

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Badji Mokhtar Annaba University

Université Badji Mokhtar – Annaba  
Faculté de Technologie



جامعة باجي مختار – عنابة

كلية التكنولوجيا

Département d' Informatique

قسم الاعلام الالي

## Thèse

Présentée pour obtenir le diplôme de

### Doctorat en Sciences

Spécialité : Informatique

Par :

**CHEMAM Chaouki**

Thème :

### **Vers un système d'apprentissage à base de linked data**

Thèse soutenue le 12/11/2025 devant le jury composé de :

N°	Nom et prénom	Grade	Établissement	Qualité
01	TALEB Nora	Prof.	Université Badji Mokhtar -Annaba	Président
02	ZARZOUR Hafed	Prof	Université M.C Messaidia – Souk Ahras	Rapporteur
03	SARI Toufik	Prof	Université Badji Mokhtar -Annaba	Co-rapporteur
04	DRISSI Samia	Prof	Université M.C Messaidia – Souk Ahras	Examineur
05	KHEDAIRIA Soufiane	MCA	Université M.C Messaidia – Souk Ahras	Examineur
06	BENMACHICHE Abdelmadjid	MCA	Université Chadli Bendjedid - Eltarf	Examineur

## Remerciements

« Louange à Dieu et merci à Dieu »

Je tiens à remercier le Pr. Hafed ZARZOUZ, qui a supervisé et dirigé cette thèse, pour sa patience, sa motivation et ses conseils au cours de ces années de thèse.

Je voudrais également remercier le Pr. Toufik SARI, professeur à l'Université de Badji Mokhtar ANNABA, qui à Co-supervisé et dirigé cette thèse, pour sa patience, sa motivation et ses conseils au cours des quatre dernières années.

Mes chères sœurs Zouhaira et Djanet, Mes frères.

Je voudrais également remercier ma femme Zahra et mes filles Hafsa et Arwa.

*Merci infiniment*

## Résumé

L'apprentissage en ligne joue un rôle crucial dans l'enseignement supérieur, en particulier dans les contextes d'apprentissage à distance, où il dépend largement des ressources multimédias telles que les vidéos. Malgré leur valeur pédagogique, ces ressources souffrent souvent d'un manque de structure sémantique, ce qui rend difficile pour les apprenants de s'engager profondément avec le contenu. En particulier, les vidéos éducatives manquent généralement d'annotations significatives et de liens sémantiques, ce qui limite la capacité des apprenants à naviguer et à contextualiser le matériel. De plus, maintenir l'attention des apprenants pendant l'instruction basée sur des vidéos reste un défi persistant.

Des études récentes ont mis en évidence l'impact positif des outils d'annotation sur la performance et l'engagement des apprenants. En réponse à ces enjeux, une initiative de recherche à l'Université Chadli Bendjedid d'El Tarf (UCBET) a développé une plateforme d'apprentissage en ligne innovante intégrant une ontologie spécifique au domaine et un module d'annotation vidéo sémantique. Cette plateforme permet aux apprenants d'enrichir le contenu vidéo en taguant des segments à l'aide de vocabulaires de données liées, facilitant ainsi une compréhension plus approfondie des concepts présentés. En parallèle, elle offre aux éducateurs des outils analytiques pour évaluer et surveiller les activités d'apprentissage en ligne.

Une évaluation expérimentale de la plateforme a démontré son efficacité : les étudiants qui ont utilisé les fonctionnalités d'annotation sémantique ont montré une amélioration de la compréhension et de la rétention. Les résultats suggèrent que l'intégration de l'annotation vidéo sémantique dans les environnements d'apprentissage en ligne peut améliorer de manière significative le processus d'apprentissage et les résultats dans les contextes d'enseignement supérieur. De plus, la plateforme favorise une approche plus interactive et centrée sur l'apprenant, promouvant la construction active des connaissances. Elle contribue également à la personnalisation des parcours d'apprentissage en permettant le filtrage sémantique du contenu. D'un point de vue institutionnel, cela fournit des données précieuses pour évaluer les pratiques pédagogiques et améliorer la conception des cours. De futures recherches pourraient explorer l'intégration avec des systèmes de recommandation et des technologies d'apprentissage adaptatif. Cette approche représente une étape prometteuse vers des écosystèmes éducatifs intelligents et riches en sémantique.

**Mots-clés** : Annotation Vidéo, Données Liées, Annotation Sémantique, Plateforme d'E-learning, Amélioration, Réflexion, Ontologie.

## **Abstract**

E-learning plays a crucial role in higher education, particularly in remote and distance learning contexts, where it depends extensively on multimedia resources such as videos. Despite their pedagogical value, these resources often suffer from a lack of semantic structure, making it difficult for learners to engage deeply with the content. In particular, educational videos typically lack meaningful annotations and semantic links, which limits learners' ability to navigate and contextualize the material. Moreover, maintaining learner attention during video-based instruction remains a persistent challenge.

Recent studies have highlighted the positive impact of annotation tools on learning performance and engagement. In response to these issues, a research initiative at Chadli Bendjedid University of El Tarf (UCBET) developed an innovative e-learning platform integrating a domain-specific ontology and a semantic video annotation module. This platform allows learners to enrich video content by tagging segments using Linked Data vocabularies, thereby facilitating a deeper understanding of the concepts presented. In parallel, it offers educators analytical tools to assess and monitor online learning activities.

An experimental evaluation of the platform demonstrated its effectiveness: students who engaged with semantic annotation features exhibited improved comprehension and retention. The results suggest that integrating semantic video annotation within e-learning environments can significantly enhance the learning process and outcomes in higher education contexts. Furthermore, the platform fosters a more interactive and learner-centered approach, promoting active knowledge construction.

It also contributes to the personalization of learning pathways by enabling semantic filtering of content. From an institutional perspective, it provides valuable data for evaluating pedagogical practices and improving instructional design. Future research could explore integration with recommendation systems and adaptive learning technologies. This approach represents a promising step toward intelligent, semantically-rich educational ecosystems.

**Keywords:** Video Annotation, Linked Data, Semantic Annotation, E-learning Platform, Enhancement, Thinking, ontology.

## ملخص

يلعب التعلم الإلكتروني دورًا حيويًا في التعليم العالي، لا سيما في سياقات التعلم عن بُعد، حيث يعتمد بشكل كبير على الموارد متعددة الوسائط مثل مقاطع الفيديو. على الرغم من قيمتها التربوية، فإن هذه الموارد غالبًا ما تعاني من نقص في الهيكل الدلالي، مما يجعل من الصعب على المتعلمين التفاعل بعمق مع المحتوى. على وجه الخصوص، تفتقر مقاطع الفيديو التعليمية عادةً إلى تعليقات توضيحية ذات مغزى وروابط دلالية، مما يحد من قدرة المتعلمين على التنقل وفهم السياق. علاوة على ذلك، فإن الحفاظ على انتباه المتعلمين أثناء التعليم القائم على الفيديو لا يزال يمثل تحديًا مستمرًا.

أظهرت الدراسات الحديثة التأثير الإيجابي لأدوات التوضيح على أداء التعلم والمشاركة. استجابةً لهذه القضايا، طوّرت مبادرة بحثية في جامعة الشاذلي بن جديد الطارف (UCBET) منصة تعليمية إلكترونية مبتكرة تدمج أنطولوجيا خاصة بالمجال ووحدة توضيح الفيديو الدلالية. تتيح هذه المنصة للمتعلمين إثراء محتوى الفيديو من خلال وضع علامات على المقاطع باستخدام مفردات البيانات المترابطة، مما يسهل فهمًا أعمق للمفاهيم المعروضة. في الوقت نفسه، يوفر أدوات تحليلية للمعلمين لتقييم ومراقبة الأنشطة التعليمية عبر الإنترنت.

أظهرت التقييمات التجريبية للمنصة فعاليتها: الطلاب الذين تفاعلوا مع ميزات التوصيف الدلالي أظهروا تحسنًا في الفهم والاحتفاظ بالمعلومات. تشير النتائج إلى أن دمج التوصيف الدلالي للفيديو ضمن بيئات التعلم الإلكتروني يمكن أن يعزز بشكل كبير عملية التعلم والنتائج في سياقات التعليم العالي.

علاوة على ذلك، تعزز المنصة نهجًا تفاعليًا وأكثر تركيزًا على المتعلم، مما يشجع على بناء المعرفة النشط. كما أنه يساهم في تخصيص مسارات التعلم من خلال تمكين التصفية الدلالية للمحتوى. من منظور مؤسسي، فإنه يوفر بيانات قيمة لتقييم الممارسات التربوية وتحسين تصميم المناهج. يمكن للأبحاث المستقبلية استكشاف التكامل مع أنظمة التوصية وتقنيات التعلم التكيفية. يمثل هذا النهج خطوة واعدة نحو أنظمة تعليمية ذكية وغنية دلاليًا.

**الكلمات المفتاحية:** ترميز الفيديو، البيانات المترابطة، الترميز الدلالي، منصة التعلم الإلكتروني، التحسين، التفكير، علم الوجود.

# Table des matières

## Introduction Générale

1.	Introduction .....	12
2.	Contexte .....	12
3.	Motivation .....	12
4.	Les objectifs de la Recherche.....	13
5.	Contribution.....	13
6.	Structure de la thèse.....	15

## Chapitre 1 : Introduction à l'apprentissage en ligne

1.1	Introduction.....	17
1.2	Aperçu de l'apprentissage en ligne.....	18
1.3	Évolution de l'apprentissage en ligne.....	18
1.4	Avantages de l'apprentissage en ligne.....	20
1.5	Les défis de l'apprentissage en ligne.....	21
1.6	Types d'apprentissage en ligne.....	22
1.6.1	Apprentissage en ligne synchrone.....	23
1.6.2	Apprentissage en ligne asynchrone .....	23
1.6.3	Apprentissage mixte (apprentissage hybride) .....	24
1.6.4	Apprentissage mobile (m Learning) .....	26
1.6.5	Cours en ligne ouverts et massifs (MOOC).....	27
1.6.6	Formation assistée par ordinateur (FAO).....	28
1.6.7	Apprentissage social.....	28
1.6.8	Apprentissage basé sur le jeu et la simulation.....	29
1.7	Technologies permettant l'apprentissage en ligne.....	30
1.8	Le rôle des données dans l'apprentissage en ligne.....	33
1.9	Le besoin d'interopérabilité et d'intégration des données.....	34
1.10	Relier l'apprentissage en ligne aux données liées.....	36
1.11	Comprendre les données liées dans le contexte de l'apprentissage en ligne.....	37
1.12	Application des données liées à l'apprentissage en ligne.....	38
1.13	Normes et vocabulaires dans les données liées à l'éducation.....	39
1.14	Comparaison approfondie entre la plateforme UCBET et les plateformes e-learning open .....	41
1.15	Présentation synthétique des plateformes e-learning open source.....	41
1.15.1	Moodle .....	41
1.15.2	Open edX .....	41
1.15.3	Chamilo .....	42
1.15.4	Canvas LMS (version open source) .....	42
1.16	Positionnement de la plateforme UCBET .....	44
1.16.1	Une plateforme fondée sur le Web sémantique .....	44
1.16.2	Annotation vidéo sémantique .....	45
1.16.3	Approche centrée sur la compréhension conceptuelle.....	45
1.16.4	Mécanismes d'analyse et de suivi des apprenants .....	45
1.17	Analyse comparative approfondie .....	46
1.17.1	Dimension technologique .....	46
1.17.2	Dimension pédagogique .....	46
1.17.3	Dimension cognitive .....	46
1.17.4	Dimension d'interopérabilité .....	46

1.18 Conclusion.....	47
<b>Chapitre 2 : le web sémantique et les données liées</b>	
2.1 Introduction .....	48
2.2 web de données (Linked data).....	49
2.2.1 Les règles des données liées.....	49
2.2.2 Composants.....	50
2.3 Données ouvertes liées (Linked open data) .....	51
2.4 Langages du web sémantique.....	52
2.4.1 Langage XML .....	53
2.4.2 Langage RDF (Ressource Description Framework) .....	54
2.4.3Schéma RDF (Ressource Description Framwork Schéma).....	57
2.5 Langages OWL .....	57
2.5.1 Une extension de RDFS .....	58
2.5.2 Les trois niveaux d'owl .....	59
2.6 Ontologies .....	60
2.7 Objectif .....	62
Evaluation d'ontologie .....	62
2.9 Types d'ontologie .....	63
2.10 SPARQL (Protocol and RDF Query Langage).....	63
2.11 Structure de requête SPARQL .....	64
2.12 Annotation vidéo et données liées.....	65
2.12.1 Annotation vidéo.....	65
2.12.2 Avantages de l'annotation vidéo dans l'éducation.....	67
2.13 Techniques et outils d'annotation vidéo.....	68
2.13.1 Annotation manuelle .....	68
2.13.2 Annotation semi-automatique .....	69
2.13.3 Segmentation sémantique .....	69
2.13.4 Cadres de délimitation et suivi d'objets .....	70
2.13.5 Segmentation sémantique.....	70
2.14 Défis et considérations pour l'annotation vidéo.....	70
2.15 conclusions .....	72
<b>Chapitre 3 Approche proposé</b>	
<b>LA PLATEFORME ET L'AMELIORATION : CONCEPTION</b>	
3.1 Introduction .....	74
3.2 Solution Proposée .....	75
3.2.1 Phase 1- Analyse et conception pour le développement d'E-learning Platform.....	75
3.2.1.1 Analyse des besoins.....	77
3.2.1.2 Spécifications fonctionnelles .....	78
a) Diagramme de cas d'utilisation .....	78
b) Description détaillée des diagrammes de cas d'utilisation.....	79
1. Gestion des administrateurs .....	79
2. Gestion des Enseignants .....	80
3. Gestion des apprenants .....	80
4. Gestion visiteurs.....	81
c)Diagramme d'activité des acteurs (Apprenants, enseignants, administrateurs).....	82
3.2.1.2 Conception .....	83
3.2.2 Phase 2- L'amélioration et le Renforcement.....	90
3.2.2.1 l'ontologie et l'annotation sémantique.....	91
3.2.2.2 L'apprentissage profond et les systèmes de recommandation.....	97

3.2.3	Phase 3- L'évaluation .....	98
3.2.3.1	Organisation du groupe et collecte de données.....	99
3.2.3.2	Utilisation de la plateforme et pré-test.....	99
3.2.3.3	Post-test pour évaluer les progrès intellectuels de l'élève.....	100
3.3	Conclusion.....	101
<b>Chapitre 4 Expérimentation et discussion des résultats</b>		
<b>ÉVALUATION DE L'OPÉRATION D'APPRENTISSAGE EN LIGNE</b>		
4.1	Introduction .....	102
4.2	Organisation du groupe et collecte des données .....	102
4.3	Utilisation de la plateforme et pré-test .....	103
4.4	Post-test pour évaluer les progrès intellectuels de l'étudiant.....	104
4.5	Impact sur la compréhension et la réflexion des étudiants.....	106
4.6	Impact pour les enseignants.....	107
4.7	résultats et discussion résultats et discussion.....	108
4.8	conclusions .....	111
<b>Conclusion générale et Perspectives .....</b>		<b>113</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>		<b>114</b>

## Liste des figures

Figure 1 — Représenté la structure de web sémantique .....	48
Figure 2 — Architecture de Web Sémantique .....	49
Figure 3 — Représenté la relation entre URL et URN.....	51
Figure 4 — la déférence entre Données ouvertes et Données liées.....	52
Figure 5 — Exemple de document XLM représenté sous forme textuelle.....	54
Figure 6 — Exemple de graphe RDF .....	55
Figure 7 — Exemple schéma RDF.....	57
Figure 8 — Représenté de trois niveaux OWL (OWL Lite $\subset$ OWL DL $\subset$ OWL Full).....	59
Figure 9 — Définition d'une ontologie représentée.....	61
Figure 10 — Architecture du requête SPARQL pour les référentiels RDF distribués.....	64
Figure 11 — Structure de la requête SPARQL.....	65
Figure 12 — Explique comment fonctionne le Vidéo Annotation Framework.....	66
Figure 13 — schémas de l'annotation vidéo manuelle.....	68
Figure 14 — Architecture système de l'outil d'annotation vidéo semi-automatique .....	69
Figure 15 — Pipeline d'apprentissage actif basé sur la visualisation .....	70
Figure 16 — Le flux de travail de l'annotation.....	70
Figure 17 — Les parties la solution proposée.....	75
Figure 18 — L'Architecture de l'approche .....	77
Figure 19 — diagramme de cas d'utilisation (gestion des administrateurs) .....	79
Figure 20 — diagramme de cas d'utilisation (gestion des enseignants).....	80
Figure 21 — diagramme de cas d'utilisation (gestion des apprenants). .....	81
Figure 22 — diagramme de cas d'utilisation (gestion des visiteurs).....	81
Figure 23 — diagramme d'activité (apprenants, enseignants et des administrateurs (système)). .....	83

