modernisme**(Figure 184**). La ville a été imaginée comme une structure urbaine entièrement nouvelle, destinée à incarner le développement futuriste et l'essor économique du pays. Conçue dans le cadre d'une mission gouvernementale visant à déplacer la capitale vers l'intérieur du pays pour encourager le développement régional, Brasília est structurée autour de deux axes principaux en croix, symbolisant la centralité et l'ordre. Le long de ces axes, Costa a organisé des zones résidentielles, administratives et fonctionnelles, chaque secteur étant clairement délimité selon sa fonction (Herbert., 1999).

L'axe principal, appelé « l'axe monumental », constitue l'épine dorsale de la structure urbaine de Brasília. Il abrite les principales institutions gouvernementales, telles que le palais présidentiel, la cour suprême et divers ministères. Cette structure linéaire et monumentale reflète l'idéal moderniste de rationalité et d'efficacité, tout en intégrant de vastes espaces ouverts et des perspectives dégagées (**Figure 185**), symbolisant le pouvoir et l'autorité (Holston, 1989). Le long de cet axe, la structure urbaine de Brasília met l'accent sur des proportions géométriques, avec un urbanisme dicté par des lignes épurées et des bâtiments isolés, renforçant l'aspect monumental et symbolique de la capitale.

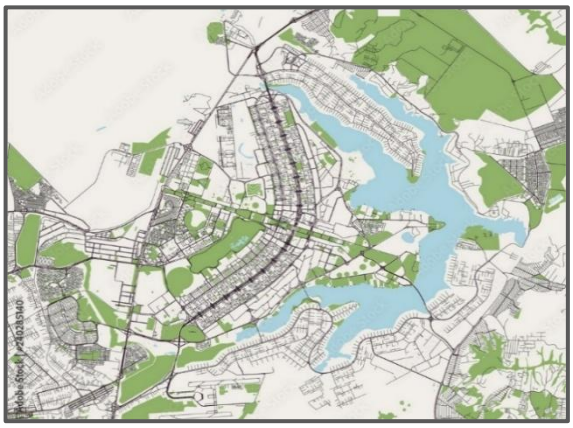


**Figure 184.**Carte de la ville de Brasilia, capitale du Brésil. Source: Par tish11 https://as2.ftcdn.net/v2/jpg/02/40/28/51/1000_F_240285140_nIRu1H6wSTxmGsIuLc4CKIKiwUi9Sls6.jpg

**Figure 185.** Une Vue de Brasilia. Source: (Photo : CC/Flickr.com | Ariel López) https://www.flickr.com/

La conception de la structure urbaine de Brasília se caractérise par ses « superquadras », des blocs résidentiels intégrant des infrastructures modernes, des espaces verts et des équipements collectifs (Holston, 1989). Ces unités, disposées de manière régulière dans les quartiers résidentiels, constituent un élément central de la trame urbaine de la ville. Elles répondent aux besoins des habitants en termes de logement, de loisirs et d'interactions sociales, tout en respectant les principes modernistes de rationalité et d'ordre. Une caractéristique notable de cette organisation est la séparation distincte des fonctions urbaines — habitat, travail, loisirs — qui vise à optimiser l'efficacité fonctionnelle et la régulation de l'espace (Herbert, 1999). Ces blocs résidentiels ont été conçus pour améliorer la qualité de vie des résidents, notamment par l'intégration d'espaces verts et d'infrastructures communautaires, favorisant ainsi le bien-être social et la durabilité environnementale (Marini, 2014). Brasília illustre ainsi une approche urbanistique moderniste qui cherche à équilibrer les besoins humains avec des principes de planification rationnelle. Les superquadras ne représentent pas seulement des structures résidentielles, mais expriment également une vision architecturale et sociale destinée à créer une ville fonctionnelle et harmonieuse. Par ailleurs, l'intégration d'espaces verts, tant au sein des superquadras que le long des axes principaux, ne répond pas uniquement aux besoins récréatifs des habitants, mais constitue également une stratégie environnementale cruciale. Ces espaces végétalisés participent à la régulation thermique, à la gestion des eaux pluviales et à l'amélioration de la qualité de l'air, tout en créant un cadre de vie agréable et cohérent. En s'inscrivant dans les principes modernistes de rationalité et de

cohérence esthétique, les espaces verts de Brasília incarnent une approche durable de l'urbanisme (Nunes & Bandeira,2004.; Herbert, 1999).

En termes de mobilité urbaine, Brasília a été pensée pour faciliter la circulation automobile. Les grandes avenues et les vastes espaces ouverts, essentiels à la structure fonctionnelle de la ville, reflètent une époque où la voiture individuelle était perçue comme le mode de transport principal du futur . Cependant, cette dépendance à l'automobile a rapidement soulevé des critiques concernant l'accessibilité pour les piétons et les transports en commun. De plus, la structure urbaine rigide de Brasília, bien que fonctionnelle, a généré des tensions sociales. Les classes populaires, notamment, se sont vues reléguées aux périphéries, loin du centre administratif, accentuant une fracture sociale et spatiale. Ce contraste entre la conception théorique de la structure urbaine et les réalités sociales a suscité un débat sur les limites du modernisme en urbanisme. Alors que Brasília incarne parfaitement les idéaux modernistes de monumentalité, de fonctionnalité et d'ordre, la ville est également devenue un exemple des défis posés par une conception urbaine qui privilégie les formes géométriques au détriment des dynamiques sociales. Les critiques soulignent que la structure urbaine de Brasília, bien qu'esthétiquement cohérente, manque d'humanité et d'interactions sociales spontanées, ce qui renforce les inégalités. La structure urbaine de Brasília incarne les idéaux modernistes d'ordre, de fonctionnalité et de monumentalité, tout en soulevant des questions sur les défis liés à l'accessibilité, à la mobilité et à l'inclusivité sociale. La ville est un exemple fascinant de l'application des principes de l'urbanisme moderniste, mais elle illustre également les tensions entre la forme urbaine et la réalité sociale d'une capitale en pleine expansion.

**-Curitiba, Brésil :** Curitiba, au Brésil, est souvent présentée comme un modèle de planification urbaine durable et d'innovation, notamment en matière de transport en commun. L'une des initiatives les plus remarquables est la mise en place du système de bus à haut niveau de service (Bus Rapid Transit, ou BRT) dans les années 1970, sous la direction de l'urbaniste Jaime Lerner. Ce système, révolutionnaire pour son époque, a permis de structurer la mobilité urbaine autour de corridors exclusivement dédiés aux bus. Il offre une solution de transport rapide, efficace et économiquement viable, tout en intégrant des principes de durabilité et d'équité sociale (Rabinovitch, 1996 ; Mata Otero, 2010).Ce modèle a influencé de nombreuses autres villes à travers le monde et démontre comment des infrastructures de transport bien conçues peuvent non seulement améliorer la mobilité, mais aussi structurer l'urbanisme dans son ensemble.

Le système de Bus Rapid Transit (BRT) de Curitiba illustre de manière exemplaire comment une ville peut structurer ses infrastructures de transport pour répondre aux défis contemporains de mobilité et de durabilité. Organisé autour de cinq corridors principaux qui relient les quartiers périphériques au centre-ville, le réseau suit une trame fonctionnelle bien pensée. Cette structure radiale optimise la fluidité des déplacements tout en réduisant la congestion automobile. En limitant la dépendance aux véhicules individuels et aux combustibles fossiles, le BRT de Curitiba s'inscrit dans une approche stratégique alignée sur les objectifs globaux de réduction des émissions de carbone et de promotion de la durabilité urbaine (Ardila-Gómez, 2004). Le système de transport de Curitiba est un exemple réussi de l'intégration entre structure urbaine et structure de mobilité, où le transport en commun devient un élément central du développement urbain.( Figure 186 et 187.)