Figure 24 — Diagramme de classe (gestion d'administrateur) .....	84
Figure 25 — Diagramme de classe (gestion d'enseignant) .....	85
Figure 26 — Diagramme de classe (gestion d'apprenant) .....	86
Figure 27 — Diagramme de classe (gestion de visiteur) .....	87
Figure 28 — diagramme de séquence (gestion des apprenants) .....	88
Figure 29 — diagramme de séquence (gestion des enseignants) .....	89
Figure 30 — Gestion de contenu.....	90
Figure 31 — Les classes d'ontologie.....	91
Figure 32 — Les propriétés d'ontologie.....	92
Figure 33 — Le graphe d'ontologie.....	93
Figure 34 — Cadre pour Q / A RDF basé sur un modèle .....	95
Figure 35 — Architecture de l'annotation sémantique.....	97
Figure 36 — Diagramme de conception d'un système de recommandation de cours personnalisé...98	
Figure 37 — Étapes de la réalisation d'un système de recommandations de cours personnalisées...98	
Figure 38 — Résultats de l'évaluation pour les étudiants des groupes A et B.....	105

## Liste des acronymes

Les abréviations utilisées dans ce manuscrit sont présentées dans le but de connaître leur signification en anglais et (ou) l'équivalent en français en cas de besoin :

. <b>HTTP/HTTPS</b>	HyperText Transfer Protocol/ HyperText Transfer Protocol Secure
. <b>HTML</b>	HyperText Markup Language
. <b>CSS</b>	Cascading Style Sheet
. <b>PHP</b>	Personal Home Page Hypertext Preprocessor
. <b>SGBD</b>	Système de Gestion de Bases de Données
. <b>UML</b>	Unified Modeling Language .
. <b>URI</b>	Uniform Resource Identifier
. <b>UDI</b>	Unified Display Interface
. <b>REC</b>	Uniform Resource Locator
. <b>URN</b>	Uniform Resource Locator
. <b>MCD</b>	Modèle Conceptuel des Données
. <b>MLD</b>	Modèle Logique des Données
. <b>WWW</b>	World Wide Web
. <b>W3C</b>	World Wide Web Consortium
. <b>SPRQL</b>	Short for Simple Protocol and RDF Query Language
. <b>RDF</b>	Resource Description Framework
. <b>RDFS</b>	RDF Schema
. <b>N3</b>	Notation 3
. <b>ISBN</b>	International Standard Book Number
. <b>SSL</b>	Secure Socket Layer
. <b>TLS</b>	Transport Layer Security
. <b>OWL</b>	Web Ontology Language
. <b>XMI</b>	XML Meta-data Inter change
. <b>XSD</b>	XML Schema Definition
. <b>SKOS</b>	Simple Knowledge Organization System
. <b>FOAF</b>	Friend Of A Friend
. <b>GED</b>	Gestion Électronique des Documents
. <b>SQL</b>	Structured Query Language
. <b>CSV</b>	Comma-Separated Values
. <b>JSON</b>	JavaScript Object Notation

# Introduction Générale

## 1. Introduction

Dans le contexte numérique actuel, l'enseignement en ligne est devenu un élément fondamental de l'éducation contemporaine, apportant une flexibilité et une accessibilité inégalées aux étudiants à travers le monde. Toutefois, avec l'augmentation de la demande pour l'enseignement en ligne, la création d'expériences d'apprentissage de qualité est devenue plus compliquée. L'incorporation des informations associées aux plateformes d'apprentissage en ligne constitue une voie potentielle pour surmonter ces défis.

## 2. Contexte

Les ressources multimédias jouent un rôle primordial dans l'enseignement à distance et en ligne. Cependant, l'utilisation et la connexion efficaces de ces ressources rencontrent différents obstacles. Par exemple, les contenus vidéo manquent fréquemment d'annotations adéquates et de liaisons sémantiques, ce qui entrave une compréhension intégrale. Les étudiants éprouvent également des problèmes pour rester concentrés lors de l'apprentissage via des vidéos. Des recherches récentes indiquent que les outils d'annotation améliorent considérablement l'expérience éducative.

Nous traiterons le problème d'optimisation de la qualité d'apprentissage et l'annotation des éléments multimédias via la vidéo tout en garantissant l'interopérabilité entre professeurs et étudiants. Aussi la question de perfectionnement des cours et des aptitudes pédagogiques en adaptant l'enseignement aux cadences d'apprentissage propres à chacun. Comment les étudiants peuvent-ils enrichir leur compréhension des notions en utilisant des outils d'annotation tout en suivant des cours en vidéo ? Aussi, le point de l'efficacité d'apprentissage et la manière dont les professeurs peuvent-ils apprécier avec efficacité les résultats de la méthode d'enseignement suggérée.

## 3. Motivation

Face à l'augmentation constante de données sémantiques sur Internet, il est devenu crucial de développer des systèmes qui offrent aux utilisateurs la possibilité d'accéder à cet ensemble de savoirs. On a particulièrement mis l'accent sur les systèmes de réponse aux questions, puisque ces derniers donnent la possibilité aux apprenants d'exprimer des besoins d'information complexes de façon

simple et intuitive. Pour permettre aux apprenants d'enrichir le contenu de leur apprentissage grâce à des données issues du Web de données.

#### **4. Les objectives de la Recherche**

L'idée principale est de créer une plateforme d'éducation en ligne améliorée grâce à une ontologie du web sémantique, incorporant les caractéristiques fondamentales des systèmes d'enseignement en ligne déjà présents. Cette mise en œuvre optimise de manière significative l'expérience d'éducation numérique en satisfaisant les exigences des apprenants pour une formation personnalisable et modulable, tout en proposant des résultats de recherche ajustés aux besoins éducatifs.

L'étude traite des questions ci-après :

QR : Comment annoter les éléments multimédias pour optimiser la qualité de l'apprentissage via la vidéo et assurer l'interopérabilité entre enseignants et étudiants ?

QR : Comment peut-on perfectionner les cours et les aptitudes pédagogiques en adaptant l'enseignement aux cadences d'apprentissage propres à chacun ?

QR : Comment les étudiants peuvent-ils approfondir leur compréhension des concepts en se servant d'outils d'annotation tout en visionnant des vidéos de cours ?

QR : De quelle manière les professeurs peuvent-ils apprécier avec efficacité les résultats de la méthode d'enseignement suggérée ?

#### **5. Contribution**

Dans cette étude, une plateforme d'éducation en ligne a été développée spécifiquement pour l'Université Chadli Bendjedid El-Tarf, associée à une ontologie personnalisée. L'annotation vidéo a également été intégrée pour améliorer l'expérience d'apprentissage. La plateforme fournit des outils en ligne qui aident les étudiants à réaliser l'annotation sémantique des vidéos en utilisant des données connexes. L'efficacité de l'enseignement en ligne a été jugée grâce à des évaluations préalables et postérieures, ainsi que des enquêtes menées auprès des étudiants et des enseignants. La solution suggérée se compose de trois segments :

- a) Phase 1- Analyse et conception pour le développement d'E-learning Platform
- b) Phase 2- L'amélioration et le Renforcement
- c) Phase 3- L'évaluation

## **Phase 1**

Cette étape démontre la manière dont nous avons conçu et mis en œuvre une plateforme éducative en ligne centrée sur un système d'annotation. Et en intégrant des capacités d'annotation sémantique, la plateforme améliore l'expérience d'apprentissage, favorisant une interaction plus efficace entre les étudiants et les enseignants avec le contenu et stimulant une compréhension plus approfondie du sujet. La plateforme d'éducation en ligne (UCBET) a été élaborée pour agir comme un point de collaboration pour la communauté universitaire, favorisant l'échange à distance entre divers acteurs, y compris les enseignants, les mentors, les administrateurs, les créateurs de contenu, ainsi que les étudiants et apprenants.

## **Phase 2**

Au cours de cette phase, nous détaillons et étudions l'amélioration de la plateforme d'éducation en ligne développée, rendue possible grâce à l'ontologie et à la sémantique. Nous formons l'apprenant de la façon la plus simple possible en recourant à la technologie sémantique et au recours de commentaires sémantiques en tant que coordinateur d'étude, tout en ajustant le système selon la langue demandée. Interrogation SPARQL : En reliant une question en langage naturel, nous avons facilité l'assimilation des cours par l'étudiant.

## **Phase 3**

Dans cette phase, nous exposons une étude réalisée pour apprécier la plateforme, révélant que l'incorporation de l'annotation sémantique vidéo optimise les procédures d'apprentissage et les performances dans les systèmes d'enseignement.

Nous avons abordé les aspects analytiques et conceptuels de notre application à travers le diagramme UML, l'architecture du système, ainsi que le Modèle Conceptuel de Données (MCD) et le Modèle Logique de Données (MLD). Nous avons aussi abordé la définition de l'ontologie, son traitement, le passage du langage naturel à la requête SPARQL et enfin, l'élaboration du commentaire. Lors de la seconde étape, nous avons concentré nos efforts sur l'optimisation et le perfectionnement de la plateforme en recourant à des outils contemporains, à l'annotation sémantique et au système de recommandation. Dans la phase trois, une expérience menée pour juger de la plateforme est mentionnée, démontrant que l'intégration de l'annotation vidéo sémantique améliore les techniques d'apprentissage et les performances au sein des systèmes éducatifs. L'évaluation repose sur une

enquête et un questionnaire, en plus de l'approche du pré-test et post-test, menée auprès des étudiants et des professeurs qui sont les acteurs et usagers principaux de la plateforme.

## **6. Structure de la thèse**

La présente thèse est structurée en deux grandes parties, théorique et pratique, réparties sur quatre chapitres principaux et une introduction générale qui introduit le contexte général de l'étude, en exposant les motivations, les objectifs poursuivis ainsi que les contributions apportées. Le premier chapitre est consacré à l'apprentissage en ligne ; il en présente les concepts fondamentaux, les avantages et les limites, les différents types (synchrone, asynchrone, hybride, mobile, MOOC, etc.), ainsi que les technologies qui le soutiennent, en insistant sur le rôle des données et sur la nécessité d'interopérabilité. Le deuxième chapitre aborde les notions de Web sémantique et d'ontologies, en détaillant les langages associés tels que RDF, OWL et SPARQL. La partie pratique commence avec le troisième chapitre, qui décrit la conception de la plateforme e-learning proposée, en s'appuyant sur la modélisation conceptuelle et logique, ainsi que sur l'intégration d'une ontologie spécifique. Le quatrième chapitre présente l'implémentation de la solution ainsi que les résultats expérimentaux obtenus à travers des tests et des enquêtes menés auprès des étudiants et enseignants. Enfin, conclusion générale et perspective ou nous avons conclu notre travail en synthétisant les apports de la recherche et en ouvrant des perspectives pour de futurs travaux.

# **Partie 01**

## **État de L'art**

# Chapitre 1 : Introduction à l'apprentissage en ligne

## 1.1 Introduction

L'émergence de la pandémie de COVID-19 dans le monde, une expérience sans précédent depuis début 2020, a profondément perturbé les sociétés, affectant profondément les systèmes de santé, les économies et les structures sociales. Le secteur de l'éducation a été particulièrement touché. Partout dans le monde, les établissements d'enseignement ont dû s'arrêter net pour endiguer la propagation du virus. Tout cela s'est produit si rapidement qu'il a posé de nombreux défis aux enseignants, aux étudiants et aux décideurs politiques, mettant en évidence les faiblesses du système éducatif traditionnel. Parallèlement, les disparités d'accès à l'apprentissage se sont creusées. L'e-learning, c'est-à-dire la diffusion de l'éducation numérique, est ainsi devenu une solution nécessaire à cette crise. Les technologies d'apprentissage numérique avaient été progressivement et systématiquement intégrées à l'éducation depuis de nombreuses années, mais la pandémie n'a fait qu'accélérer leur utilisation à grande échelle. Les classes, les cours et les outils numériques de collaboration en ligne sont rapidement devenus indispensables pour préserver la chaîne éducative. Ce changement a signifié que le savoir ne serait plus accessible et partagé comme auparavant.

Alors que la majorité des systèmes éducatifs se numérisent, on constate la nécessité d'un apprentissage plus intégré, intelligent et interopérable. Les silos de données traditionnels et la multiplicité des systèmes disparates sont obsolètes et empêchent les technologies d'apprentissage en ligne d'atteindre leur potentiel pour soutenir un apprentissage personnalisé, axé sur les données et adaptatif. Aujourd'hui, le débat est tel que la méthode des données liées est devenue l'un des facteurs d'interconnexion et d'enrichissement des données éducatives, aux côtés des normes du Web sémantique. Avec la promesse de rendre les données d'apprentissage lisibles par machine, sémantiquement significatives et interconnectées, les données liées sont en mesure d'apporter une contribution majeure aux capacités des systèmes d'apprentissage en ligne. La première section du chapitre offre un aperçu complet de l'apprentissage en ligne, couvrant les transitions historiques, les avantages, les difficultés rencontrées, les aspects technologiques dominants et les méthodes pédagogiques qui façonnent l'apprentissage en ligne. Il aborde également le rôle croissant des données dans le domaine de l'e-learning et la nécessité d'interopérabilité et d'intégration. Les dernières parties du chapitre posent les bases conceptuelles des données liées, un sujet qui sera développé plus en détail dans le chapitre suivant.

## **1.2 Aperçu de l'apprentissage en ligne**

L'apprentissage en ligne, aussi appelé apprentissage électronique, est une approche pédagogique moderne qui utilise les technologies numériques pour proposer des processus d'apprentissage au-delà de l'environnement traditionnel de la salle de classe. Cette nouvelle façon d'apprendre permet aux apprenants de tous horizons de bénéficier d'un parcours éducatif flexible, accessible et personnalisé.

Fondamentalement, l'apprentissage en ligne comprend de nombreuses méthodes pédagogiques, telles que des classes virtuelles, des cours en ligne complets, des webinaires interactifs, des tutoriels vidéo captivants, des simulations détaillées et du contenu multimédia riche, qui permettent de créer une expérience d'apprentissage qui ne se limite pas à cela. Ainsi, les applications d'apprentissage mobile s'intègrent parfaitement à ce modèle d'apprentissage, permettant aux étudiants d'accéder à leurs ressources pédagogiques en ligne à tout moment et en tout lieu.

La caractéristique la plus visible de l'apprentissage en ligne est l'offre de modes d'apprentissage dits simultanés (en temps réel) et auto-rythmés (asynchrones). Si l'apprentissage synchrone permet des interactions en direct entre enseignants et étudiants, il est également le canal par lequel un retour immédiat et des discussions collaboratives sont encouragés. De son côté, l'apprentissage asynchrone permet aux étudiants de gérer le processus d'apprentissage : révision des supports, réalisation des tâches et participation aux discussions à leur propre rythme.

Ce double mode de fonctionnement permet de créer un environnement didactique plus inclusif, où une diversité de personnes peut apprendre, communiquer, collaborer et se connecter à travers le monde, quasiment sans frontières, et pour des étudiants de toutes origines géographiques. Ainsi, l'apprentissage en ligne améliore non seulement l'accès à l'éducation, mais permet également d'adapter l'apprentissage aux besoins, préférences et styles d'apprentissage variés des apprenants.