En parallèle de son réseau de transport, Curitiba a également mis en œuvre des politiques pionnières en matière de gestion environnementale, notamment à travers le développement de nombreux parcs et espaces verts ,ou elle donna la priorité à la préservation de la biodiversité dans ses pratiques de planification urbaine, d'ailleurs elle a reçu une reconnaissance internationale pour ses efforts en matière de création de zones protégées et de gestion des forêts urbaines **(Figure 188 et 189).** Ces espaces verts sont intégrés dans la trame écologique de la ville (Urban Agenda Platform. (n.d.). Ces infrastructures vertes, en plus de leur fonction récréative, font partie intégrante de la structure environnementale de Curitiba . Elles démontrent l'importance d'une approche intégrée de l'urbanisme, où l'écologie et la résilience sont au cœur de la planification. Les parcs de la ville, tels que le Parc Barigui et le Jardim Botânico, servent non seulement d'espaces récréatifs, mais sont également conçus pour absorber les eaux de crue et créer des zones tampons écologiques.

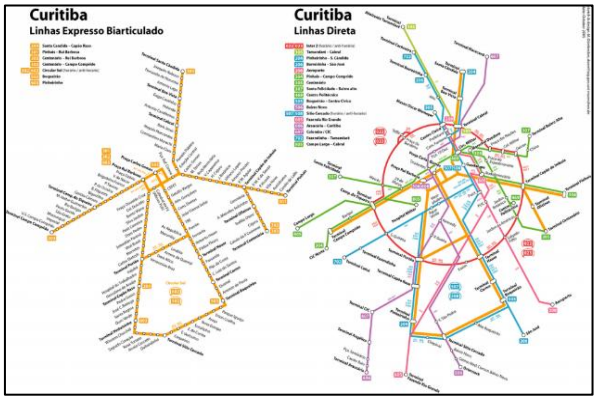



**Figure 186.**Le système de transport de Curitiba (réseau de bus) .Source : https://i0.wp.com/www.urbanews.fr/wp-content/uploads/2014/06/bus_lignes_curitiba.png

**Figure 187**.Vues sur le réseau de bus .Source : https://i0.wp.com/www.urbanews.fr/wp-content/uploads/2014/06/curitiba_bus.jpg

**Figure. 188**. Curitiba l'une des 10 meilleures villes leaders en matière de biodiversité Source:https://constructive-voices.com/wp-content/uploads/2023/07/Curitiba-Brazil-an-image-of-the-city-with-green-spaces.jpg

**Figure 189.** Curitiba, élue ville la plus verte du Brésil. Source : https://www.brasilbresil.com/wp-content/uploads/2018/03/curitiba.jpg

Les initiatives environnementales et de transport de Curitiba s'alignent sur les concepts de résilience urbaine décrits dans Résilient Cities par Newman, Beatley et Boyer (2017), qui

soulignent l'importance de développer des infrastructures flexibles et adaptatives pour répondre aux défis environnementaux. De même, l'approche de Curitiba est conforme aux principes qui insistent sur l'importance de s'adapter aux impacts du changement climatique à travers des infrastructures résilientes. Les parcs de Curitiba, par exemple, sont un exemple clair de structure urbaine multifonctionnelle, combinant esthétique, environnement et résilience.

Curitiba démontre que la planification urbaine durable peut être réalisée par une combinaison stratégique de transports en commun efficaces et d'une trame verte intégrée, permettant à la ville de répondre aux défis contemporains tout en offrant un environnement urbain plus sain et plus résilient. Les systèmes de transport et les infrastructures vertes de Curitiba continuent d'être une source d'inspiration pour les villes du monde entier cherchant à équilibrer croissance urbaine et durabilité. Elle a également adopté une stratégie intégrée de recyclage et de gestion des déchets, avec des programmes tels que l'échange de matériaux recyclables contre des tickets de bus ou de la nourriture, renforçant la structure sociale et environnementale de la ville. Cette approche novatrice montre comment des politiques publiques peuvent être structurées pour encourager des comportements durables tout en améliorant la qualité de vie des citoyens.

Elle illustre parfaitement comment une ville peut construire une structure urbaine durable et résiliente en combinant des systèmes de transport novateurs, des espaces verts bien planifiés et des politiques environnementales cohérentes. Ces initiatives montrent que la durabilité et la résilience peuvent être des éléments centraux de la structure fonctionnelle d'une ville, influençant positivement sa qualité de vie et sa capacité à faire face aux défis futurs.

**-Copenhague, Danemark :** Copenhague, au Danemark, est régulièrement mise en avant comme un modèle de ville cyclable, grâce à son vaste réseau de pistes cyclables et à une politique d'urbanisme qui favorise les modes de vie durables et améliore la qualité de vie de ses résidents. Jan Gehl, (2013), décrit comment Copenhague a transformé son cadre urbain pour prioriser les piétons et les cyclistes, réduisant ainsi la dépendance aux véhicules motorisés et favorisant une mobilité plus verte . La ville a développé une trame urbaine qui intègre pleinement les pistes cyclables dans la structure de la ville, avec des voies dédiées et sécurisées permettant aux cyclistes de se déplacer librement dans l'ensemble de la ville. Cette approche novatrice a non seulement amélioré la qualité de l'air et réduit les nuisances sonores, mais a également contribué à créer un espace urbain plus interactif et social, où les espaces publics sont valorisés et fréquemment utilisés par les citoyens.

Le succès de la structure cyclable de Copenhague repose en grande partie sur une planification urbaine cohérente, qui a permis de réorganiser la ville autour de la mobilité douce. La ville s'est dotée d'infrastructures cyclables de haute qualité, comprenant des ponts exclusivement réservés aux cyclistes, des stationnements sécurisés pour vélos et des systèmes de priorité aux feux pour les cyclistes, transformant ainsi la structure de mobilité de la ville. Cette intégration intelligente de la bicyclette dans la trame urbaine a favorisé non seulement une meilleure mobilité mais aussi une interaction accrue entre les citoyens, renforçant la cohésion sociale et le bien-être .

Au-delà de la promotion du cyclisme, Copenhague est également un modèle en matière de gestion environnementale. La ville s'est engagée à devenir neutre en carbone d'ici 2025, et son plan d'urbanisme met l'accent sur l'utilisation de sources d'énergie renouvelables, la gestion efficace des ressources et le verdissement des espaces publics. Copenhague a aménagé de nombreux parcs urbains et espaces verts qui s'intègrent parfaitement à la trame environnementale de la ville (**Figure 190** ), permettant une régulation thermique naturelle, une meilleure gestion des eaux pluviales et

la création d'espaces de loisirs pour les résidents . Ces parcs urbains ne sont pas seulement des espaces de détente, mais jouent un rôle dans la régulation de l'écosystème urbain et l'amélioration de la résilience environnementale.

L'engagement de Copenhague envers le cyclisme et la durabilité s'inscrit dans un contexte plus large de recherche de solutions urbaines qui répondent aux défis environnementaux contemporains, tout en améliorant le bien-être social et économique. La structure urbaine durable de Copenhague montre comment une ville peut réorganiser ses infrastructures pour non seulement minimiser l'impact environnemental, mais aussi renforcer l'interaction sociale et la qualité de vie. Les stratégies mises en œuvre par la ville, telles que la promotion du cyclisme et le développement des espaces publics verts (**Figure 1**91), servent de modèle pour d'autres métropoles cherchant à promouvoir des transports durables et à améliorer l'interaction sociale dans les espaces urbains .