## **1.3 Évolution de l'apprentissage en ligne**

Le parcours de l'apprentissage en ligne, d'une vague idée à sa forme actuelle, est une histoire de progrès technologique et d'innovation pédagogique combinées de manière surprenante. Par exemple, les origines de l'apprentissage en ligne remontent aux années 1960 et 1970, avec l'apparition de l'enseignement assisté par ordinateur (EAO), utilisant des ordinateurs centraux pour diffuser efficacement des contenus pédagogiques et gérer les questionnaires des étudiants. Cette étape fondamentale a été à la base des changements ultérieurs qui allaient s'opérer dans le système d'éducation en ligne.

Les années 1980 ont été marquées par l'apparition d'une nouvelle forme de formation sur CD-ROM, offrant certaines des premières expériences multimédias disponibles à l'époque, grâce à l'utilisation de méthodes textuelles, audio et visuelles pour l'apprentissage. Le passage aux années 1990 a marqué une avancée majeure dans le secteur, avec l'omniprésence d'Internet et le remplacement de la formation par tâches et procédures par la formation en ligne (WBT), rendant les ressources pédagogiques accessibles à l'échelle mondiale.

Au fil des ans, les systèmes de gestion de l'apprentissage (LMS) de l'époque, tels que Moodle, Blackboard et Sakai, ont été largement adoptés par les établissements d'enseignement, marquant ainsi une nouvelle façon d'organiser, de faciliter et de suivre l'apprentissage des étudiants. Cela a non seulement transformé le métier d'enseignant, mais a également propulsé les apprenants dans l'espace numérique.

Dans les années 2010, l'essor de l'apprentissage en ligne a été marqué par l'apparition des cours en ligne ouverts et massifs (MOOC) sur des plateformes telles que Coursera, edX et Udacity. Ces programmes visaient à rendre l'éducation gratuite et accessible à tous, notamment à de nombreux apprenants du monde entier qui bénéficiaient de cours de haute qualité dispensés par des établissements d'enseignement supérieur réputés. De plus, l'utilisation des réseaux sociaux dans le cadre éducatif a favorisé un plus grand degré d'apprentissage interpersonnel et d'engagement communautaire.

Le monde de l'apprentissage en ligne a connu des changements majeurs, notamment grâce à l'introduction de l'apprentissage mobile, qui permet aux étudiants de rester en contact avec la communauté éducative à tout moment et en tout lieu, grâce à leurs smartphones et tablettes. De plus, les méthodes de gamification ont gagné en popularité grâce à des fonctionnalités ludiques qui motivent et renforcent la fidélité des apprenants. De plus, le développement de l'intelligence artificielle a offert aux étudiants de nouvelles possibilités, telles que l'évaluation des performances et des préférences individuelles, permettant ainsi des expériences d'apprentissage adaptatives grâce à la personnalisation des contenus.

Dans cette optique, la réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA) ont connu une croissance fulgurante et ont même récemment permis de créer des expériences éducatives plus interactives et immersives. La synergie des technologies a incontestablement été d'une aide précieuse pour remodeler les contenus pédagogiques et l'expérience d'apprentissage, tout en contribuant à la création d'un environnement d'apprentissage plus efficace et plus riche.

## 1.4 Avantages de l'apprentissage en ligne

L'apprentissage en ligne a profondément transformé nos modes d'éducation et de formation. Il présente de nombreux avantages permettant de répondre aux besoins variés des apprenants, la commodité étant l'un des atouts les plus remarquables. Voici quelques-uns des principaux avantages de l'apprentissage en ligne :

**Flexibilité :** L'apprentissage en ligne permet aux apprenants d'utiliser les ressources et supports d'étude à tout moment et en tout lieu, ce qui est particulièrement utile pour les personnes dont les emplois du temps sont variables, comme les adultes qui travaillent, les parents isolés et les étudiants ayant d'autres engagements. Cette adaptabilité est idéale pour s'adapter aux différents rythmes d'apprentissage et aux différents types de sujets qui déterminent le processus d'apprentissage. De plus, de nombreux étudiants bénéficieraient de ce type d'approche pédagogique, plus personnalisée.

- **Évolutivité :** L'apprentissage en ligne peut également être mentionné comme un système de production de masse où vous pouvez atteindre un grand nombre de personnes dans plusieurs pays en même temps sans dépenser beaucoup de ressources et créer quelque chose de nouveau qui existe déjà. Les établissements d'enseignement, les entreprises ou les sociétés de formation peuvent l'utiliser pour transmettre leur contenu à plusieurs ou à des milliers d'étudiants sur plusieurs sites, économiser de l'énergie et, par la même occasion, réduire la redondance de leur contenu.

- **Personnalisation :** De nos jours, les technologies éducatives sont considérées comme le principal outil permettant de créer des systèmes hautement personnalisés permettant à chacun d'apprendre à son rythme et de suivre le cheminement qui lui convient. Cela permet de concentrer les connaissances sur les caractéristiques spécifiques de l'apprenant, créant ainsi un environnement hautement performant qui améliore la compréhension et la mémorisation des enseignements.

- **Rentabilité :** L'utilisation des technologies dans l'apprentissage permet d'économiser des sommes importantes en réduisant les besoins en salles de classe, les déplacements et le papier. L'apprentissage en ligne permet de réduire les coûts des services éducatifs, tant pour les organisations que pour les apprenants, en supprimant les frais de déplacement et d'impression. De plus, la méthode d'apprentissage en ligne est moins coûteuse tout en offrant une qualité optimale. L'accès aux services éducatifs par la technologie permet de former des personnes qui ne sont pas dans la même langue que l'établissement d'enseignement, réduisant ainsi le coût d'acquisition de locaux d'enseignement et de centres de ressources. L'accessibilité financière d'une telle approche, notamment pour les personnes ayant besoin de formation ou les apprenants issus de sociétés défavorisées, est primordiale.

- **Accessibilité** : Grâce à l'apprentissage en ligne, chacun peut se rendre partout. C'est la solution idéale pour les personnes vivant dans des zones reculées ou n'ayant pas accès aux infrastructures éducatives classiques. Les plateformes d'apprentissage en ligne constituent donc la base d'une éducation inclusive et distributive ; elles permettent l'éducation pour tous, indépendamment de l'origine géographique ou du statut social [1]. L'apprentissage en ligne permet à chacun d'apprendre sans entraver personne.

- **Formation continue** : L'environnement de travail est en constante évolution, ce qui a donné naissance aux plateformes de formation numérique. Les professionnels n'ont plus besoin d'attendre les systèmes éducatifs formels pour mettre à jour leurs connaissances ou leurs compétences. L'apprentissage en ligne est le moyen le plus flexible pour les apprenants d'acquérir davantage de connaissances. C'est également un bon point de départ pour la formation continue, car il propose de nombreux cours en ligne et hors ligne.

## **1.5 Les défis de l'apprentissage en ligne**

Bien que l'apprentissage en ligne présente d'innombrables avantages, il présente également des inconvénients, notamment les difficultés qu'il engendre et qui limitent son efficacité. Les principaux obstacles à l'apprentissage en ligne sont les suivants :

- **Fracture numérique** : La fracture numérique demeure un obstacle majeur à l'apprentissage en ligne. En effet, de nombreuses personnes peinent à accéder à une bonne connexion internet, à des appareils numériques modernes et à la main-d'œuvre qualifiée nécessaire pour naviguer efficacement sur les médias en ligne. Ce problème est particulièrement aigu dans les zones rurales ou pauvres, coupées du monde technologique et dépourvues des infrastructures essentielles pour se connecter.

- **Engagement** : L'engagement des apprenants est un problème majeur de l'enseignement virtuel. L'absence de signaux physiques, comme le langage corporel, freine l'apprentissage en ligne, car ils ne sont pas certains que leurs interlocuteurs soient attentifs à ce qu'ils disent. En cas d'échec des stratégies d'engagement, les apprenants se sentiront déconnectés et risquent de développer un sentiment d'indifférence, ce qui entraînera des taux d'abandon élevés.

**Assurance qualité** : Le développement intelligent et bien organisé des contenus pédagogiques dans l'espace e-learning garantit la qualité et la pertinence des supports choisis. Une vigilance accrue doit être exercée pour vérifier l'adéquation des supports aux objectifs d'apprentissage à tous les niveaux

du cours. De plus, le style d'enseignement doit être dynamique et transformateur, de manière à favoriser l'amélioration des enfants.

Évaluation et rétroaction : Dans un environnement virtuel, l'évaluation et la rétroaction des apprentissages posent de nombreux défis. Par exemple, les apprenants ont besoin d'une réponse immédiate à leur travail. Or, cela est très difficile à réaliser lorsque l'enseignement est dispensé sur Internet. Ne pas pouvoir y accéder instantanément peut engendrer frustration et démotivation. Par conséquent, l'absence de rétroaction rapide peut nuire à la croissance et à la motivation des apprenants.

Confidentialité des données : La confidentialité des dossiers et des noms des étudiants est une priorité absolue lors de l'utilisation de plateformes tierces, notamment pour les cours en ligne. Les écoles, en tant que principales instigatrices, ont le devoir d'utiliser ces plateformes de manière respectueuse et légale. Le respect de ces réglementations permet de protéger les informations personnelles des stagiaires contre les violations et les abus externes.

- Support technique : Les étudiants et les enseignants sont souvent perçus comme des personnes confrontées à de nombreuses difficultés dans les environnements éducatifs numériques, ce qui peut entraîner des difficultés majeures pour l'ensemble du processus d'apprentissage. Un soutien technique continu est donc indispensable pour guider les utilisateurs vers une utilisation optimale des différents outils et les aider à optimiser l'utilité des ressources. C'est le seul moyen pour que les apprenants restent concentrés sur leur apprentissage au lieu de se soucier des problèmes techniques qui peuvent survenir.

En faisant face à la situation de cette manière et en tirant parti des aspects positifs, les écoles et autres organisations éducatives seront en bonne position pour développer davantage l'efficacité et la commodité des expériences d'apprentissage en ligne.

## **1.6 Types d'apprentissage en ligne**

L'apprentissage en ligne est un terme générique qui décrit l'utilisation de diverses méthodes et stratégies d'apprentissage adaptées aux besoins éducatifs variés des apprenants. Vous trouverez ci-dessous les types d'apprentissage en ligne les plus répandus, chacun possédant ses propres caractéristiques et applications qui les rendent uniques.

### **1.6.1 Apprentissage en ligne synchrone**

L'apprentissage en ligne synchrone est un type d'apprentissage où les interactions se déroulent en temps réel entre les enseignants et les étudiants, créant ainsi un environnement éducatif instantané et vivant. Les enseignants dispensent des cours en ligne à l'aide d'outils avancés tels que des plateformes de visioconférence (par exemple, Zoom, Microsoft Teams), des applications de chat ou des tableaux blancs virtuels interactifs. Ces actions favorisent l'interaction en temps réel sur des sujets, des discussions et des activités collaboratives, créant ainsi la dynamique d'une salle de classe traditionnelle. Par exemple, des webinaires animés par des spécialistes et diffusés en direct, où la salle de classe devient un véritable bourdonnement d'activité et où les questions et réponses reçoivent une réponse immédiate. Fita et al. [2] ont étudié l'utilisation d'outils d'apprentissage en ligne en temps réel dans l'enseignement supérieur. Dans cette étude, les auteurs soulignent les nombreux avantages de l'apprentissage en ligne synchrone pour améliorer l'engagement, l'interaction et la motivation des étudiants. L'article explique que les outils de communication virtuelle favorisent non seulement ces mêmes activités, mais aident également les étudiants à devenir des participants actifs, des collaborateurs instantanés et des étudiants encadrés par leurs pairs. Les résultats illustrent non seulement l'impact positif des outils électroniques d'apprentissage en ligne sur le développement d'une communauté universitaire dynamique, mais démontrent également qu'il est possible d'y parvenir même par des moyens virtuels. Les auteurs de [3] soulignent notamment que les interactions virtuelles en temps réel peuvent compléter l'enseignement en présentiel. Ils abordent l'importance des avantages relatifs, de la compatibilité, de la complexité et du risque, qui doivent être pris en compte lors de l'innovation. De même, l'étude souligne l'indispensable soutien organisationnel, couvrant les aspects financiers et managériaux, pour une utilisation réussie de la technologie. Les auteurs concluent que l'apprentissage en ligne synchrone peut effectivement soutenir efficacement le processus d'apprentissage collaboratif et apporter une solution aux contraintes qui empêchent les étudiants d'apprendre au moment et au lieu de leur choix, contribuant ainsi à leur expérience d'apprentissage en général.

### **1.6.2 Apprentissage en ligne asynchrone**

L'apprentissage en ligne asynchrone est un modèle qui facilite l'accès et l'interaction au contenu de manière autonome, sans nécessiter de communication en temps réel. Ce modèle offre une grande flexibilité, permettant aux apprenants de suivre leur rythme et de réviser les supports à plusieurs reprises si nécessaire, ce qui est particulièrement utile pour ceux qui ont d'autres choses à faire. Par exemple, les apprenants peuvent visionner des cours préenregistrés à leur rythme, les forums en ligne offrent un espace d'échange et de réflexion, et les modules peuvent être suivis au rythme qui leur

convient le mieux. Menée selon une approche de recherche-action [4], l'étude a porté sur trois membres du groupe qui ont terminé le cours et fourni un retour d'information via un questionnaire en trois étapes. L'objectif de cette recherche était de découvrir les composantes fondamentales d'un processus d'apprentissage, d'apporter des réponses aux questions relatives à la conception des cours et de mettre en lumière de nouvelles formes et problématiques conceptuelles. L'étude a également présenté des stratégies et des instruments, notamment l'approche pédagogique de Laurillard et les 13 questions de Morgan pour le développement de l'apprentissage en ligne, afin de tirer parti de la formation en ligne pour concrétiser le changement de comportement sociétal vers le développement durable. La recherche [5] a exploré la manière dont les outils et plateformes numériques font évoluer les expériences éducatives, en mettant l'accent sur des aspects tels que l'engagement des étudiants, l'accessibilité et l'efficacité globale des nouvelles techniques d'apprentissage en ligne. En analysant le cas des étudiants de l'UKMO, cette recherche a contribué à une meilleure compréhension des difficultés et des avantages liés à l'adoption de l'apprentissage en ligne dans l'enseignement supérieur. Les auteurs [6] ont abordé les lacunes des tâches de programmation traditionnelles en déployant ces activités avec le soutien de la collaboration en temps réel, du contrôle de version et des environnements de développement intégrés (IDE) via une interface web. Le produit a été conçu dans l'objectif d'améliorer l'expérience d'apprentissage grâce aux fonctionnalités dont les étudiants auraient bénéficié pour travailler ensemble sur des tâches de codage, partager leurs commentaires sur place et visualiser l'avancement de leur travail collectif. L'étude a mis en lumière l'importance de la combinaison de l'apprentissage interactif et coopératif dans l'enseignement de l'informatique, et le rôle majeur que la technologie est capable de jouer pour réduire l'écart entre les méthodes d'enseignement traditionnelles et les transformer en méthodes d'apprentissage plus engageantes.

### **1.6.3 Apprentissage mixte (apprentissage hybride)**

L'apprentissage mixte est un mode d'apprentissage qui allie les atouts de l'enseignement traditionnel en présentiel à ceux de l'apprentissage en ligne, offrant ainsi une expérience pédagogique stimulante et adaptable. Grâce à cette méthode, les apprenants bénéficient d'un mode d'enseignement mixte alliant le confort des outils numériques à la convivialité et à l'immédiateté de leur mode d'enseignement traditionnel. Par exemple, des supports en ligne accompagnés de discussions de groupe en face à face, et un cours où les étudiants visionnent la partie en ligne du contenu avant de recevoir les explications en classe. L'étude [7], menée par le biais d'entretiens individuels avec huit coordinateurs de modules, a mis en évidence les aspects les plus influents, tels que la compréhension de l'apprentissage mixte par les enseignants, les difficultés d'adoption et de mise en œuvre de celui-ci en classe et en clinique, les attitudes personnelles et les contraintes de temps, la perception des

étudiants et le niveau de soutien institutionnel. Les résultats soulignent qu'une bonne mise en œuvre de l'apprentissage mixte dans l'enseignement médical dépend d'un soutien institutionnel clair, du développement des enseignants et de la satisfaction des besoins non seulement des enseignants, mais aussi des étudiants. Al Ani a interrogé 283 étudiants de différents établissements de l'Université Sultan Qaboos [8]. Les résultats ont démontré qu'une combinaison de méthodes d'apprentissage était, dans une certaine mesure, efficace pour stimuler la motivation des étudiants, leurs performances et la communication collaborative. En particulier, ni les perspectives liées au genre ni celles liées à l'établissement ne semblaient faire ressortir de différences notables entre les répondants. Pourtant, il a été révélé que les problèmes locaux, en particulier les problèmes de signal avec les appareils, représentaient les obstacles les plus sérieux au bon fonctionnement de Moodle. Toutes ces conclusions montrent clairement que l'apprentissage mixte peut ouvrir davantage de possibilités d'éducation, et qu'en même temps, une infrastructure technique de haut niveau est nécessaire pour soutenir une telle initiative.

Français En utilisant la théorie du comportement planifié (TPB) comme base théorique, Hamad et al [9] ont étudié les facteurs qui affectent l'acceptation et l'utilisation de l'apprentissage mixte (BL) par les étudiants de l'enseignement supérieur omanais. Les six facteurs : l'attitude, la norme subjective, le contrôle comportemental perçu, l'auto-efficacité, les croyances, les intentions comportementales et l'utilisation qui ont été identifiés à partir du TPB sont utilisés pour déterminer la relation entre ces facteurs et l'adoption du BL. Les résultats obtenus ont confirmé que les étudiants ont un niveau élevé d'attitudes positives envers le BL et sont prêts à l'accepter, ces deux facteurs conduisant à leur intention et à leur utilisation réelle de manière significative. De plus, des facteurs démographiques tels que le sexe et les connaissances techniques se sont également avérés être des facteurs dans l'acceptation du BL. L'article a réitéré la nécessité d'utiliser à la fois l'infrastructure technologique et les stratégies pédagogiques pour la promotion efficace du BL dans les systèmes éducatifs des pays en développement. Français L'étude de Phosa [10] s'est concentrée sur l'effet d'un modèle d'apprentissage hybride sur les compétences rédactionnelles en anglais des étudiants thaïlandais de premier cycle. L'étude a combiné la méthode traditionnelle en face à face avec une plateforme d'apprentissage en ligne, Google Classroom. Une augmentation spectaculaire des compétences rédactionnelles des étudiants, passant de la moyenne de 10,66 points avant le test à 17,37 points après le test, a été constatée. Les principales ressources consultées en ligne par les étudiants étaient des dictionnaires anglais-thaï et des sites Web qui les aidaient à écrire. Dans l'ensemble, les apprenants ont confirmé leur impression positive de la méthode d'apprentissage mixte, qu'ils ont trouvée efficace au point d'affirmer que les apprenants de L2 sont très susceptibles d'améliorer leurs compétences rédactionnelles en anglais grâce à elle. Enas Hassan Saad et al. [11] ont récemment étudié si

L'apprentissage mixte avait un impact sur les résultats des étudiants en soins infirmiers ou non. Les résultats de leurs recherches ont indiqué qu'il n'y avait pas de différence significative dans l'engagement académique entre les deux groupes ( $p = 0,21$ ). Cependant, les étudiants ayant adopté l'apprentissage mixte étaient ceux qui obtenaient les meilleures notes, mesurées par leur moyenne pondérée cumulative (MPC), du moins par rapport aux autres étudiants qui n'avaient pas pu obtenir les mêmes résultats ( $p = 0,0001$ ). L'étude affirme que, si l'apprentissage mixte ne parvient pas à modifier le niveau d'engagement des étudiants, il a un effet positif sur les résultats scolaires des participants au programme de formation en soins infirmiers.

#### **1.6.4 Apprentissage mobile (m Learning)**

L'apprentissage mobile, ou mLearning, est une méthode d'enseignement et d'apprentissage réalisée via des appareils mobiles tels que les smartphones, les tablettes et les lecteurs multimédias portables, pour n'en citer que quelques-uns. Ce format d'apprentissage est particulièrement adapté au micro-apprentissage, une méthode d'apprentissage par segments courts et ciblés, au moment opportun, permettant aux apprenants de trouver rapidement l'information dont ils ont besoin. Le mode de diffusion est souvent une application personnalisée ou des sites web optimisés pour les mobiles, facilitant ainsi l'accès. Par exemple, les applications d'apprentissage des langues comme Duolingo proposent principalement des leçons courtes, des quiz pour évaluer les participants, également conçus pour les déplacements, et des podcasts éducatifs permettant d'acquérir des informations même en dehors des heures de travail, le cas échéant. Dans leur étude [12], Khan et al. ont cherché à identifier les défis et pratiques communs aux pays du Moyen-Orient en les comparant aux pays les plus avancés en matière d'éducation. Ils ont indiqué que les principaux problèmes résidaient dans les limitations des infrastructures, la résistance culturelle et le manque de contenu numérique. Les exemples de méthodes d'études de cas efficaces dans d'autres régions du monde sont la politique stricte du gouvernement, la formation des enseignants et l'investissement dans les infrastructures disponibles d'apprentissage mobile. Al Rahmi et al. [13] ont étudié les facteurs affectant l'acceptation et l'efficacité de l'apprentissage mobile parmi les étudiants universitaires. La recherche utilise la modélisation par équations structurelles pour identifier l'effet de variables telles que l'accès omniprésent, l'interactivité, la motivation et l'apprentissage personnalisé. Il a été établi que le contenu mobile, l'interactivité et la motivation des étudiants sont responsables du succès du processus d'apprentissage mobile et contribuent à la performance académique. Cependant, le rôle du soutien aux étudiants et de l'apprentissage personnalisé dans l'efficacité des outils d'IA a été signalé. Néanmoins, selon les résultats de l'étude, l'apprentissage collaboratif n'est pas un facteur majeur à l'origine de l'engagement sur les réseaux sociaux. De manière générale, l'étude souligne la nécessité

de combiner l'IA et les technologies d'apprentissage mobile pour créer des environnements éducatifs efficaces.

### **1.6.5 Cours en ligne ouverts et massifs (MOOC)**

Les MOOC sont des cours en ligne accessibles à l'ensemble de la communauté mondiale, généralement gratuits pour l'apprenant, voire, dans certains cas, à un tarif minime. Conçus pour faciliter l'évolution, ils intègrent divers éléments tels que des cours vidéo, des quiz, des travaux évalués par les pairs et des forums de discussion, tout en contribuant au développement de la communauté. Les MOOC sont considérés comme un atout précieux pour les apprenants permanents souhaitant poursuivre des études dans leur domaine d'intérêt. De plus, les apprenants peuvent provenir de différents horizons professionnels. Grâce à des enquêtes en ligne, Safri [14] ont étudié la question des services d'apprentissage en ligne dans les MOOC, en déterminant la satisfaction et les intentions de réutilisation parmi les étudiants. Les résultats ont montré que la qualité de l'apprentissage et la qualité des résultats d'apprentissage sont positivement corrélées à l'expérience étudiante. De plus, la qualité de l'environnement physique, la qualité de l'apprentissage et la qualité des résultats d'apprentissage sont les déterminants de la volonté des étudiants de continuer à utiliser les MOOC. Il a été observé que la qualité de l'interaction a un effet négatif sur l'expérience étudiante et l'intention de continuation, suggérant un manque de meilleurs mécanismes d'interaction dans les plateformes MOOC. Cet article a présenté un modèle conceptuel pour réaliser la qualité des services d'apprentissage en ligne, l'expérience étudiante et les relations d'intention de continuation dans le contexte de l'enseignement supérieur malaisien. Crossley et al [15] sont à l'origine de nouvelles recherches qui ont offert un nouveau regard sur la prédiction de la réussite des étudiants dans les MOOC en fusionnant les données de flux de clics avec des algorithmes de traitement du langage naturel (TALN). Cette étude était basée sur une combinaison de statistiques de flux de clics telles que la participation aux cours et aux discussions dans le forum et les caractéristiques linguistiques trouvées dans le texte que les étudiants ont écrit, par exemple, la longueur et les émotions. Le modèle a pu deviner correctement les étudiants qui termineraient le cours. Les résultats démontrent l'importance de comparer numériquement les données comportementales des étudiants à leur analyse linguistique pour mieux comprendre l'engagement et la rétention des étudiants dans l'apprentissage en ligne. L'outil de chatbot permet d'anticiper et d'aider les étudiants à risque, et d'obtenir une aide personnalisée pour optimiser leur apprentissage. Tessaro et Restoule [16] se sont intéressés à la manière dont les pratiques pédagogiques autochtones étaient intégrées à un cours en ligne ouvert et massif (MOOC). Ils ont conçu ce cours autour d'activités autoréflexives et expérientielles afin de mobiliser les étudiants et de leur permettre d'approfondir leurs connaissances des visions du monde

autochtones. Les résultats de recherche partagés ont indiqué que les méthodes susmentionnées ont suscité des réactions émotionnelles et intuitives chez les participants. Tout en reconnaissant les difficultés rencontrées, notamment celles liées à l'élaboration de pédagogies autochtones communautaires, les auteurs ont constaté que le cours était efficace en termes de participation des participants à l'achèvement (13 %), ce qui est supérieur à la moyenne de 4 % des MOOC. Parallèlement, les auteurs soulignent la nécessité pour tous les établissements d'enseignement de s'inspirer des principes éducatifs autochtones et de les mettre en œuvre dans tous leurs cours en ligne. Ils affirment que la seule façon de créer un environnement d'apprentissage plus inclusif est de s'engager dans des pratiques d'apprentissage pleinement expérientielles et communautaires.

### **1.6.6 Formation assistée par ordinateur (FAO)**

La formation assistée par ordinateur (FAO) désigne les programmes éducatifs accessibles par ordinateur, généralement sous la forme d'un environnement autonome adapté au développement professionnel ou commercial. Ces modules de formation comportent généralement des éléments stimulants qui favorisent la rétention des connaissances et sont donc très efficaces pour l'acquisition de compétences en milieu professionnel. Un exemple de la manière dont les modules de formation à la conformité en milieu professionnel pourraient être utilisés pour sensibiliser les employés aux règles et aux bonnes pratiques, ainsi que les programmes de certification technique utilisés pour préparer les travailleurs aux qualifications sectorielles requises. Barker et Manji [17] examinent la place des systèmes de formation assistée par ordinateur (FAO) dans l'éducation, soulignant le manque d'applicabilité des méthodes traditionnelles. Ils préconisent que la FAO réponde aux besoins éducatifs croissants et accorde une importance primordiale à l'efficacité, à l'adaptabilité et à la motivation accrue des étudiants. Les auteurs proposent la création de centres de développement de didacticiels au sein des établissements et abordent leur création à partir des principes d'ingénierie didactique, des outils de création multimédia, des sélections de supports, de la conception des postes de travail, des stratégies de production et du marché. De manière générale, quelques paramètres de conception pratiques sont suggérés, pouvant être utilisés efficacement pour la mise en œuvre du système de FAO.

### **1.6.7 Apprentissage social**

L'apprentissage social exploite l'aspect social et la participation, permettant aux élèves de communiquer via des forums, des messages, des évaluations par les pairs et des projets de groupe. Cette approche est efficace dans des contextes formels et informels ; elle encourage ainsi les apprenants à acquérir une compréhension approfondie par l'échange d'expériences et l'intelligence collective. Par exemple, les communautés d'apprentissage permettent à leurs membres de partager

leurs connaissances, les forums de discussion facilitent les échanges sur les supports de cours et les initiatives éducatives basées sur les médias sociaux qui relient des apprenants de différents milieux et origines. Le débat lancé par Haynes [18] était que les conceptions habituelles de la construction de l'apprentissage social comme un processus mental distinct, développé spécifiquement pour la vie sociale, étaient erronées. Ainsi, ils ont affirmé que l'apprentissage par association, qui n'était pas destiné à des fins sociales dès le départ, est devenu social, principalement en raison d'influences sociales et cognitives, et constitue la base de l'apprentissage social. Silva et al. [19] ont étudié comment les stratégies d'apprentissage coopératif améliorent l'engagement social et actif des élèves dans les contextes d'éducation physique. L'un des résultats de la recherche est que le travail collaboratif entre élèves favorise le développement de compétences sociales essentielles telles que la communication, le travail d'équipe et le respect mutuel. Cette méthode permet non seulement d'accroître le nombre d'élèves participants, mais aussi de développer l'intelligence émotionnelle et les compétences sociales. L'étude a mis en évidence qu'outre l'amélioration des résultats d'apprentissage, les élèves développent leur potentiel de prise en main de leur vie scolaire au sein d'une classe interactive et stimulante. Al-Ansi [20] a mis en lumière l'utilisation de tactiques d'apprentissage à la fois interactives et sociales pour faire de l'apprentissage centré sur l'élève une réussite, notamment dans les disciplines STEM, dans le contexte de la pandémie de COVID-19. Un module appelé PADA (Présentation, Assimilation, Discussion et Évaluation) est l'un des principaux thèmes de l'étude. Il stimule non seulement l'engagement des élèves, mais influence également des changements positifs dans l'apprentissage en contexte virtuel. L'étude souligne que les modules d'apprentissage en ligne correctement organisés, qui sont sociaux, ont le potentiel de produire un apprentissage centré sur l'étudiant où les étudiants sont au centre du processus, et cela est particulièrement vrai pour les cas qui impliquent l'enseignement à distance.

### **1.6.8 Apprentissage basé sur le jeu et la simulation**

L'apprentissage par le jeu et la simulation consiste à introduire des principes de conception de jeux ou des situations virtuelles/réelles afin d'améliorer le processus d'apprentissage, où les apprenants sont impliqués dans des expériences immersives. Cette technique suscite le désir d'apprendre et constitue le principal vecteur d'apprentissage par l'activité. Elle est donc très populaire dans les domaines d'études orientées vers l'application. Les laboratoires virtuels sont utilisés dans les domaines scientifiques pour offrir aux étudiants la possibilité de réaliser des expériences pratiques, les simulateurs de vol sont installés pour simuler des scénarios réels pour les pilotes, et les plateformes d'apprentissage ludiques sont celles qui combinent difficultés et incitations pour encourager la

participation active. Une analyse inclusive de l'application des mécanismes du jeu en milieu éducatif a été réalisée par Martens et al. [21]. L'équipe a détaillé le processus complexe de création de systèmes de formation par le jeu performants, soulignant l'importance de la congruence entre le progrès technologique (ingénierie du jeu) et les stratégies pédagogiques (didactique du jeu). Ils ont souligné que l'efficacité de ces systèmes dépend principalement de l'adaptation des composants techniques et didactiques aux caractéristiques des apprenants et aux objectifs d'apprentissage à atteindre. Kim et al. [22] ont étudié en profondeur la combinaison d'aides à l'apprentissage adaptatives dans des environnements d'enseignement STEM basés sur le jeu et la simulation. La conception a été réalisée par les auteurs dans deux cas, qui illustrent parfaitement la capacité de l'échafaudage dynamique à motiver les apprenants et à développer leurs compétences en résolution de problèmes sans rompre l'illusion du jeu. L'un de ces cas illustre la nécessité d'une congruence entre les supports d'apprentissage et les changements cognitifs et affectifs des récepteurs éducatifs. De cette façon, l'aide des élèves n'est pas pleinement présente, mais est plus susceptible d'être reçue spontanément et positivement. L'introduction de tels supports dynamiques encouragera les enseignants à concevoir des espaces éducatifs offrant à la fois de meilleurs résultats et des STEM plus inclusifs pour des apprenants aux profils très variés.

## 1.7 Technologies permettant l'apprentissage en ligne

Une multitude de technologies innovantes accélèrent le développement de l'apprentissage en ligne et enrichissent ainsi les expériences d'enseignement et d'apprentissage. Ces technologies clés sont :

**-Systèmes de gestion de l'apprentissage (SGA) :** Il s'agit de plateformes entièrement fonctionnelles comme Moodle, Canvas, Blackboard et Google Classroom. Elles constituent le point central de la gestion du contenu des cours, du suivi des progrès des étudiants et de l'établissement et du maintien de la communication entre les enseignants et les apprenants. Les outils offerts par les SGA s'étendent à l'attribution des notes, aux discussions, etc., et sont considérés comme un élément essentiel du programme. Bradley [23] s'est concentré sur le rôle des plateformes SGA dans l'amélioration de l'enseignement en ligne. Il a souligné l'importance des SGA pour créer des espaces d'apprentissage ouverts et collaboratifs en favorisant les discussions, en organisant des aménagements, en définissant des lignes directrices et en facilitant la résolution de problèmes. La recherche a souligné que l'influence directe d'un enseignant via un SGA peut renforcer l'autonomie, la motivation et la participation des étudiants, ce qui, à son tour, consolide le processus d'apprentissage dans les classes en ligne.