**Figure 190.**La nature prend place en ville .Source: Brøndby Garden City Danemark

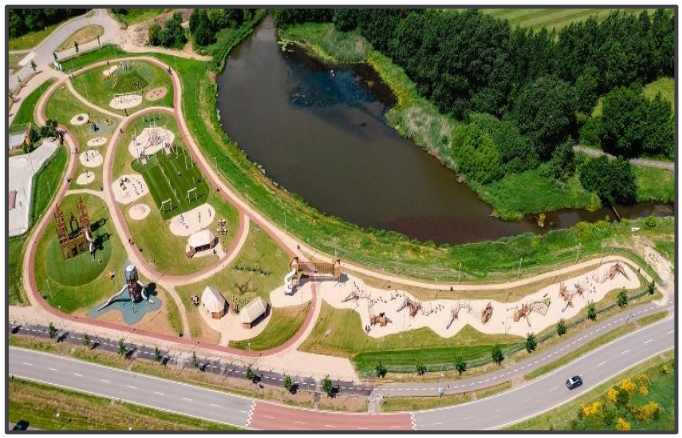


**Figure 191.**Une aire de jeux sur-mesure en hommage aux monuments historiques de la ville (Danemark). Source: https://www.proludic.fr/wp-content/uploads/sites/2/2023/09/Header_EDC_Ribe.jpg

Les villes modèles mentionnées précédemment ont exercé une influence déterminante sur les théories urbaines et l'urbanisme contemporain, notamment par leur approche novatrice de la structure urbaine dans la planification, la conception et le développement durable. En repensant la manière dont la structure spatiale des villes est organisée, ces villes ont su créer des environnements urbains plus fonctionnels, plus vivables et mieux adaptés aux enjeux écologiques contemporains. Leur exemple a inspiré de nombreuses villes à travers le monde à intégrer ces principes dans leur propre urbanisme.

Dans les théories urbaines modernes et les modèles de villes durables, le concept de structure urbaine occupe une place centrale. Il désigne l'organisation spatiale et hiérarchique des éléments constitutifs de la ville : les quartiers résidentiels, les infrastructures de transport, les espaces verts, les zones commerciales, les équipements publics, et les espaces de loisirs. Cette

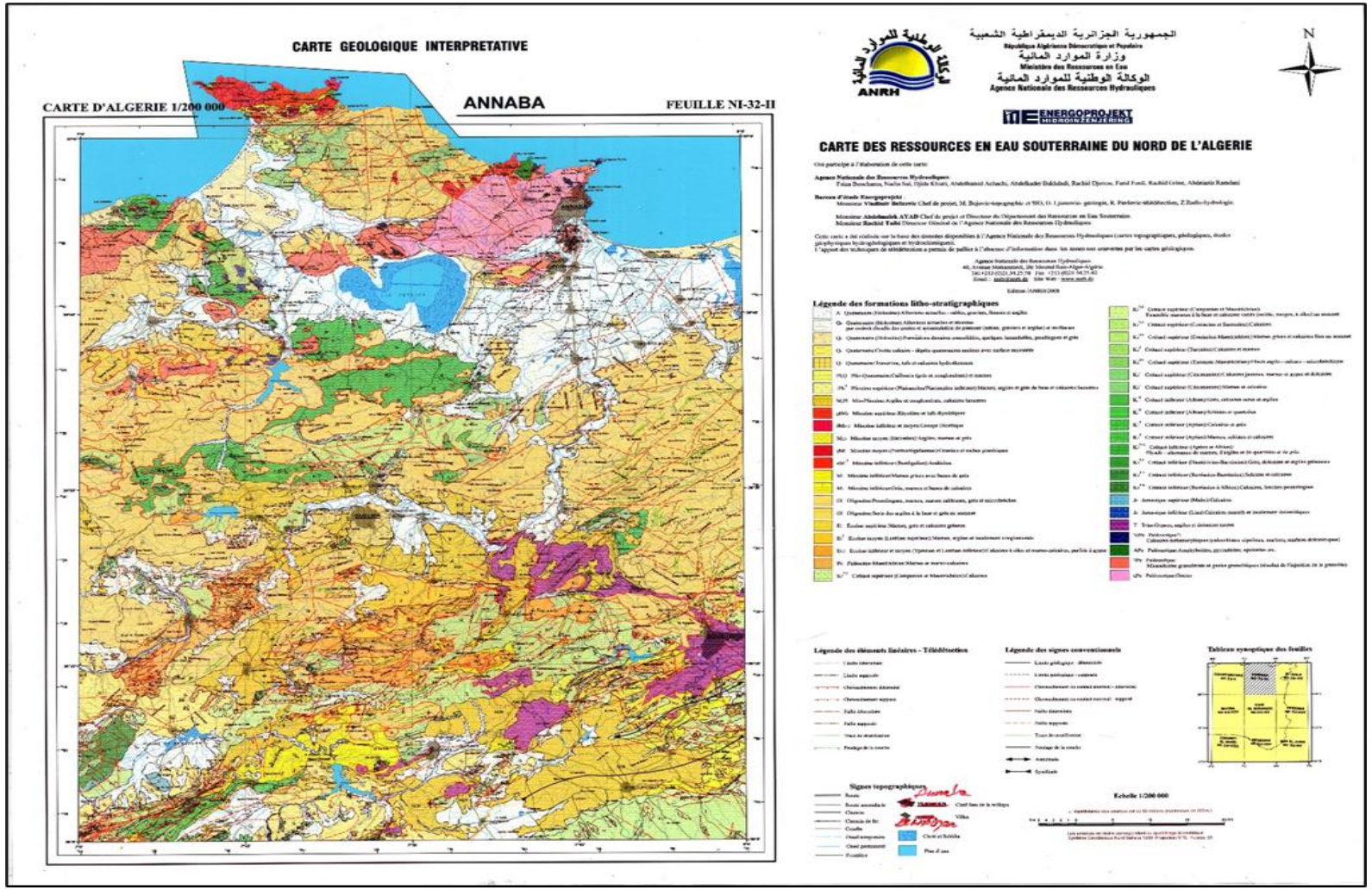
structure ne se limite pas à une simple disposition géographique ; elle façonne la manière dont la ville fonctionne et évolue.