- ***Outils de visioconférence*** : Des plateformes telles que Zoom, Microsoft Teams et Google Meet ont transformé l'apprentissage en présentiel en une réalité, en posant les bases de l'interaction en direct dans l'espace virtuel. Elles incluent également des fonctionnalités telles que le partage d'écran, des salles de réunion pour les activités de groupe et des tableaux blancs numériques, favorisant ainsi la collaboration et l'engagement des étudiants en ligne. L'étude de Tochukwu et Nonyelum [24] a examiné l'influence de diverses plateformes de communication numérique sur la collaboration au sein des entreprises. À l'aide d'applications telles que Zoom, Microsoft Teams, Google Meet, WebEx et d'autres, l'étude évalue des facteurs tels que la satisfaction des utilisateurs, la fiabilité, la rentabilité et la convivialité lors des réunions virtuelles. En utilisant une recherche à méthodes mixtes, des enquêtes et des analyses statistiques (ANOVA), l'étude a révélé qu'aucun outil n'était plus performant que les autres, mais qu'ils restaient tous efficaces pour maintenir le flux de communication, en particulier pendant la pandémie de COVID-19. Ainsi, cela implique que la communication numérique doit être très adaptable et accessible ; cela confirme également que l'apprentissage en ligne synchrone ainsi que l'interaction à distance restent un très bon choix dans les milieux éducatifs et professionnels.

- ***Outils de contenu interactif*** : Les enseignants peuvent produire du contenu multimédia robuste et flexible grâce à des applications comme H5P, Articulate Storyline et Adobe Captivate. Grâce à ces outils, ils peuvent intégrer des quiz, des simulations et des scénarios à arborescences dans un programme d'apprentissage. Par conséquent, le niveau d'interaction offert maintient la motivation des apprenants et facilite l'approfondissement de la compréhension. Chapitre de Kannusamy [25] se concentre sur la mise en œuvre de nombreuses ressources numériques pour améliorer l'apprentissage en ligne. Ce chapitre met en avant les outils H5P, notamment la présentation de cours, le scénario de branchement et la vidéo interactive, comme des sources permettant de concevoir des applications d'apprentissage performantes et interactives. Ces outils permettent aux étudiants d'être actifs pendant l'apprentissage grâce à la vidéo, aux quiz et au choix de scénarios d'apprentissage, qui évoluent en fonction des réponses de l'apprenant, influençant ainsi leur réflexion personnelle et, par conséquent, renforçant leur engagement.

- ***IA et apprentissage automatique*** : Ces technologies jouent un rôle majeur pour répondre aux besoins individuels des apprenants. Les plateformes d'apprentissage autonomes basées sur l'IA utilisent l'IA pour ajuster le contenu et offrir une expérience éducative personnalisée aux élèves, tandis que l'apprentissage automatique, grâce à l'identification des élèves à risque, facilite le travail des enseignants. De plus, les chatbots et les systèmes de notation basés sur l'IA améliorent non seulement le service personnalisé, mais réduisent également la charge de travail des enseignants. L'étude de Tiwari [26] s'est concentrée sur les divers outils et instruments pédagogiques basés sur l'IA

disponibles, tels que les systèmes de tutorat intelligents, les tests adaptatifs, l'analyse de l'apprentissage et la création automatisée de contenu. Ces systèmes permettent non seulement de personnaliser l'enseignement, mais aussi de soutenir un processus d'apprentissage plus personnalisé et plus efficace. Par ailleurs, la recherche a mis en évidence de nouvelles tendances, telles que la réalité virtuelle et la conception de jeux éducatifs, qui pourraient prochainement contribuer à l'individualisation de l'enseignement.

- **Applications mobiles** : Dans un environnement d'apprentissage imprégné de technologie, des applications comme Duolingo, Coursera, edX et Khan Academy ont donné aux utilisateurs la possibilité d'accéder aux connaissances à portée de main dès qu'ils le souhaitent. Outre l'interface ludique proposée par la plupart de ces applications pour optimiser l'expérience utilisateur, nombre d'entre elles sont devenues interactives, offrant des récompenses et des défis stimulants que les utilisateurs étaient ravis de relever pour leurs moments d'apprentissage. L'étude menée par Palshkov et al. [27] a examiné le rôle des applications mobiles dans l'expérience éducative, notamment dans les universités. Les résultats les plus concrets suggèrent que les applications mobiles améliorent non seulement les résultats d'apprentissage des étudiants, mais aussi l'efficacité de leurs processus d'apprentissage grâce à l'auto-apprentissage et à l'apprentissage interactif, tout en renforçant leur motivation. Ces ressources offrent aux apprenants la possibilité d'accéder à des ressources numériques à tout moment et comme ils le souhaitent ; ces outils d'apprentissage mobile sont donc tout à fait conformes aux concepts didactiques du XXI<sup>e</sup> siècle. L'article souligne que, si les applications mobiles sont développées selon des directives pédagogiques appropriées, elles sont très efficaces pour garantir l'acquisition continue de connaissances et l'amélioration de certaines compétences. Les résultats présentés dans le document de recherche sont en faveur de la fusion des outils d'apprentissage mobile avec les méthodes traditionnelles d'enseignement supérieur comme complément efficace.

- **Cloud Computing** : Le concept simple du cloud computing est qu'il offre une capacité de stockage quasi infinie pour le matériel pédagogique, accessible à tout moment, en tout lieu et sur un nombre illimité d'appareils. Il favorise non seulement une meilleure collaboration entre enseignants et élèves, mais aussi le télétravail. Cela peut constituer un avantage considérable pour ceux qui participent à des projets d'envergure. L'article [28] indique que le cloud computing améliore la disponibilité des ressources pédagogiques, réduit les coûts de maintenance des infrastructures et étend efficacement l'utilisation des environnements d'apprentissage. Les résultats montrent une relation claire entre les services cloud, tels que le stockage virtuel, les différentes plateformes en ligne et les applications exécutées sur le réseau, et l'amélioration des performances des élèves. De plus, l'étude souligne qu'une

combinaison judicieuse de cloud computing et d'autres technologies est bénéfique, non seulement pour la mise en œuvre des programmes, mais aussi pour relever les défis liés à l'apprentissage en ligne, tels que la disponibilité et la connectivité. Ainsi, le cloud computing peut fournir aux écosystèmes d'apprentissage en ligne une éducation durable et inclusive comme facteur clé.

- **Réalité virtuelle et augmentée** : Elles sont considérées comme des moyens interactifs permettant aux étudiants de s'immerger pleinement dans l'apprentissage. La réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA) sont particulièrement utilisées dans les domaines où l'apprentissage pratique et expérimental devient une nécessité. La RV et la RA servent de base à la création de situations réelles. Dans l'espace virtuel, il est possible d'explorer et de tester diverses hypothèses, d'observer leur fonctionnement, les résultats du test et leurs applications concrètes. Les recherches d'Al-Ansi et al. [29] montrent que les technologies de RA et de RV jouent un rôle déterminant dans le processus d'apprentissage, en simulant des environnements stimulants. Parallèlement, la RV et la RA ont ainsi amélioré l'efficacité du processus d'apprentissage, car elles ont un impact positif sur la compréhension des apprenants sur des sujets complexes, tels que le divertissement, l'implication accrue des utilisateurs et les expériences quasi réelles dans différents domaines d'apprentissage. Néanmoins, la recherche met en évidence les problèmes liés à ces opportunités, notamment les coûts élevés des projets, les obstacles du secteur technologique et le manque de formation des enseignants. De plus, l'article propose diverses manières de relever les défis de la mise en œuvre, tels que les outils open source, les mises à niveau de l'infrastructure et la formation des enseignants.

## **1.8 Le rôle des données dans l'apprentissage en ligne**

Les données deviennent rapidement un élément crucial des plateformes d'apprentissage en ligne, transformant la relation entre enseignants et étudiants et les ressources éducatives numériques. À mesure que les étudiants naviguent sur différentes plateformes, accèdent à différents contenus numériques et effectuent leurs évaluations, ils génèrent une multitude de données. Ces données contiennent des informations détaillées sur l'interaction des étudiants avec le logiciel d'apprentissage, telles que les données de navigation de l'utilisateur, qui suivent ses déplacements d'un module à l'autre, les scores aux quiz, qui donnent un aperçu de sa compréhension du contenu, et les publications sur le forum, qui indiquent le niveau d'interaction et de collaboration des étudiants. Parmi les autres données, on peut citer le temps consacré par les étudiants à des tâches spécifiques et leurs comportements (nombre de connexions, participation aux discussions et taux d'achèvement des tâches) qui offrent des informations détaillées sur leurs habitudes et leurs préférences.

Une fois ces données méticuleusement collectées et traitées scrupuleusement, elles se transforment en un outil puissant capable de révéler des informations pratiques sur le comportement des élèves, leurs préférences individuelles et leurs progrès scolaires. Ces précieuses conclusions peuvent servir de point de départ pour affiner la pédagogie des enseignants afin qu'elle corresponde au mieux à chaque style d'apprentissage et aux besoins spécifiques des apprenants. Cela peut nécessiter d'adapter le rythme des cours aux différents besoins des apprenants, d'utiliser différents types de ressources pédagogiques (vidéos, infographies, simulations interactives) et/ou de fournir un feedback basé sur les résultats individuels, etc.

D'autre part, le secteur de l'éducation peut exploiter les dernières tendances en matière de données pour transformer et adapter les programmes d'études au marché. Convertir l'analyse des ressources acquises en informations sur les catégories difficiles, puis mettre en place des interventions personnalisées en fonction des besoins des apprenants, renforcera le système de soutien des établissements. Ces mesures visent à mettre en place des systèmes de soutien plus ciblés pour les apprenants en risque de décrochage, à organiser des programmes de mentorat ou à lancer des ateliers visant à améliorer les points faibles. L'exploitation judicieuse des données dans l'écosystème de l'apprentissage en ligne améliore non seulement l'expérience globale de l'apprenant, mais permet également aux enseignants et aux administrateurs, aidés par le processus décisionnel, d'améliorer de manière éclairée et ingénieuse leur contribution aux résultats scolaires dans tous les domaines. De telles pratiques fondées sur les données permettent au système éducatif de devenir réactif et efficace, garantissant ainsi à chaque apprenant des chances égales de réussite.

## **1.9 Le besoin d'interopérabilité et d'intégration des données**

Avec la popularité croissante de l'apprentissage en ligne, la demande pour ce type de système éducatif augmente en conséquence. Il existe donc un besoin urgent d'interopérabilité et d'intégration transparente des données entre ces systèmes. L'objectif principal est de permettre aux enseignants et aux étudiants d'optimiser leurs apprentissages. Dans le paysage éducatif actuel, enseignants et apprenants doivent souvent utiliser de nombreux systèmes, tels que des systèmes de gestion de l'apprentissage (LMS), des plateformes de visioconférence, des outils de création de contenu, des applications d'évaluation et des tableaux de bord analytiques. Malheureusement, la plupart de ces systèmes fonctionnent généralement de manière indépendante, ce qui perturbe l'écosystème, rendant le partage et l'analyse des données très difficiles. L'absence de cohérence entre les outils technologiques rend la visualisation d'un parcours d'apprentissage global difficile. Cette situation rend non seulement impossible le suivi des progrès, mais rend également impossible la

personnalisation de l'enseignement et la fourniture de services sur mesure répondant aux besoins de chaque apprenant. Les expériences scolaires individuelles, dont les études indiquent qu'elles améliorent la motivation et les résultats scolaires, sont aujourd'hui difficiles à appréhender, car les données ne peuvent être partagées et interprétées correctement sur différentes plateformes. Pour surmonter ces problèmes, qui s'aggravent chaque jour, de nombreuses normes et cadres d'interopérabilité ont été développés. Les plus populaires sont le modèle SCORM (Sharable Content Object Reference Model), qui définit les normes de création de contenu d'apprentissage en ligne et de communication entre les systèmes de gestion de l'apprentissage (LMS), l'API Experience ( xAPI ), qui permet de conserver des enregistrements des expériences d'apprentissage réalisées en dehors des salles de classe habituelles, et l'interopérabilité des outils d'apprentissage (LTI), qui permet l'intégration de divers outils et applications externes au sein d'un même LMS. Ces outils ont été mis en place pour répondre à la question de l'intégration des différents sous-systèmes éducatifs. Cependant, malgré leur introduction et les avantages potentiels qu'ils offrent, d'importants obstacles se dressent sur la voie. Par exemple, les utilisateurs modifient constamment leur façon d'utiliser les outils disponibles.

Si les différentes normes et évolutions technologiques présentent des avantages potentiels, ils ne sont souvent pas pleinement exploités en raison d'autres problèmes. Parmi ces obstacles figurent le manque de cohérence de la normalisation entre les établissements d'enseignement, l'inégalité de préparation technologique et les difficultés liées à la gestion de données variées en termes de formats et de structures. En général, les établissements à faibles revenus affichent un faible taux d'adoption en raison de contraintes économiques. Même ceux qui adoptent ces normes rencontrent des difficultés, car les établissements abandonnent une norme au profit d'une autre.

Pour des pratiques d'apprentissage stables et dynamiques, le développement d'un écosystème de données unifié est indispensable. Cet écosystème faciliterait l'analyse des données et l'extraction d'informations précieuses grâce à l'exploration de données et à d'autres méthodes d'IA. Cela profiterait aux enseignants et aux administrateurs et rendrait l'apprentissage plus efficace. Les enseignants peuvent établir un profil fiable des apprenants à partir des informations recueillies, ce qui peut orienter la planification des instructions individualisées et les préférences et objectifs d'apprentissage des élèves.

De plus, un écosystème de données intégré permet aux établissements et aux districts de contrôler leurs écoles grâce à des systèmes décisionnels basés sur les données, de réaffecter les ressources et d'améliorer l'efficacité de l'enseignement. Les avancées en matière d'interopérabilité ne constituent

pas seulement un défi informatique ; elles constituent un élément clé de transformation pour les enseignants et les apprenants, leur permettant d'envisager une expérience enrichissante et de jouer pleinement leur rôle mutuellement enrichissant au sein d'un système éducatif dynamique, connecté et réactif, capable de répondre aux exigences mondiales en constante évolution.

## **1.10 Relier l'apprentissage en ligne aux données liées**

Pour résoudre efficacement le problème de fragmentation des données qui prévaut dans les environnements éducatifs et améliorer considérablement l'efficacité des données éducatives, l'adoption des données liées est la seule solution. Les données liées constituent simplement une méthode permettant de structurer et d'interconnecter les données, ce qui signifie qu'elles sont contextualisées et compréhensibles par une machine. Cette approche est profondément ancrée dans des normes populaires telles que Resource Description Framework (RDF), Uniform Resource Identifiers (URI) et SPARQL, un puissant langage de requête permettant de récupérer et de manipuler des données de base. L'application des principes des données liées à l'apprentissage en ligne présente de nombreux avantages, pour n'en citer que quelques-uns :

- **Interopérabilité sémantique améliorée** : les données liées créent des ponts entre différents systèmes et plateformes pour créer un socle commun et utiliser un vocabulaire commun, ce qui accélère considérablement l'efficacité des interactions. Cette interopérabilité est non seulement une condition préalable essentielle à la création d'expériences utilisateur cohérentes, mais elle réduit également les obstacles au partage et à l'interconnexion des ressources entre différents systèmes d'information, et permet aux apprenants de passer facilement d'une plateforme à l'autre sans perdre leurs données stockées dans les chaînes.

**Découverte et réutilisation dynamiques des ressources pédagogiques** : L'utilisation de données liées à des fins pédagogiques permet de trouver et de réutiliser le contenu de manière plus conviviale et dynamique. Ainsi, utilisateurs et enseignants peuvent facilement trouver des ressources liées par des cadres communs et utilisées dans divers contextes pédagogiques, favorisant ainsi la réutilisation du contenu numérique. Ce type de découverte permet non seulement de gagner du temps, mais aussi d'enrichir l'apprentissage en offrant plus de variété aux élèves.

**Expériences d'apprentissage personnalisées** : L'utilisation des données liées dans le cadre éducatif facilite également la mise en place de systèmes de recommandation intelligents qui adaptent le contenu aux centres d'intérêt, aux préférences et aux parcours d'apprentissage observés des

apprenants. En observant le comportement et les habitudes des utilisateurs, ces systèmes sont capables de proposer des ressources personnalisées, en phase avec leurs besoins d'apprentissage individuels, les impliquant davantage et améliorant ainsi leurs résultats d'apprentissage, un élément essentiel à la réussite de l'apprentissage en ligne.

Soutien à l'analyse des apprentissages et à la recherche en éducation : La mise en relation de diverses sources de données grâce aux données liées donne un élan majeur à l'analyse des apprentissages et à la recherche en éducation. La combinaison de données provenant de sources multiples permet aux chercheurs de réaliser des analyses complètes des activités d'apprentissage à un niveau très détaillé, révélant ainsi les tendances et les perspectives les plus pertinentes susceptibles d'orienter l'élaboration des programmes et des stratégies pédagogiques.

- Développement de profils d'apprenants enrichis et de graphes de connaissances : Grâce aux données liées, il est possible de créer des profils d'apprenants multicouches et des graphes de connaissances détaillés, qui illustrent et accompagnent les apprenants dans leur parcours d'apprentissage. Les enseignants peuvent ainsi obtenir ces informations et fournir le soutien pédagogique nécessaire, opportun et efficace, aux enfants et à leurs nouvelles tâches et défis d'apprentissage, ce qui, au final, permet de personnaliser l'expérience éducative.

Comprendre les pratiques liées aux données dans le domaine de l'éducation, et plus particulièrement sur les plateformes d'apprentissage en ligne, permet aux organisations de rationaliser leurs processus et d'optimiser leurs systèmes. Dans le chapitre suivant, nous explorerons ensemble plus en détail le concept des données liées, en comprendrons les principes fondamentaux, les technologies sous-jacentes et leurs applications diversifiées, notamment dans le domaine de l'apprentissage en ligne et dans de nombreux secteurs qui cherchent à exploiter leurs données de manière plus intelligente et à améliorer leur connectivité.

## **1.11 Comprendre les données liées dans le contexte de l'apprentissage en ligne**

Les données liées sont une méthodologie puissante, implémentée sur une plateforme web, pour publier, lier et connecter des données structurées, rendant ainsi l'information lisible, interprétable et gérable par les machines. Ce concept a été développé à partir de l'approche du Web sémantique de Tim Berners-Lee, selon laquelle le Web est un espace où les données sont non seulement présentes de manière isolée, mais aussi interconnectées, contextualisées et interrogeables sur de nombreuses plateformes et domaines. Les principes fondamentaux des données liées sont les suivants :

1. Utilisez les URI pour identifier les choses : toute idée ou tout sujet, y compris les cours, les sujets et les apprenants, reçoit un URI (Uniform Resource Identifier) unique, permettant ainsi son identité cohérente et sans ambiguïté sur le World Wide Web.
2. Utiliser les URI HTTP : ces URI sont accessibles via Internet, de sorte que les utilisateurs peuvent les utiliser facilement et par programmation pour obtenir des données.
3. Fournir des informations précieuses à l'aide de normes : les informations fournies sont représentées dans un codage lisible par machine conformément aux normes RDF (Resource Description Framework) et SPARQL (langage de requête accompagnant RDF), garantissant ainsi que les mêmes données sont exprimées dans plusieurs systèmes.
4. Créer des liens vers d'autres URI : en établissant des connexions avec d'autres ensembles de données, les données liées rendent non seulement le contenu plus informatif et enrichissent ainsi l'expérience et la compréhension de l'utilisateur, mais améliorent également le contexte dans lequel les informations sont présentées.

## **1.12 Application des données liées à l'apprentissage en ligne**

L'implémentation de données liées dans un environnement d'apprentissage en ligne permet de développer un système intégré aux ressources d'apprentissage, aux outils pédagogiques et aux profils utilisateurs. Ce changement d'approche présente plusieurs avantages, notamment :

- Découvrabilité améliorée : les objets d'apprentissage tels que les vidéos, les documents, les tests, etc. peuvent être étiquetés sémantiquement et liés à différents systèmes, ce qui rend les moteurs de recherche plus intelligents afin qu'ils puissent trouver les éléments dont l'utilisateur a besoin avec précision et rapidité.

Parcours d'apprentissage personnalisés : En reliant les profils des élèves à leur parcours scolaire, à leurs objectifs d'apprentissage et à leurs ressources pédagogiques, les systèmes adaptatifs permettent de créer des parcours d'apprentissage personnalisés et de formuler des recommandations explicites pour chaque élève. Cette personnalisation rend le processus éducatif plus agréable et favorise l'engagement des apprenants.

Intégration multiplateforme : Les données liées permettant une interopérabilité fluide entre différents systèmes LMS, référentiels de contenu et outils d'analyse, cette coexistence est possible sans modèle de données commun et sans contrôleur central. Les établissements d'enseignement peuvent ainsi

adapter régulièrement leur système/technologie d'apprentissage et leurs stratégies pédagogiques sans trop de difficultés.

Cartographie dynamique des programmes : Les enseignants et les établissements d'enseignement peuvent améliorer et mettre à jour les programmes en temps réel grâce aux données liées, qui permettent d'exploiter les données sous forme de modifications en temps réel sur le web ou de modifications du domaine d'apprentissage devant être adaptées aux besoins des apprenants. Grâce à la disponibilité des données, les enseignants peuvent rester flexibles et maintenir l'intérêt des apprenants pour la matière.

- Interconnexion des ressources éducatives libres (REL) : Même si les ressources éducatives sont publiques, il est possible de leur donner une description sémantique et de les relier à d'autres ressources afin qu'elles puissent être partagées, proposées pour réutilisation, voire adaptées à divers contextes éducatifs. Ainsi, le processus de publication et de diffusion de l'information, ainsi que la participation des utilisateurs à la diffusion des connaissances, sont grandement facilités.

### **1.13 Normes et vocabulaires dans les données liées à l'éducation**

Plusieurs vocabulaires et ontologies RDF conçus pour être spécifiques à l'éducation ont été développés, dont les plus importants sont :

- Learning Object Metadata (LOM) et Dublin Core Metadata Initiative (DCMI) : Ces normes fournissent l'infrastructure pour une description correcte et un accès rapide au contenu éducatif dans les supports pédagogiques, facilitant la recherche de contenu et permettant l'interopérabilité des ressources.

- Système simple d'organisation des connaissances (SKOS) : cette liste peut être utilisée pour créer des taxonomies et des schémas de classification, qui à leur tour conduisent à une catégorisation régulière des ressources éducatives.

- Ami d'un ami (FOAF) : Ce système peut être utilisé pour construire et maintenir des profils d'utilisateurs et des réseaux sociaux, facilitant ainsi la communauté et la coopération des enseignants et des apprenants.

- Learning Resource Metadata Initiative (LRMI) : En tant que vocabulaire de métadonnées étendu de schema.org, LRMI est bien adapté aux objets d'apprentissage à décrire et contribue ainsi à leur large partage et à leurs multiples points d'accès sur Internet.

- Open Badges et IMS Global Standards : Ces cadres aident à représenter les qualifications et les résultats enregistrés, les compétences et les connaissances, pour que les apprenants puissent mettre en avant leurs capacités et leurs qualifications de manière plus pertinente et efficace.

### **Exemples et initiatives du monde réel.**

Quelques exemples et activités bien documentés illustrent l'utilisation des données liées dans l'éducation :

- **Projet LinkedUp (UE)** : Ce projet européen a propagé la connaissance et la satisfaction de l'utilisation des données ouvertes liées dans l'enseignement supérieur et même la commission de défis pour faire concourir, en essayant de promouvoir une pensée innovante et en encourageant à réfléchir à l'application des données liées dans l'éducation.

- **Open University UK** : Le programme, les résultats de recherche et la liste des publications de cette institution sont transparents via une stratégie de données liées, garantissant que toutes ces ressources sont facilement localisées, activées et rendues accessibles à tous les étudiants chaque fois que nécessaire.

- **DBpedia et Wikidata** : Les deux plateformes susmentionnées sont principalement utilisées dans les systèmes de recommandation d'éducation et d'analyse d'apprentissage, fournissant à la fois à l'utilisateur et au système un contexte historique et des connaissances qui pourraient ne pas être incluses dans le contenu de base, car l'apprentissage doit être rendu plus intéressant et pertinent.

- **Europeana et EdShare** : Les sources culturelles et les bases de données éducatives susmentionnées utilisant les données liées comme technologie créeraient de nombreuses connexions en faisant correspondre les ressources d'apprentissage avec les matériaux du patrimoine, favorisant ainsi l'apprentissage interdisciplinaire et la disponibilité de contenu éducatif culturel.

Dans son ensemble, la liaison des données à l'apprentissage en ligne a le pouvoir de créer la voie vers un environnement complètement nouveau pour les ressources éducatives, dans ce cas, en facilitant la création, le partage et l'utilisation de toutes les ressources au profit d'un système éducatif interactif et parfaitement adapté.

## 1.14 Comparaison approfondie entre la plateforme UCBET et les plateformes e-learning open

Les environnements numériques d'apprentissage ont connu, au cours des deux dernières décennies, une évolution rapide portée par la généralisation de l'enseignement à distance, l'émergence de nouveaux paradigmes pédagogiques et l'essor des technologies du Web. Parmi les solutions largement adoptées dans les établissements d'enseignement supérieur, les plateformes open source telles que **Moodle**, **Open edX**, **Chamilo** ou **Canvas LMS** constituent aujourd'hui des références majeures. Toutefois, malgré leur maturité fonctionnelle, ces systèmes restent essentiellement centrés sur la gestion administrative et pédagogique des cours, sans intégrer nativement les avancées récentes du **Web sémantique** et de la **structuration conceptuelle des contenus multimédias**. Dans ce contexte, la plateforme **UCBET**, développée dans le cadre de cette recherche doctorale, propose une approche innovante fondée sur une **ontologie spécifique au domaine**, un **mécanisme d'annotation vidéo sémantique** et des **interrogations SPARQL**, permettant une compréhension plus profonde et un apprentissage enrichi du contenu pédagogique

## 1.15 Présentation synthétique des plateformes e-learning open source

### 1.15.1 Moodle

Moodle est la plateforme open source la plus répandue au niveau mondial. Sa force réside dans son **écosystème très riche de plugins**, sa modularité et la variété de ses activités pédagogiques (quiz, devoirs, forums, glossaires). Cependant, Moodle repose sur un modèle essentiellement **syntactique**, où les ressources sont organisées de manière descriptive, sans structuration sémantique automatisée.

### 1.15.2 Open edX

Conçue pour les MOOC, Open edX offre une architecture robuste et scalable. Elle met l'accent sur la diffusion massive de contenu vidéo, le suivi analytique des apprenants et les parcours pédagogiques linéaires. Bien que techniquement avancée, elle n'intègre pas nativement d'annotation conceptuelle ni d'outils sémantiques.

### 1.15.3 Chamilo

Chamilo privilégie la simplicité, l’ergonomie et la légèreté technique. Son objectif principal est de permettre une mise en place rapide de cours en ligne. Il demeure cependant limité en termes de personnalisation avancée, de traitement sémantique du contenu et de capacités d’analyse cognitive.

### 1.15.4 Canvas LMS (version open source)

Canvas se distingue par son interface moderne, son API REST complète et son modèle pédagogique centré sur l’expérience utilisateur. Malgré cela, il ne propose ni annotation sémantique, ni structuration ontologique des ressources multimédias.

**Tableau 1. Tableau comparatif entre la plateforme UCBET et les plateformes e-learning open source**

<b>Critères</b>	<b>UCBET</b>	<b>Moodle</b>	<b>Open edX</b>	<b>Chamilo</b>	<b>Canvas (Open-Source)</b>
<b>Objectif principal</b>	Apprentissage enrichi par <b>annotation vidéo sémantique</b> , ontologies, Linked Data	Gestion pédagogique complète ; modules extensibles	MOOC à grande échelle	LMS léger, simple et rapide	LMS universitaire moderne
<b>Public cible</b>	Étudiants & enseignants de l’Université UCBET	Écoles, universités, organismes	Grandes universités, MOOC	Établissements moyens	Universités, écoles
<b>Technologie principale</b>	Ontologie OWL, SPARQL, annotation vidéo, Web sémantique	PHP, MySQL, plugins	Python, Django	PHP, MySQL	Ruby, API REST

<b>Fonction distinctive</b>	<b>Annotation vidéo sémantique basée sur Linked Data,</b> filtrage sémantique, question-answering SPARQL	Grande bibliothèque de plugins	Vidéo progression MOOC +	Simplicité et rapidité	UX moderne & API complète
<b>Structure pédagogique</b>	Cours vidéo annotés + quiz + sémantique	Activités, ressources, quiz, forums...	Sections MOOC, parcours	Cours, exercices, compétences	Modules, pages, discussions
<b>Engagement apprenant</b>	Interaction profonde via étiquetage vidéo sémantique pour améliorer compréhension & rétention	Forums + activités	Forte interaction avec vidéos	Simplicité → efficacité	UX optimale
<b>Personnalisation du contenu</b>	<b>Filtrage sémantique,</b> enrichissement intelligent du contenu vidéo	Plugins & thèmes	API personnalisables	Basique	Très personnalisable
<b>Analyse &amp; évaluation</b>	Pré/post-tests, enquêtes, analyse des annotations pour mesurer compréhension	Rapports standards + plugins	Analytics MOOC avancées	Rapports simples	Analytics avancées

<b>Interopérabilité</b>	Basée sur <b>Linked Data &amp; SPARQL</b> → grande interconnexion sémantique	SCORM, LTI	LTI, xAPI	SCORM	LTI, API REST
<b>Niveau technique requis</b>	Intermédiaire (sémantique + ontologie)	Intermédiaire (installation serveur)	Élevé (architecture lourde)	Faible	Intermédiaire
<b>Hébergement</b>	Local université UCBET (prototype)	Auto-hébergé / cloud	Souvent cloud	Auto-hébergé simple	Auto-hébergé
<b>Accessibilité</b>	Interface claire + conception centrée utilisateur	Multilingue, thèmes	Multilingue	Léger, rapide	Très bonne accessibilité
<b>Innovation pédagogique</b>	<b>Plateforme centrée sur la compréhension profonde par annotation sémantique</b> (unique)	Pédagogie modulaire	MOOC interactifs	Formation simple et rapide	Expérience apprenante fluide

## 1.16 Positionnement de la plateforme UCBET

### 1.16.1 Une plateforme fondée sur le Web sémantique

UCBET se démarque profondément des LMS traditionnels par son ancrage dans les technologies du **Web sémantique** :

- Utilisation d'une **ontologie de domaine**,
- Structuration RDF/OWL,
- Exploitation des relations conceptuelles entre notions,
- Interrogation via **SPARQL**,
- Conversion du langage naturel en requêtes formelles.

Cette architecture permet de dépasser la simple mise à disposition de ressources pédagogiques pour tendre vers une **compréhension machine** des contenus, condition essentielle des futurs systèmes d'apprentissage intelligents.

### 1.16.2 Annotation vidéo sémantique

La fonctionnalité la plus distinctive de la plateforme réside dans l'intégration d'un **module d'annotation vidéo sémantique**. Alors que les LMS open source permettent uniquement la diffusion de vidéos et, dans certains cas, l'ajout de notes descriptives, UCBET offre la possibilité :

- D'annoter des segments vidéo avec des concepts issus de l'ontologie,
- De relier les contenus à des vocabulaires Linked Data,
- De naviguer conceptuellement à travers les notions,
- De créer un graphe de connaissances à partir des annotations apportées par les apprenants.

Cette interaction profonde transforme la vidéo d'un simple support de diffusion en un **espace d'apprentissage actif**, où l'apprenant construit et structure sa compréhension.