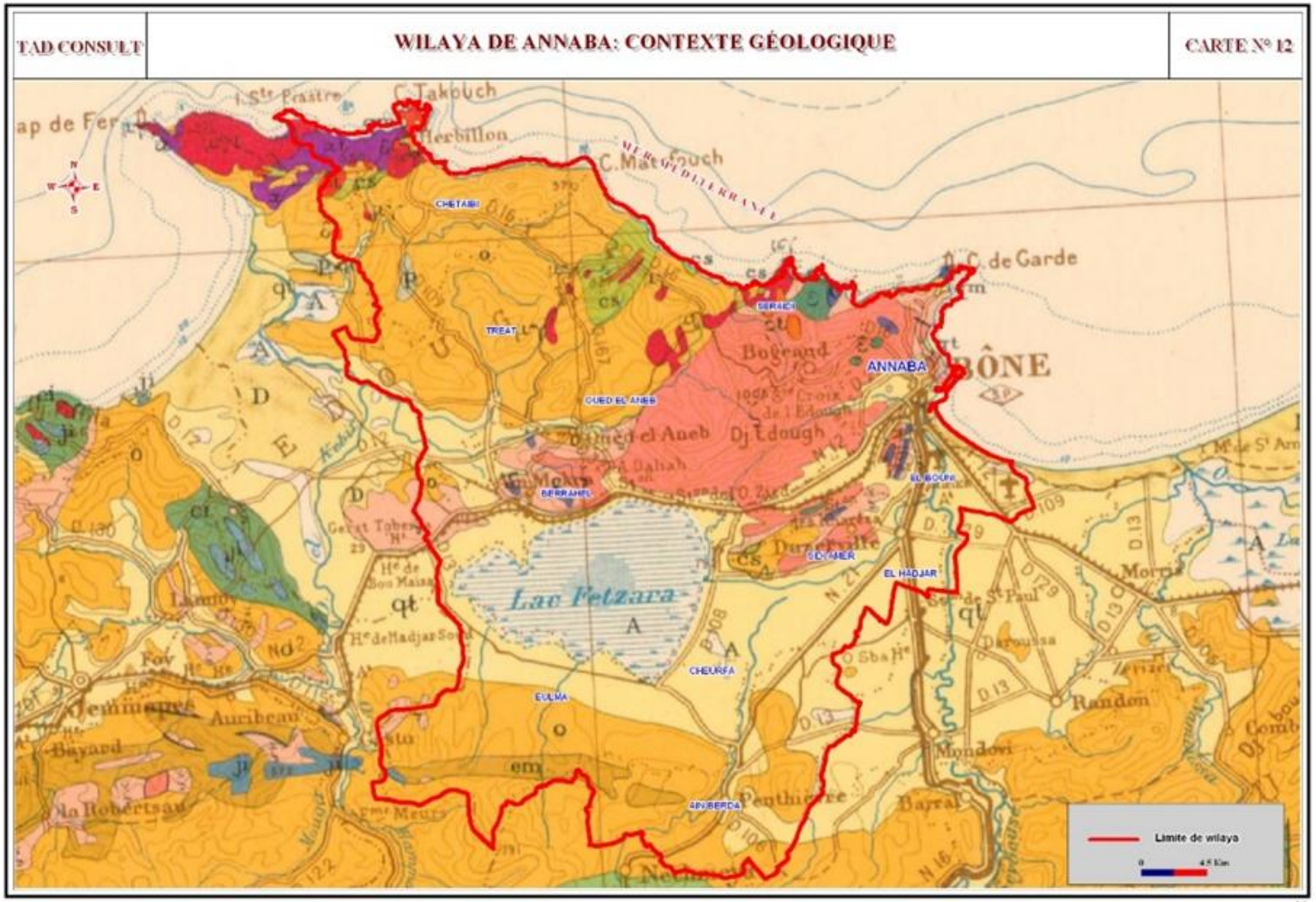
Une structure urbaine bien conçue influence directement la mobilité des habitants, l'accès aux services essentiels, et l'organisation des activités économiques et sociales. En répartissant judicieusement les fonctions urbaines, elle favorise la mixité sociale et la cohésion entre les différents secteurs de la ville, tout en veillant à la durabilité environnementale. La structure des infrastructures, notamment en matière de transport et de gestion des ressources, détermine également la résilience de la ville face aux crises écologiques et aux pressions démographiques.

L'importance de la structure urbaine réside également dans sa capacité à anticiper l'évolution des villes. Elle doit être suffisamment flexible pour s'adapter aux défis futurs, tout en intégrant des éléments de durabilité dès la phase de conception. Les villes qui réussissent à intégrer une structure urbaine durable ne se contentent pas de répondre aux besoins actuels ; elles préparent aussi le terrain pour des développements à long terme, permettant ainsi une croissance harmonieuse tout en préservant leur identité et leur patrimoine.

# Annexe C

## Cartes Annaba :Altimétrie et géologie

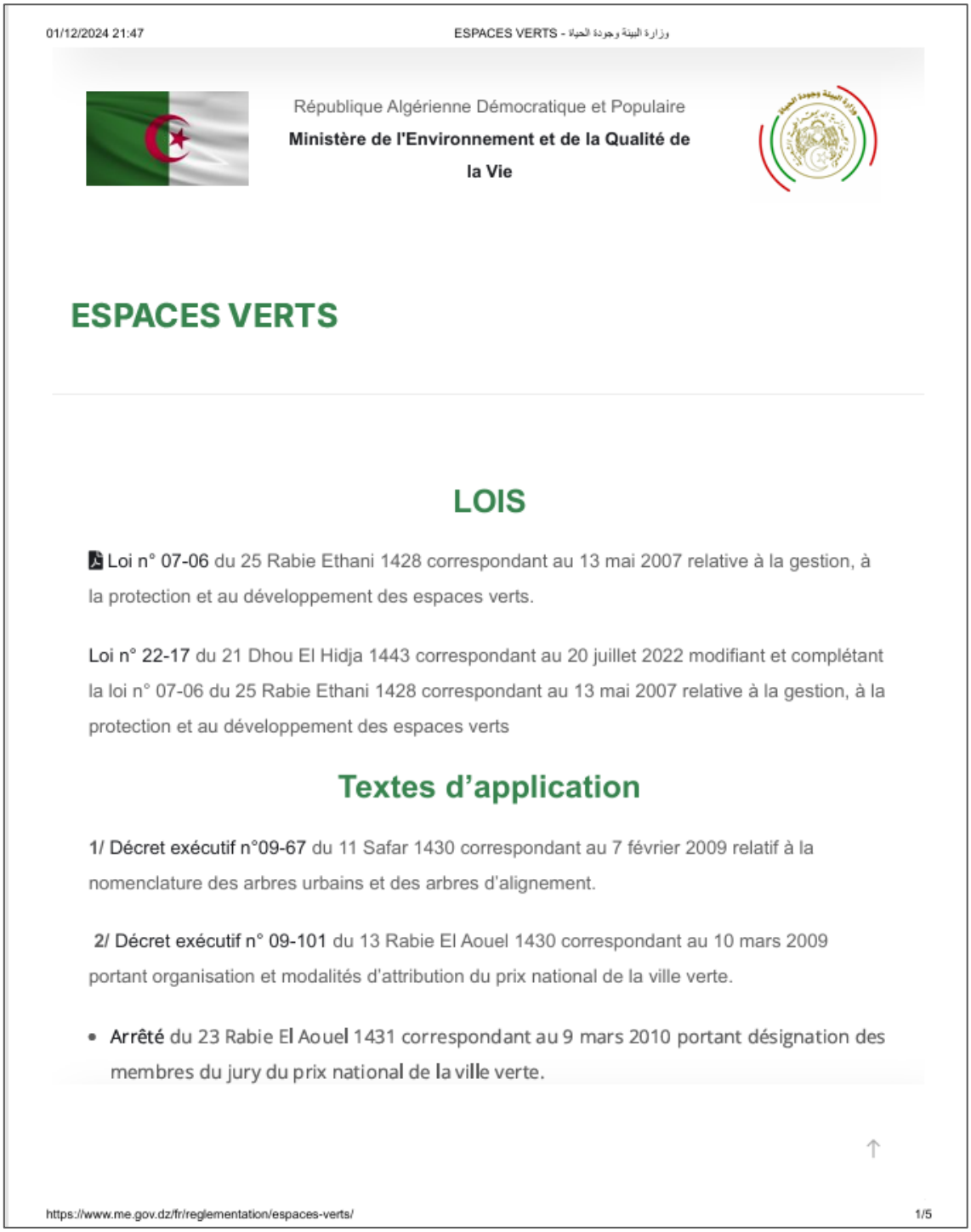



TAD CONSULT
WILAYA DE ANNABA: CONTEXTE GÉOLOGIQUE
CARTE N° 12
C.Takouch
Herbillon
C. de Garde
CHETAIBI
TREAT
SERAIDI
ANNABA
BÔNE
OUED EL ANEB
Dj Edough
EL BOUNI
BERRAHEL
SIDI AMER
EL HADJAR
Lac Fetzara
CHEURFA
EULMA
Randon
Mondovi
Bayard
ANNABERDA
Limite de wilaya
41

# Annexe D

## Lois et Réglementations sur les Espaces Verts en Algérie

L'aménagement et la protection des espaces verts en Algérie sont encadrés par un ensemble de lois et de textes réglementaires définissant les responsabilités et les modalités de gestion de ces zones essentielles à l'environnement urbain.



01/12/2024 21:47 ESPACES VERTS - وزارة البيئة وجودة الحياة

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Environnement et de la Qualité de la Vie**

### ESPACES VERTS

#### LOIS

Loi n° 07-06 du 25 Rabie Ethani 1428 correspondant au 13 mai 2007 relative à la gestion, à la protection et au développement des espaces verts.

Loi n° 22-17 du 21 Dhou El Hidja 1443 correspondant au 20 juillet 2022 modifiant et complétant la loi n° 07-06 du 25 Rabie Ethani 1428 correspondant au 13 mai 2007 relative à la gestion, à la protection et au développement des espaces verts

#### Textes d'application

1/ Décret exécutif n°09-67 du 11 Safar 1430 correspondant au 7 février 2009 relatif à la nomenclature des arbres urbains et des arbres d'alignement.

2/ Décret exécutif n° 09-101 du 13 Rabie El Aouel 1430 correspondant au 10 mars 2009 portant organisation et modalités d'attribution du prix national de la ville verte.

- Arrêté du 23 Rabie El Aouel 1431 correspondant au 9 mars 2010 portant désignation des membres du jury du prix national de la ville verte.

https://www.me.gov.dz/fr/reglementation/espaces-verts/ 1/5

- Arrêté du 28 Chaâbane 1434 correspondant au 7 juillet 2013 fixant le règlement du concours national de la ville verte, les modalités de candidature ainsi que les conditions et les critères techniques du prix national de la ville verte, sa nature et sa consistance.
- Arrêté du 9 Chaâbane 1439 correspondant au 25 avril 2018 portant désignation des membres du jury du prix national de la ville verte.
- Arrêté du Aouel Joumada Ethania 1440 correspondant au 6 février 2019 modifiant et complétant l'arrêté du 28 Chaâbane 1434 correspondant au 7 juillet 2013 fixant le règlement du concours national de la ville verte, les modalités de candidature ainsi que les conditions et les critères techniques du prix national de la ville verte, sa nature et sa consistance.

3/ Décret exécutif n° 09-115 du 11 Rabie Ethani 1430 correspondant au 7 avril 2009 fixant les modalités d'organisation et de fonctionnement de la commission interministérielle des espaces verts.

- Arrêté du 23 Rabie El Aouel 1431 correspondant au 9 mars 2010 portant désignation des membres de la commission interministérielle des espaces verts.
- Arrêté du 16 Joumada Ethania 1432 correspondant au 19 mai 2011 modifiant l'arrêté du 23 Rabie El Aouel 1431 correspondant au 9 mars 2010 portant désignation des membres de la commission interministérielle des espaces verts.
- Arrêté du Aouel Rajab 1438 correspondant au 29 mars 2017 portant désignation des membres de la commission interministérielle des espaces verts.
- Arrêté du 2 Joumada El Oula 1442 correspondant au 17 décembre 2020 portant désignation des membres de la commission interministérielle des espaces verts.

4/ Décret exécutif n°09-147 du 7 Joumada El Oula 1430 correspondant au 2 mai 2009 fixant le contenu et les modalités d'élaboration, d'adoption et de mise en oeuvre du plan de gestion des espaces verts.

# Annexe E

## Enquête sur la connaissance du concept de structure verte et sa considération lors de la conception des projets d'urbanisme ou d'aménagement.(Acteurs)

**Introduction**

Bonjour,

Nous vous remercions de bien vouloir participer à cette enquête. Celle-ci a pour but d'évaluer la connaissance et l'usage du concept de structure verte et de trame verte dans les projets d'urbanisme et d'aménagement En Algérie notamment dans la ville ou vous êtes acteur . Votre participation est essentielle pour nous aider à comprendre comment ces concepts sont perçus et intégrés par les différents acteurs de la ville.

Les informations recueillies grâce à ce questionnaire nous permettront de proposer des recommandations et des stratégies visant à améliorer la planification urbaine et la gestion des espaces verts dans nos villes. Toutes les réponses seront anonymes et confidentielles, et ne seront utilisées qu'à des fins de recherche.

Merci de prendre quelques minutes pour répondre à ce questionnaire.

**A. Informations Générales**

**1.-Âge**

- ☐ 25 ou Moins de 25 ans
- ☐ 25-34 ans
- ☐ 35-44 ans
- ☐ 45-54 ans
- ☐ 55 ans et plus

**2. Sexe**

- ☐ Homme
- ☐ Femme

**3. Nombre d'années d'expérience professionnelle :_____**

**4.Profession**

- ☐ Libérale
- ☐ Étatique

**5.ville dans laquelle vous êtes acteurs:.....**

**6.Profil : évaluer l'importance ou la pertinence de chaque profil ou établissement en relation avec la connaissance et l'intégration des structures vertes.**

-☐ Architecte : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Urbaniste : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Ingénieur : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Spécialiste en environnement ou en écologie : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Paysagiste : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Designer : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Autre (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**7. Précisez dans quel établissement ou direction en évaluant le degré d'implication dans chaque établissement de 1 à 5** (pas du tout impliqué 1----------très impliqué 5)

-☐ Direction de l'urbanisme et de la construction : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Direction du logement et équipement public : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Direction de l'environnement (Wilaya) : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Direction environnement (APC) : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Direction Travaux publics : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

-☐ Contrôle technique de la construction : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Entreprise environnement : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Bureau d'étude des espaces verts : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Entreprise d'urbanisme : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Direction des forêts : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Maison de l'environnement : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Autre (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**B. Connaissance et Approche du Concept de Structure Verte**
**1. Avez-vous une idée sur le concept de structure verte ?**
- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Sans avis

**2. Si oui, que représente pour vous le concept de structure verte** (1 pas du tout pertinent à 5 très pertinent ?
-☐ Un réseau d'espaces verts : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Système vert assurant l'équilibre : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Un ensemble de trames vertes : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Une hiérarchie d'espaces verts : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Ensemble d'espaces verts paysager et écologique : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Ensemble d'espaces verts esthétique : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Élément morphologique vert performant et fonctionnel ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Structure cohérente à différentes échelles (habitation, quartier, voisinage, ville, zone périurbaine) : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Autres significations (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**3. Si non, souhaitez-vous approcher et comprendre le concept ?**
- ☐1 pas du tout intéressé
- ☐ 2 peu intéressé
- ☐ 3 modérément intéressé
- ☐ 4 intéressé
- ☐5 Très intéressé

**4. Si oui, de quelle façon souhaitez-vous mener cette approche ?**(pas du tout efficace 1 ....très efficace 5)
-☐ Formation présentielle (cours + ateliers) : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Formation en ligne (cours + applications) : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Séminaire : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Autre (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**5. -Si non, pourquoi et quelles en sont les contraintes ?**(pas du tout une contrainte 1.....très contraignant 5)
-☐ Absence de concertation : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Thématique en marge des réflexions : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Existence d'autres priorités : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Absence de précisions au niveau de la législation : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Autres (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