### 1.16.3 Approche centrée sur la compréhension conceptuelle

Contrairement aux LMS existants qui reposent sur une logique d'activités, UCBET met l'accent sur

- La **construction du sens**,
- La **navigation sémantique**,
- L'analyse des **relations conceptuelles**,
- L'intégration des annotations dans un modèle ontologique cohérent.

Cette orientation s'inscrit pleinement dans les modèles constructivistes et connectivites de l'apprentissage.

### 1.16.4 Mécanismes d'analyse et de suivi des apprenants

UCBET a été évaluée expérimentalement à travers des pré-tests, post-tests et questionnaires, révélant

- Une amélioration de la compréhension,
- Une augmentation de la rétention,
- Un engagement cognitif plus élevé chez les étudiants qui utilisent les annotations sémantiques.

Les LMS classiques proposent des indicateurs d'activité (temps de connexion, complétion, résultats), mais aucun n'est capable d'analyser la **structure conceptuelle** du raisonnement de l'apprenant à partir des annotations qu'il produit.

## 1.17 Analyse comparative approfondie

### 1.17.1 Dimension technologique

Le tableau 2 résume les dimensions technologiques de notre plateforme UCBET par rapport des autres open source.

**Tableau 2. Tableau comparative**

Critères	UCBET	Moodle	Open edX	Chamilo	Canvas
Ontologies OWL	✓	×	×	×	×
SPARQL	✓	×	×	×	×
Annotation sémantique	✓	×	×	×	×
Données Linked Data	✓	×	×	×	×

### 1.17.2 Dimension pédagogique

- **UCBET** : apprentissage actif, annotation conceptuelle, construction de sens.
- **Moodle / Chamilo / Canvas** : pédagogie modulaire mais non sémantique.
- **Open edX** : pédagogie orientée MOOC, progression linéaire.

### 1.17.3 Dimension cognitive

UCBET permet une analyse fine des processus cognitifs grâce au graphe des annotations réalisées par l'apprenant.

Les LMS classiques analysent uniquement des comportements (clics, complétion), non la compréhension conceptuelle.

### 1.17.4 Dimension d'interopérabilité

Grâce au Web sémantique, UCBET peut :

- Interagir avec d'autres sources de données ;

- Exploiter des vocabulaires RDF ;
- Enrichir automatiquement ses contenus.

## **1.18 Conclusion**

L'évolution rapide des technologies numériques et les transformations profondes du paysage éducatif, accélérées notamment par la crise sanitaire mondiale, ont mis en lumière le rôle central que joue l'e-learning dans l'enseignement supérieur contemporain. Offrant flexibilité, accessibilité, personnalisation et rentabilité, l'apprentissage en ligne représente aujourd'hui bien plus qu'un simple outil de substitution : il devient une composante essentielle d'un écosystème éducatif moderne, dynamique et inclusif.

Cependant, pour exploiter pleinement son potentiel, l'e-learning doit relever des défis importants, tels que la fracture numérique, l'engagement des apprenants, la qualité des contenus et l'interopérabilité des systèmes. Ces enjeux soulignent la nécessité d'approches innovantes et interconnectées, capables de répondre aux exigences d'un enseignement personnalisé, centré sur l'apprenant et guidé par les données.

Dans ce contexte, l'intégration des données liées (Linked Data) et des technologies du Web sémantique ouvre de nouvelles perspectives pour enrichir les plateformes d'apprentissage en ligne. En permettant la structuration sémantique des ressources, la création de parcours adaptatifs et la mise en relation intelligente des contenus, les données liées renforcent l'intelligence et l'efficacité des systèmes éducatifs.

L'avenir de l'e-learning repose ainsi sur une synergie entre innovation technologique, transformation pédagogique et gouvernance des données. En combinant les apports des sciences de l'éducation, de l'intelligence artificielle et des standards du Web, il est de concevoir des environnements d'apprentissage plus ouverts, plus interactifs et plus pertinents, au service de la réussite des apprenants et de l'inclusion éducative à l'échelle mondiale.

## Chapitre 2 : le web sémantique et les données liées

### 2.1 Introduction

Le Web sémantique désigne un ensemble de technologies visant à rendre le contenu des ressources du World Wide Web accessible et utilisable par les programmes et agents logiciels grâce à un système de métadonnées formelles, utilisant notamment la famille de langages développés par le W3C. Comme l'écrit en substance Tim Berners-Lee, « le Web sémantique est ce que nous obtiendrons si nous réalisons le même processus de globalisation sur la représentation des connaissances que celui que le Web fit initialement sur l'hypertexte » [30]. Partant de ce fait, le Web sémantique peut se définir comme la mise en relation de l'information pour permettre aux ordinateurs de comprendre la sémantique (le sens) de l'information, Il s'appuie sur les standards du Web, tels que HTTP et URI mais plutôt qu'utiliser ces standards uniquement pour faciliter la navigation par les êtres humains, le Web des données les étend pour partager l'information également entre machines. Cela permet d'interroger automatiquement les données, quels que soient leurs lieux de stockage, et sans avoir à les dupliquer. Tim Berners-Lee, directeur du W3C, a inventé et défini le terme linked data (Les données liées) et son synonyme Web of data au sein d'un ouvrage portant sur l'avenir du Web sémantique . Les données liées consistent à utiliser le Web pour connecter des données liées qui n'étaient pas précédemment liées, ou à utiliser le Web pour réduire les obstacles à la liaison de données actuellement liées à l'aide d'autres méthodes.

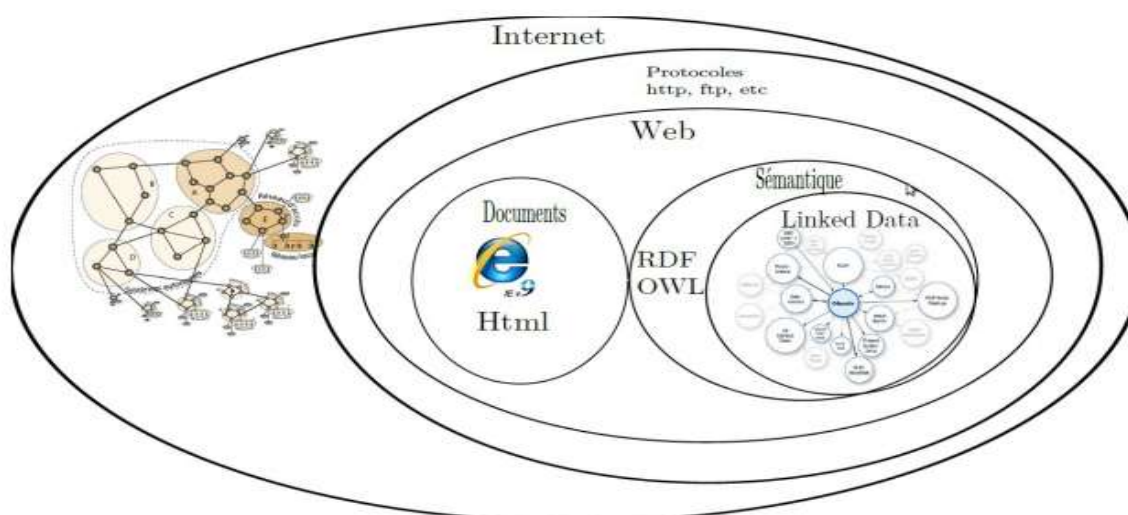


Figure 1 : Représenté la structure de web sémantique [30].

La différence philosophique majeure entre ces deux technologies tient à leur objet et à leur mode d'exploitation. Le Web « actuel » (Web des documents) est un ensemble de ressources principalement

destinées à l'ère humaine, identifiées par des URI, accessibles via HTTP et décrites en HTML ; la recherche s'y fait surtout par mots-clés. À l'inverse, le Web sémantique vise un « Web des données » : un ensemble de connaissances structurées, représentées au moyen de RDF (Resource Description Framework) — complété par des langages de schémas comme RDFS/OWL — et annotées par des métadonnées interopérables. D'après Tim Berners-Lee [30], aujourd'hui, seuls les humains comprennent véritablement ce qu'ils trouvent et décident de ce qu'ils veulent rechercher. D'où la question : par quels moyens les moteurs de recherche peuvent-ils aider ? Autrement dit, comment étiqueter sémantiquement des ressources textuelles ou multimédias afin que des agents logiciels puissent les exploiter ? La réponse repose sur la représentation explicite du sens grâce aux ontologies, lesquelles fournissent un vocabulaire formel (concepts, relations, contraintes) et constituent une technologie clé pour la mise en œuvre du Web sémantique [31].

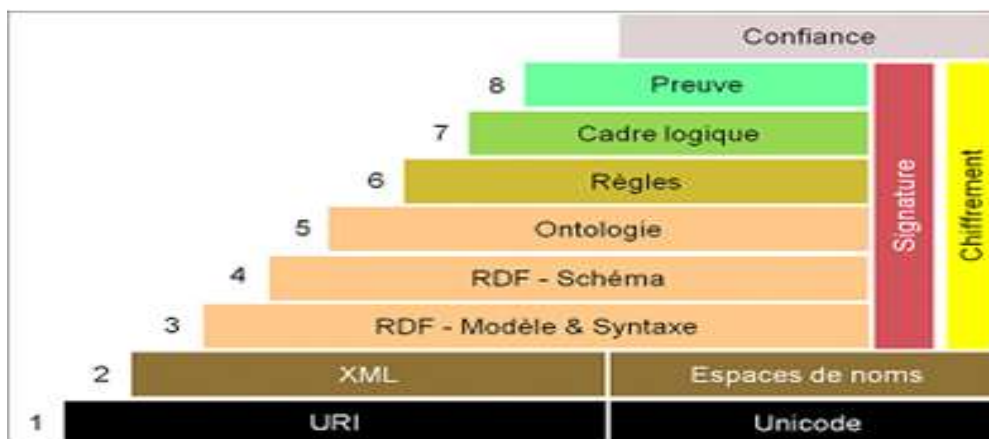


Figure 2 : Architecture de Web Sémantique [32].

## 2.2 web de données (Linked data)

Les données liées sont des principaux piliers du Web sémantique , également connu sous le nom de Web of Data. Le Web sémantique consiste à créer des liens entre des ensembles de données qui sont compréhensibles non seulement pour les humains, mais aussi pour les machines, et les données liées fournissent les meilleures pratiques pour rendre ces liens possibles. En d'autres termes, Linked Data est un ensemble de principes de conception pour le partage de données interconnectées lisibles par machine sur le Web.

### 2.2.1 Les règles des données liées

Les données liées visent à publier et connecter des données structurées sur le Web afin de permettre leur découverte, leur réutilisation et leur intégration automatique à grande échelle.

Les quatre principes formulés par Tim Berners-Lee (2006) sont les suivants [33] :

1. Utiliser des URI pour nommer les choses (ressources, concepts, personnes, lieux, événements).
2. Utiliser des URI HTTP(S) afin que ces identifiants puissent être déréférencés à travers l'infrastructure web.
3. Fournir, en résolvant ces URI, des informations utiles lisibles par machine et par humain (p. ex. RDF, RDFa, JSON-LD; documentation HTML), idéalement via la négociation de contenu.
4. Inclure des liens vers d'autres URI pertinents afin de relier les jeux de données entre eux et faciliter la découverte.

En pratique, ces principes se complètent avec le schéma « cinq étoiles » des données ouvertes, encourageant à passer de la simple mise en ligne de fichiers ouverts jusqu'à des données liées interopérables publiées en RDF avec des liens sortants.

## 2.2.2 Composants

### a. Uniform Resource Identifier (URI)

Un URI est une chaîne de caractères qui identifie de manière uniforme une ressource (en ligne ou hors ligne), sans présumer de la manière d'y accéder ni de la décrire.

Sur le Web des données, il est préférable d'utiliser des URI HTTP(S) qui peuvent être déréférencées : leur résolution doit retourner des informations utiles exploitables par des agents logiciels (RDF/JSON-LD) et lisibles par humain (HTML), idéalement via négociation de contenu.

### b. Principe

La finalité première d'un URI est l'identification stable ; la « persistance » dépend de la gouvernance et des politiques d'assignation/maintenance des identifiants plutôt que du format lui-même.

Adopter des bonnes pratiques de conception d'URI (stabilité, lisibilité, absence d'éléments volatils) afin de limiter les ruptures de liens et de faciliter la pérennité.

### c. Relation entre URL, URN et URI

URL (Uniform Resource Locator): sous-ensemble d'URI qui précise comment localiser/accéder à une représentation de la ressource (schéma, autorité, chemin, paramètres, fragment).

Exemple: <https://data.example.org/items/123>

URN (Uniform Resource Name): sous-ensemble d'URI qui nomme une ressource dans un espace de noms, indépendamment de son emplacement.

Exemple : urn:isbn:978-2-226-25701-7

Tous les URL et les URN sont des URI; selon les contextes, un URI peut jouer un rôle de « name », de « locator », ou les deux.

IRI (Internationalized Resource Identifier) généralise l'URI en autorisant Unicode ; il est recommandé pour nommer des ressources multilingues. Un IRI dispose d'un mappage vers un URI équivalent via encodage.

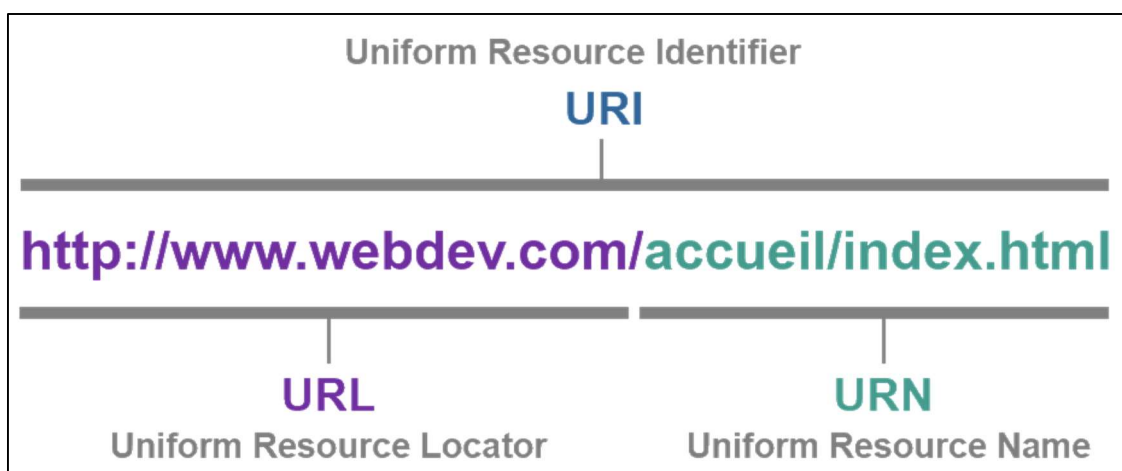


Figure 3 : Représenté la relation entre URL et URN.

## 2.3 Données ouvertes liées (Linked open data) :

### a. Définition des données ouvertes liées:

Le Linked Open Data ou « données ouvertes liées » consiste à rendre libre de toute licence des bases de données préalablement liées entre elles selon le modèle du Linked Data de Tim Berners-Lee. Ce système rend la recherche sur le web plus efficace et dynamique pour l'utilisateur en reliant d'autres sources d'informations pertinentes et insoupçonnées à la recherche initiale. Le fait que les données soient libres permet leur accès et leur réutilisation sans aucune restriction.