## C. Importance et Avantages des Structures Vertes

**1. Classez par ordre d'importance les avantages des trames vertes (1 = Pas important, 5 = Très important)**
- Contribution à la résilience des territoires : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

- Contribution à la performance de l'environnement : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Amélioration de la performance énergétique : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Régulation hydrique : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Santé mentale : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Santé physique et sociale : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Autres (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

## D. Intégration des Structures Vertes dans les Projets d'Urbanisme

**1. En tant qu'acteur de la ville, arrivez-vous à introduire ce concept en amont des projets ?**

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Sans avis

**2. Si oui, de quelle façon assurez-vous cela ?**

- Révéler ce potentiel au niveau du diagnostic : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Introduire lors de la conception à différentes échelles du projet (ville, quartier, etc.) : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Respect de la réglementation et des ratios : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Établissement de plans verts lors de la réalisation : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Consultation de spécialistes du paysage, de l'écologie et de l'environnement : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Autres (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**3. -Si non, quelles en sont les contraintes ?**

-Rareté du foncier : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Priorité à la demande et au nombre de logements à réaliser : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Absence de spécialiste en la matière : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Absence de coopération et d'atelier de partage entre les acteurs impliqués : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Autres (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

## E. Prise en Compte des Structures Vertes dans les Projets Réalisés

**1. Dans les différents projets déjà réalisés, la structure verte est-elle prise en considération ?**

- ☐ Oui
- ☐ Non

**2. Si oui, comment cela est-il mis en œuvre ?**

-Adéquation de canevas (foncier et naturel ou vert) : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Établissement d'un plan vert : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Organisation selon la mosaïque paysagère : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Exigences des instruments : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Autres (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**3. Si non, pourquoi ?**

- Ce n'est pas une priorité : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- L'instrument n'en définit pas l'importance : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Absence d'un cadastre vert : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Non-usage et respect du cadastre vert (même en sa présence) : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Autres facteurs contraignants (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

## F.- Structure Verte et Législation

1. Quels sont les efforts déployés en Algérie, notamment dans la ville ou vous êtes acteur , pour mettre en œuvre la loi 06-2007 relative à la gestion, à la protection et au développement des espaces verts ?

- Amélioration du ratio d'espace vert/habitant dans les différentes opérations urbaines : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

- Réflexion sur de nouveaux aménagements verts : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Mise en œuvre de la circulaire relative aux espaces verts : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Collaboration avec des structures spécialisées privées ou publiques (GIZ, etc.) : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Sensibilisation et éducation environnementale : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Activités des associations : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Réhabilitation et créations de Jardin (Ex: Jardin méditerranéen de Ain Achir) : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Création ou classement de parcs (Edough,agro parc,...) ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Autres (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

## G. Croissance, Étalement Urbain et Impact sur la Structure Verte

**1. Face à l'avancée de l'urbanisation, la cherté et la rareté du foncier, comment pensez-vous compenser le recul de la structure verte ?**

- Renouvellement des tissus par l'introduction d'infrastructures vertes : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Végétalisation des tissus lâches par la verdurisation des cœurs d'îlots : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Compensation par des toits verts : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**2. Au cas où c'est possible de compenser par les toits verts , par quels moyens mettre en œuvre cette technique ?**

-Moyens humains : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Moyens techniques : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Réglementation : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Professionnels qualifiés : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-Autres (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**3. Existe-t-il des spécialités qui peuvent contribuer à la réalisation de ces toits verts ?**

- ☐ Oui
- ☐ Non

**4. Si oui, quelles sont ces spécialités ?**

-☐ Paysagiste : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Étancheur : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Horticulteur : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Biologiste : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Écologue : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Jardinier : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
-☐ Autres (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**5. Ne croyez-vous pas qu'il est temps d'orienter l'intérêt de la formation universitaire et professionnelle vers ces spécialités ?**

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Sans avis

**6. Si oui, est-ce que la société universitaire peut aider à assurer ces formations telles que :**

☐ Lancer des masters professionnels en paysage : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
☐ Lancer des masters en environnement : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
☐ Lancer des masters en gestion écologique du bâtiment : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**H. Intérêt des Toits Verts**

**1. Les toits verts, un concept qui se mondialise ?**

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Peut-être
- ☐ Sans avis

**2. Qu'en est-il de l'intérêt de cette technique pour le bâtiment et l'urbain en Algérie ?**

- ☐ Technique intéressante
- ☐ Pas intéressante
- ☐ Sans avis

**3. Si cette technique est intéressante, pourquoi ?**

-Compenser ce qu'on ne peut pas planter au sol : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

-L'appliquer à tous les secteurs (résidentiel, institutionnel, industriel, etc.) : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

- Impliquer tous les acteurs (habitants, collectivités, etc.) : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

- Rentabiliser les toits : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

-Assurer la pérennité des espaces verts des toits : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

-Changer le sort des espaces verts par leur compensation sur les toits : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

-Réorienter les politiques en faveur de la végétalisation des toits : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**I. Introduction des Toits Verts dans les Instruments et la Réglementation**

1. Par rapport aux problèmes fonciers et l'impossibilité de planter au sol, pensez-vous que l'introduction du concept de toit vert dans les instruments et la réglementation contribue à résoudre ce problème et assurer la durabilité des villes ?

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Peut-être
- ☐ Sans avis

**2. Si oui, comment le faire ?**

-Révision des codes du bâtiment : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

- Politiques incitatives : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

- Formation et sensibilisation : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

- Partenariats public-privé : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

-Planification urbaine : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

-Autres (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**J. Acteurs Impliqués**

1. Quels acteurs devraient être impliqués dans la mise en place de ces mesures ?

☐ Autorités locales : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

☐ Urbanistes : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

☐ Architectes : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

☐ Développeurs immobiliers : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

☐ Citoyens : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

☐ Autres (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**2. Pensez-vous que la concertation entre ces acteurs est importante pour le succès de l'intégration des toits verts dans la réglementation urbaine ?**

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Peut-être
- ☐ Sans avis

**3.Si oui, comment pourrait-on améliorer la concertation entre les acteurs ?**

-Mise en place de comités de concertation réguliers : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

-Organisation d'ateliers et de séminaires participatifs : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

-Création de plateformes de communication en ligne : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

-Renforcement des partenariats public-privé : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

-Autres (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**4. Quels obstacles pensez-vous pourraient entraver cette concertation (1 = Pas important, 5 = Très important) ?**

- Manque de communication entre les acteurs : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Divergence des intérêts et des priorités : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Absence de leadership et de coordination : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Manque de ressources et de financements : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Autres (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**5. Quels bénéfices attendez-vous de cette concertation pour l'intégration des toits verts (1 = Pas bénéfique, 5 = Très bénéfique) ?**

- Meilleure planification et coordination des projets : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Partage des connaissances et des meilleures pratiques : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Augmentation de l'efficacité des initiatives vertes : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Renforcement de l'adhésion et de l'implication des parties prenantes : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Autres (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**6. Selon vous, quelles actions concrètes pourraient être entreprises pour favoriser cette concertation (1 = Pas efficace, 5 = Très efficace) ?**

- Élaboration de directives claires et partagées : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Développement de formations conjointes pour les acteurs : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Lancement de projets pilotes collaboratifs : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Mise en place de mécanismes de suivi et d'évaluation participative : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
- Autres (précisez) : _____ : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

**Conclusion**

Nous vous remercions sincèrement pour votre participation à cette enquête. Vos réponses sont précieuses et contribueront à améliorer la planification et la gestion des structures vertes dans nos villes , assurant ainsi un développement urbain plus durable et une meilleure qualité de vie pour tous.

# Annexe F

# Questionnaire de l'Enquête Sociologique(Usagers )

Introduction
Bonjour,

Nous menons une enquête pour évaluer les perceptions et les usages des espaces verts urbains. Votre participation est essentielle pour nous aider à mieux comprendre les besoins et les attentes des utilisateurs des espaces verts. Les informations recueillies grâce à ce questionnaire nous permettront de proposer des améliorations adaptées et de mieux valoriser ces espaces pour le bien-être de tous.
Toutes les réponses seront anonymes et confidentielles. Elles ne seront utilisées qu'à des fins de recherche. Le temps estimé pour compléter ce questionnaire est d'environ 10 minutes.
Nous vous remercions sincèrement pour votre participation et votre contribution précieuse à cette étude.
**Coordonnées de l'enquêteur**

Nom : [Nom de l'enquêteur]
Organisme : [Université Badji Mokhtar Annaba ]
Contact : [novisben.noui67@gmail.com ]

**Section 1 : Informations Démographiques**
**Sexe**
☐ Homme
☐ Femme
☐ Autre
**Âge**
☐ Moins de 18 ans 1
☐ 18-24 ans 2
☐ 25-34 ans 3
☐ 35-44 ans 4
☐ 45-54 ans 5
☐ 55-64 ans 4(Alternative)
☐ 65 ans et plus 3(alternative)

**Niveau d'éducation**
☐ Aucun diplôme 1
☐ École primaire 2
☐ Collège 3
☐ Lycée 4
☐ Études supérieures (Baccalauréat) 5
☐ Études supérieures (Master/Doctorat) 6

**Situation professionnelle**

☐ Étudiant 1
☐ Employé 2
☐ Travailleur indépendant 3
☐ Chômeur 4

☐ Retraité 1
☐ Autre (précisez) : _____ -

**Section 2 : Usages des Espaces Verts**

**À quelle fréquence visitez-vous les espaces verts ? de 1 à 5**
☐ Tous les jours 5
☐ Plusieurs fois par semaine 4
☐ Une fois par semaine 3
☐ Plusieurs fois par mois 2
☐ Une fois par mois ou moins 1
**Combien de temps passez vous en moyenne lors de chaque visite ? de 1 à 5**
☐ Moins de 30 minutes 1
☐ 30 minutes à 1 heure 2
☐ 1 à 2 heures 3
☐ Plus de 2 heures 4
☐ Une journée complète 5
**Quels types d'espaces verts visitez-vous le plus souvent ? (cochez toutes les cases pertinentes)**
☐ Parcs publics 5
☐ Jardins communautaires 4
☐Forêt urbaine ou suburbaine 3
☐Corridors écologiques 2
☐ Espaces verts près des bâtiments (jardins , cours d'immeubles, etc.) 1
☐ Autre (précisez) : _____ -

**Pour quelles raisons visitez-vous les espaces verts ? (cochez toutes les cases pertinentes)**
☐ Promenade 1
☐ Exercice physique (course, marche, vélo, etc.) 2
☐ Loisirs (jeux, pique-nique, etc.) 3
☐ Socialisation (rencontres, sorties en famille, etc.) 4
☐ Relaxation et méditation 5
☐ Autre (précisez) : _____

**Section 3 : Perceptions des Espaces Verts**
**Comment évaluez-vous la qualité générale des espaces verts que vous fréquentez ? (1 = Très mauvaise, 5 = Très bonne)**
☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ 5
**Comment évaluez-vous les aspects suivants des espaces verts ? (1 = Très insatisfait, 5 = Très satisfait)**
Accessibilité : ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
Propreté : ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
Sécurité : ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
Esthétique : ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
Équipements (bancs, aires de jeux, etc.) : ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
Entretien et maintenance : ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

**Dans quelle mesure êtes-vous d'accord avec les affirmations suivantes ? (1 = Pas du tout d'accord, 5 = Tout à fait d'accord)**

Les espaces verts contribuent à mon bien-être général : ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Les espaces verts réduisent mon stress : ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Les espaces verts favorisent la cohésion sociale dans mon quartier : ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Les espaces verts sont bien intégrés dans le tissu urbain : ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

**Section 4 : Besoins et Améliorations**

**Quels aspects des espaces verts aimeriez-vous voir améliorés ? (cochez toutes les cases pertinentes)**

☐ Accessibilité 5

☐ Propreté 4

☐ Sécurité 3

☐ Équipements 3

☐ Entretien et maintenance 2

☐ Diversité des plantes et des arbres 2

☐ Aires de jeux pour enfants 2

☐ Espaces pour les activités sportives 1

☐ Autre (précisez) : _____

**Avez-vous des suggestions spécifiques pour améliorer les espaces verts de votre quartier ?**

_____

**Y a-t-il des barrières qui vous empêchent de fréquenter les espaces verts plus souvent ? (cochez toutes les cases pertinentes)**

☐ Distance trop importante 5

☐ Manque de temps 4

☐ Insécurité 3

☐ Manque d'équipements adaptés 2

☐ Propreté insuffisante 1

☐ Autre (précisez) : _____

**Section 5 : Impact des Espaces Verts sur la Santé et le Bien-être**

**Avez-vous remarqué une amélioration de votre santé physique depuis que vous fréquentez les espaces verts ?**

☐ Oui

☐ Non

**Évaluez le niveau d'amélioration de votre santé physique depuis que vous fréquentez les espaces verts ?**

☐ Aucune amélioration 1

☐ Légèrement négative 2

☐ Neutre 3

☐ Légèrement positive 4

☐ impact positive 5

**Avez-vous remarqué une amélioration de votre bien-être mental depuis que vous fréquentez les espaces verts ?**

☐ Oui

☐ Non

**Évaluez le niveau d'amélioration de votre bien-être mental depuis que vous fréquentez les espaces verts ?**

☐ Aucune amélioration 1

☐ Légèrement négative 2
☐ Neutre 3
☐ légèrement positive 4
☐ impact positive 5

**Les espaces verts vous ont-ils aidé à réduire votre niveau de stress ?**
☐ Oui
☐ Non
**Comment évalueriez-vous l'impact des espaces verts sur votre qualité de vie globale ? (1 = Pas d'impact, 5 = Impact très significatif)**
☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ 5
**Section 6 : Conclusion**

**Souhaitez-vous ajouter des commentaires ou des suggestions supplémentaires concernant les espaces verts dans votre quartier ?**

_____
Merci beaucoup pour votre participation ! Vos réponses nous aideront à améliorer la qualité et l'accessibilité des espaces verts dans notre communauté.

# Annexe F

Tableau synthétique d'évaluation du bien-être et santé

| Dimension | Critères synthétiques | Indicateurs | Indices | Description | Composantes | Formules /Indices |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Spatiale | -accessibilité<br>-connectivite<br>-usage de l'espace<br>-Qualité de l'Environnement Physique<br>-sécurité | 15 indicateurs | -Indice de Connectivité et Accessibilité (ICA)<br><br>-Indice d'Utilisation et Qualité de l'Espace (IUQE)<br><br>-Indice de Sécurité (IS) | -Cet indice mesure la facilité avec laquelle les résidents peuvent accéder aux espaces verts et leur connectivité avec les infrastructures urbaines.<br><br>-Cet indice évalue la manière dont les espaces verts sont utilisés et la qualité des aménagements disponibles pour les visiteurs.<br><br>-Cet indice évalue la sécurité perçue et effective dans les espaces verts, un facteur clé pour leur fréquentation et leur utilisation. | - Distance moyenne aux espaces verts, nombre d'accès pour PMR, nombre de connexions piétonnières et cyclables, disponibilité et proximité du stationnement.<br>- **Densité d'utilisation** des zones, **diversité des activités**, **qualité** et **diversité** des aménagements, niveaux de maintenance **des infrastructures.**<br><br>- Niveau d'éclairage des chemins, mesures de sécurité visible , perception de sécurité par les usagers. | (IDM + NAP + NCPC + DS) / 4<br><br>IUQE=(DU + DA + QDA+ NMI) / 4<br><br>IS= (INEC + MSV +PSU) / 3 |
| Sociale | -Inclusion sociale<br>-cohésion communautaire<br>-diversité des utilisateurs<br>-interaction sociale<br>-sécurité perçue | 15 indicateurs | -Indice d'Inclusion et Cohésion Sociale (IICS)<br><br>-Indice de Diversité et Interaction Sociale (IDIS)<br><br>-Indice de Sécurité Perçue (ISP) | -Cet indice mesure la capacité des espaces verts à inclure diverses populations et à favoriser la cohésion sociale.<br><br>-Cet indice évalue la diversité des usagers et la qualité des interactions sociales dans les espaces verts.<br><br>-Cet indice évalue la perception de sécurité parmi les usagers des espaces verts, essentielle pour une utilisation régulière et diverse. | - Taux de participation communautaire, **Nombre de programmes d'inclusion**, Représentation des groupes démographiques, participation aux initiatives locales.<br>-Diversité des groupes d'utilisateurs , fréquence des interactions sociales, satisfaction des usagers .<br><br>- Sentiment de sécurité des usagers, taux de criminalité rapporté, mesures de sécurité visibles. | IICS=(TPC + NPI + RGD + PIL) / 4<br><br>IDIS=(FIS + FIS + SU) / 3<br><br>ISP=(SSU + TCR + MSV) / 3 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ecologique | -biodiversité<br>-qualité de l'air<br>-qualité de l'eau<br>Gestion des déchets<br>-empreinte carbone | 15 indicateurs | -Indice de Biodiversité et Qualité de l'Air (IBQA)<br><br>-Indice de Qualité de l'Eau et Gestion des Déchets<br><br>-Indice d'Empreinte Carbone et Durabilité (IECD) | - Cet indice mesure la biodiversité des espaces verts et la qualité de l'air, deux aspects cruciaux pour l'environnement et la santé publique.<br><br>- Cet indice évalue la qualité de l'eau et la gestion des déchets, deux indicateurs importants de la durabilité écologique des espaces verts.<br>- Cet indice mesure l'empreinte carbone des espaces verts et leur durabilité, reflétant leur impact sur le changement climatique. | - Richesse spécifique, diversité des habitats, pureté de l'air, perception de la qualité de l'air.<br><br>- Clarté de l'eau, perception de la qualité de l'eau, jugement esthétique de la propreté, respect de l'environnement.<br><br>-Perception de durabilité , Appréciation et engagement environnemental, sentiment de contribution climatique. | IBQA=(RS + DH + PA + PQ) / 4<br><br>IQEGD =(CE + PQE + PEV + EGD) / 4<br><br>IECD=(PD + AEE+ SCC + SCE) / 4 |
| Economique | -Valeur des biens fonciers<br>-opportunités d'emplois<br>--Impact Touristique et Économique<br>-Investissement et Développement | 15 indicateurs | - Indice de Valeur Foncière et Opportunités d'Emploi (IVFOE)<br><br>-Indice d'Impact Touristique et Développement (IITD) | - Cet indice évalue l'impact des espaces verts sur la valeur foncière et les opportunités d'emplois, reflétant leur contribution économique locale.<br><br>- Cet indice mesure l'impact des espaces verts sur le tourisme et le développement économique, soulignant leur rôle dans l'attraction et la croissance économique. | - Valeur immobilière, satisfaction résidentielle, création d'emplois locaux, impact économique des activités.<br><br>- Fréquentation touristique, impact économique des événements, impact des investissements. | IVFOE=(VI + SR + CEL + IEA) / 4<br><br>IITD =(FT + IEE + II) / 3 |
| Esthétique | -ambiances visuelles<br>-agréments des espaces verts<br>-intégration paysagère<br>-harmonie visuelle | 17 indicateurs | - Indice d'Ambiance Visuelle et Agrément (IAVA)<br><br>- Indice d'Intégration Paysagère et Harmonie Visuelle (IIPH) | -L'Indice d'Ambiance Visuelle et Agrément (IAVA) évalue la qualité esthétique globale des espaces verts Un score élevé de l'IAVA indique que les espaces verts sont visuellement attrayants, bien entretenus et offrent une expérience sensorielle agréable aux visiteurs.<br><br>-L'Indice d'Intégration Paysagère et Harmonie Visuelle (IIPH) mesure l'intégration et l'harmonie des espaces verts dans leur environnement naturel et bâti. Un score élevé de l'IIPH reflète | -Qualité de l'aménagement paysager (QAP)<br>Diversité des plantations (DP)<br>Intégration harmonieuse des éléments naturels et artificiels (IENA)<br>Esthétique des équipements (EE)<br><br>-utilisation des matériaux locaux, respect des caractéristiques topographiques , Compatibilité avec l'architecture de | IAVA=(QAP + DP + IENA + EE) / 4 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | une conception paysagère bien pensée qui s'intègre parfaitement à son contexte, améliorant ainsi l'attrait visuel et la cohérence esthétique de l'ensemble. | l'environnement ,cohérence des couleurs et textures. | IIPHV=(UML + CT + CAE + HCT) / 4 |
| Psychologique | -bien être mental<br>-réduction du stress<br>-connexion avec la nature<br>-perception de la sécurité sociale<br>-satisfaction globale | 17 indicateurs | - Indice de Bien-être et Réduction du Stress (IBRS)<br><br>-Indice de Connexion à la Nature et Sécurité Psychologique (ICNSP)<br><br>- Indice de Satisfaction Globale (ISG) | -L'Indice de Bien-être et Réduction du Stress (IBRS) évalue l'impact des espaces verts sur le bien-être mental et la réduction du stress des visiteurs. Un score élevé de l'IBRS indique que les espaces verts sont efficaces pour améliorer le bien-être mental des visiteurs et réduire leur niveau de stress.<br><br>-L'Indice de Connexion à la Nature et Sécurité Psychologique (ICNSP) mesure le sentiment de connexion des visiteurs avec la nature et leur perception de sécurité psychologique dans les espaces verts. Un score élevé de l'ICNSP indique que les espaces verts offrent une expérience immersive en nature et procurent un sentiment de sécurité psychologique aux visiteurs.<br><br>-L'Indice de Satisfaction Globale (ISG) évalue la satisfaction générale des visiteurs concernant leur expérience dans les espaces verts. Un score élevé de l'ISG reflète une haute satisfaction des visiteurs, indiquant que les espaces verts répondent bien à leurs attentes et besoins, et sont perçus positivement par la communauté. | - Bien-être émotionnel, niveaux de relaxation, activités antistress, participation aux activités de détente.<br><br>- Sentiment de connexion à la nature, observations de la faune et de la flore , qualité des expériences sensorielles, perception de sécurité psychologique .<br><br>- Évaluation globale de la satisfaction, comparaison avant/après interventions d'amélioration ,satisfaction des aspects spécifiques et la variété des activités sentiment général de bien . | IBRS=(BE + NR + AAS + PAD) / 4<br><br>ICNSP=(SCN + OFF + QES + PSP) / 4<br><br>ISG=(EGS + CIA+ SASVA+ SGB) / 4 |