Le Linked Open Data s'inscrit dans le web 3.0 qui est un web de données. À la différence du Web 1.0 qui regroupe quantité de documents individuels sous la forme de silos de données isolés des uns des autres, le web 3.0 est constitué de données brutes respectant toutes les mêmes standards du Web, ce qui rend leur utilisation, leur partage et leur interopérabilité très facile. Le Web des données prend forme à travers un modèle proposé par le W3C, le Web sémantique qui est un modèle commun

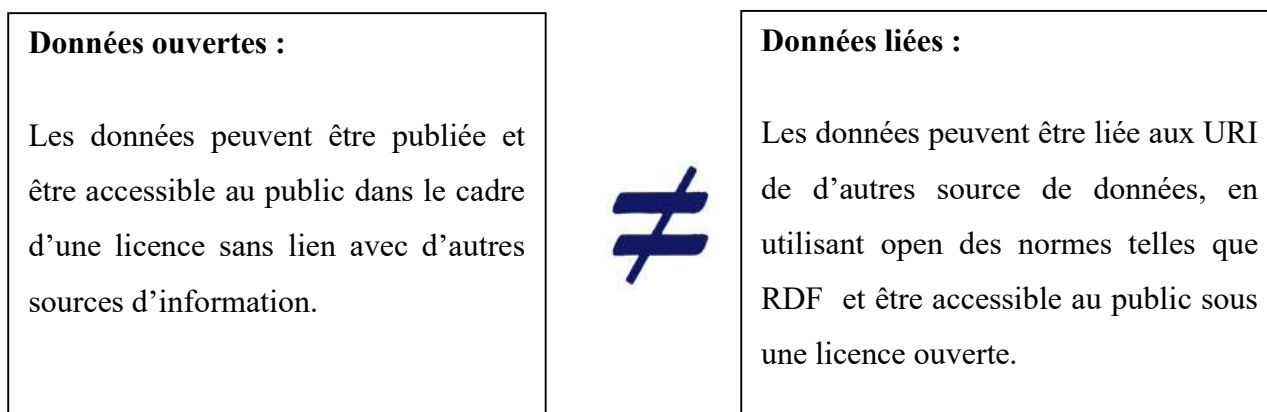
permettant le partage et la réutilisation de données sont surtout présente par l'entremise d'une application, d'une compagnie ou d'une communauté. Ainsi, le Web des données offre une immense quantité de données disponibles sur le Web dans un format standard afin que cette masse d'informations puisse être traitée par des outils du web sémantique. L'accessibilité doit être garantie autant aux données qu'aux liens entre celles-ci afin de créer une vaste toile d'information et de connaissances.

### **b. Principe de Technique :**

Le Linked Open Data repose sur 4 principes de base essentiels :

- i.** Les données doivent être libres de toute licence pour que des liens soient facilement faits entre elles.
- ii.** Chaque lien utilise le modèle Ressource Description Framework (RDF). Un RDF triplet est une association triple de liens soit: sujet-prédicat-objet. Ce modèle permet de décrire formellement les ressources Web et leurs métadonnées, afin d'en permettre un traitement automatique et une certaine interopérabilité).
- iii.** Afin d'être localisée, chaque ressource possède une adresse unique et permanente en ligne, Uniform Ressource Identifier (URI).
- iv.** Les données doivent être mises en ligne suivant le protocole standard HTTP.

### **c. Données liées VS données ouvertes :**



**Figure 4 :** la différence entre Données ouvertes et Données liées

## **2.4 Langages du web sémantique**

Le Web sémantique est une infrastructure basée sur l'exploitation de connaissances formalisées, en complément du contenu informel actuel du Web. Cette infrastructure doit permettre de trouver,

d'identifier et de transformer des ressources du web de façon saine et robuste et de renforcer l'esprit ouvert du web avec sa diversité d'acteurs. Elle doit aussi reposer sur un certain consensus sur les langages de représentation ou les ontologies utilisées [34]. Le Web sémantique devrait pouvoir être manipulé par les machines, d'où la nécessité de disposer de langages appropriés pour :

- Exprimer les données et les métadonnées.
- Exprimer les ontologies.
- Décrire les services.

A l'état actuel de la technologie, il existe trois sortes de langages :

- Les langages d'assertions (RDF et cartes topiques).
- Les langages de définition d'ontologies pour le Web (OWL, XML, RDF etc.).
- Les langages de description et de composition de Services (UDDI et autres).

### **2.4.1 Langage XML :**

Le langage de balisage extensible (eXtensible Markup Language) est un langage de balisage qui définit un ensemble de règles pour coder les documents dans un format à la fois lisible par l'homme et lisible par la machine . La spécification XML 1.0 du World Wide Web Consortium de 1998 et plusieurs autres spécifications connexes toutes des normes ouvertes gratuites - définissent XML [35].

Les objectifs de conception de XML mettent l'accent sur la simplicité, la généralité et la convivialité sur Internet . Il s'agit d'un format de données textuelles avec un support solide via Unicode pour différentes langues humaines . Bien que la conception de XML se concentre sur les documents, le langage est largement utilisé pour la représentation de structures de données arbitraires [36] telles que celles utilisées dans les services Web .

Plusieurs systèmes de schéma existent pour faciliter la définition des langages basés sur XML, tandis que les programmeurs ont développé de nombreuses interfaces de programmation d'application (API) pour faciliter le traitement des données XML.

Le contenu d'un document Web peut être facilement traité parce que le XML fournit un moyen d'échanger des informations sur le web. Le XML permet de séparer la présentation du contenu des documents. C'est un langage de base pour le Web sémantique, conçu essentiellement pour décrire des données en se concentrant sur leur structure et aussi pour assurer leur interopérabilité. Pour rendre

possible cette méthode, XML utilise un « Document Type Définition » (DTD) et un XML Schéma pour un « modèle » de données, comme illustré par (figure 5).

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<personne>
  <prenom>Donald</prenom>
  <nom>Knuth</nom>
  <date_naissance>1938-01-10</date_naissance>
  <adresse>
    <société>Stanford University</société>
    <code_postal>CA 94305</code_postal>
    <pays code = "ISO-3166">US</pays>
  </adresse>
  <profession>informaticien</profession>
</personne>
```

**Figure 5 :** Exemple de document XML représenté sous forme textuelle [36].

## 2.4.2 Langage RDF (Resource Description Framework) :

RDF est un modèle de graphe destiné à décrire de façon formelle les ressources Web et leurs métadonnées, de façon à permettre le traitement automatique de telles descriptions. Développé par le W3C, RDF est le langage de base du Web sémantique. L'une des syntaxes de ce langage est RDF/XML. D'autres syntaxes de RDF sont apparues ensuite, cherchant à rendre la lecture plus compréhensible ; c'est le cas par exemple de Notation3 (ou N3).

En annotant des documents non structurés et en servant d'interface pour des applications et des documents structurés (par exemple bases de données et GED) RDF permet une certaine interopérabilité entre des applications échangeant de l'information non formalisée et non structurée sur le Web [37].

Le langage RDF vient donc remplir ce vide puisque c'est un langage qui permet de représenter des informations sur des ressources sous la forme de graphes orientés avec des nœuds et des arcs étiquetés.

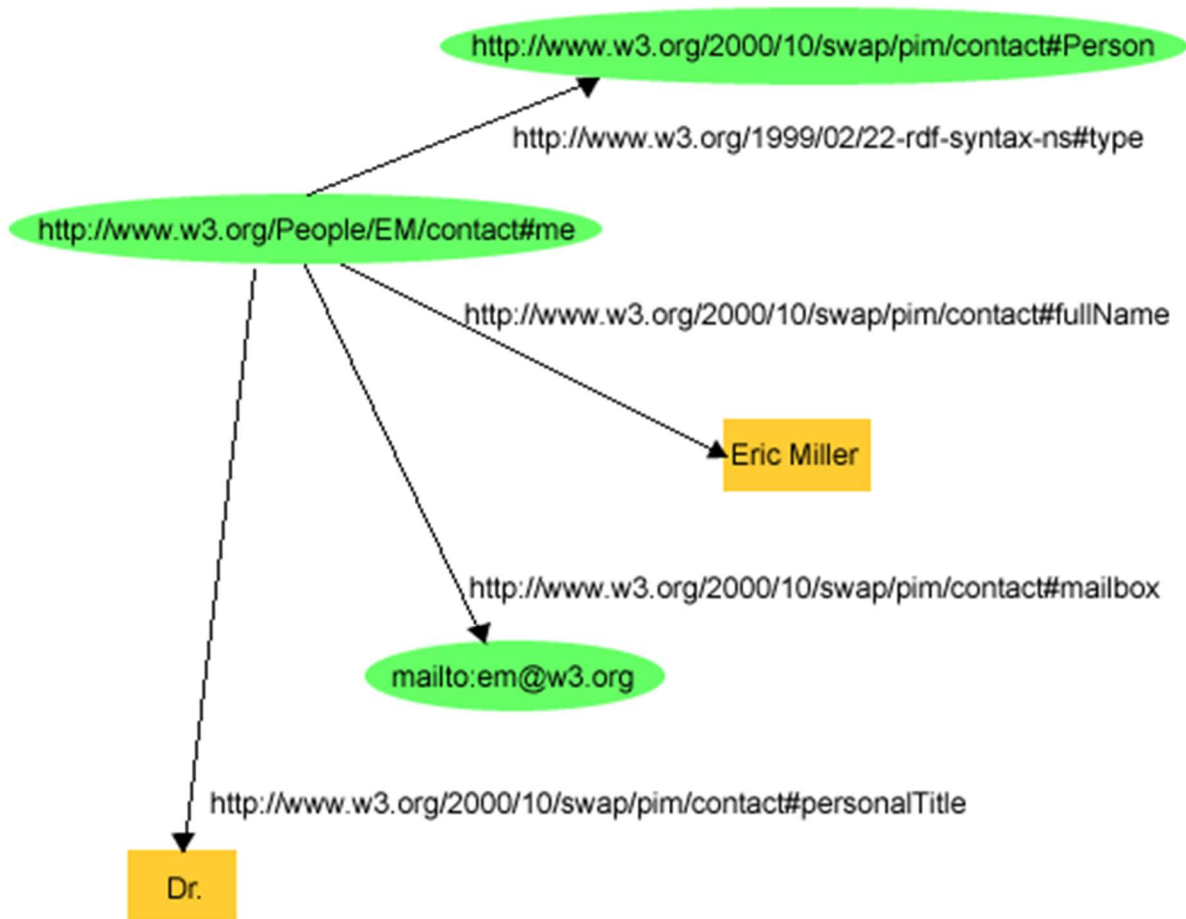


Figure 6 : Exemple de graphe RDF [37].

a. La structure RDF :

RDF est représenté par des triplets, graphes et syntaxe

- **Qu'est ce qu'un triplet ?** RDF est une syntaxe pour représenter des données sur le Web de manière générale.
- **RDF décompose chaque élément d'information en triplets :**

<b>Sujet</b>	Une ressource qui peut être identifiée par un URI.
<b>Prédicat</b>	Une spécification réutilisée et identifiée par URI de la relation.
<b>Objet</b>	Une ressource ou constante à laquelle le sujet est lié.

## b. Vocabulaire :

La structure de RDF est extrêmement générique et sert de base à un certain nombre de schémas ou vocabulaires dédiés à des applications spécifiques. Une partie de ces vocabulaires est spécifiée par le W3C, comme les langages d'ontologie RDFS et OWL, ou le vocabulaire SKOS pour la représentation des thésaurus et autres vocabulaires structurés. D'autres vocabulaires RDF, sans être spécifiés par le W3C, sont néanmoins utilisés largement et constituent des standards de fait dans la communauté du Web Sémantique, comme FOAF qui est destiné à la représentation des personnes.

Un vocabulaire est un modèle de données comprenant des classes, propriétés et relations qui peuvent être utilisées pour décrire vos données et métadonnées.

- ✓ Vocabulaires RDF sont des ensembles de termes utilisés pour décrire les choses.
- ✓ Un terme est soit une classe, soit une propriété.
- ✓ Propriétés de type objet (les relations).
- ✓ Propriétés de type de données (attributs).

### Que sont les classes, les relations et les propriétés ?

- ✓ **Classe** : Une construction qui représente les choses dans le monde réel et / ou des informations, **par exemple** : (une personne, une organisation, des concepts tels que « santé » ou « liberté »).
- ✓ **Relation** : Un lien entre deux classes, comme le lien entre un document et l'organisation qui l'a publiée (**par ex.** organisation publie un document), ou le lien entre une carte et la région géographique qu'il représente (**par ex.** carte représente région géographique). En RDF, les relations RDF sont encodées comme des propriétés de type d'objet.
- ✓ **Propriété** : Une caractéristique d'une classe dans un domaine particulier, comme le nom légal d'une organisation ou à la date et l'heure de l'observation a été faite.

### • Réutilisation de vocabulaires RDF ;

- ✓ La réutilisation des données aide grandement l'interopérabilité de vos données.
- ✓ La réutilisation ajoute de la crédibilité à votre schéma. Il montre qu'il a été publié avec soin et professionnalisme, ce qui favorise encore une fois sa réutilisation.
- ✓ La réutilisation est plus facile et moins chère. La réutilisation des classes et des propriétés de vocabulaires bien définis et correctement hébergés évite que vous ayez à reproduire cet effort.

- **Modéliser votre propre vocabulaire en tant que Schéma RDF :**

S'il n'ya pas de vocabulaire officiel de référence réutilisable et approprié pour décrire vos données, utilisez les conventions pour décrire votre propre vocabulaire :

- ✓ **Schéma RDF (RDFS).**
- ✓ **Langage d'ontologie Web (OWL).**

### 2.4.3 Schéma RDF (Ressource Description Framework Schéma) :

Le langage RDFS ajoute à RDF la possibilité de définir des hiérarchies de classes et de propriétés dont l'applicabilité et le domaine de valeurs peuvent être spécifiés à l'aide des attributs rdfs :domain et rdfs :range. Chaque domaine applicatif peut être ainsi associé à un schéma identifié par un préfixe particulier et correspondant à une URI. Les ressources instances sont ensuite décrites en utilisant le vocabulaire donné par les classes définies dans ce schéma. Les applications peuvent alors leur donner une interprétation opérationnelle. Cependant, on peut noter que RDFS n'intègre pas en tant que tel des capacités de raisonnement mais plutôt des solutions de base de données dédiées à RDFS apparaissant comme l'architecture Sésame à laquelle est associé le langage de requête SPARQL [38].

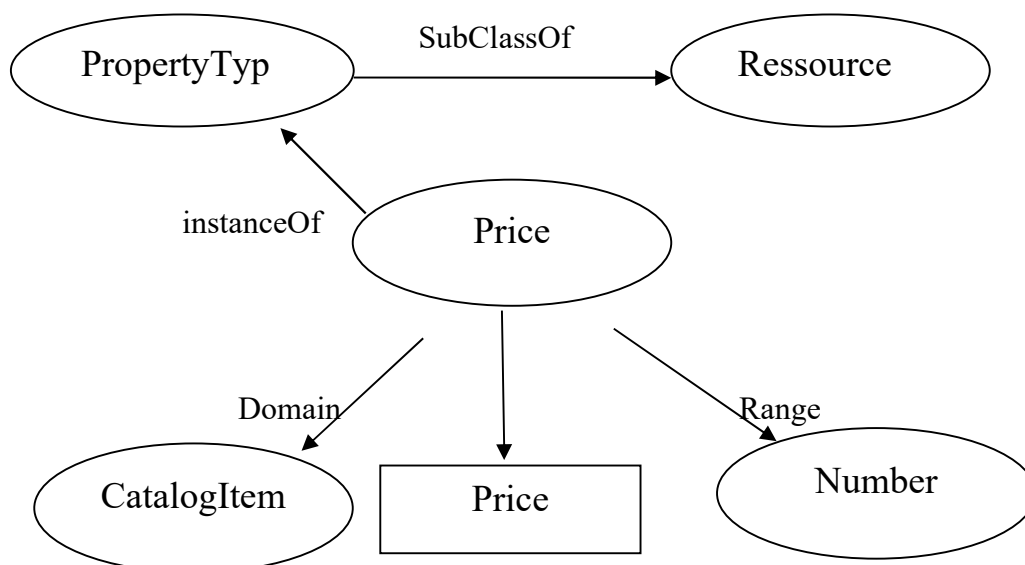


Figure 7 : Exemple schéma RDF.

## 2.5 Langages OWL

Web Ontology Language est un langage de représentation des connaissances construit sur le modèle de données de RDF. Il fournit les moyens pour définir des ontologies web structurées. Sa deuxième version est devenue une recommandation du W3C fin 2012 [38].

Le langage OWL est basé sur les recherches effectuées dans le domaine de la logique de description. Il peut être vu en quelque sorte comme un standard informatique qui met en œuvre certaines logiques de description, et permet à des outils qui comprennent OWL de travailler avec ces données, de vérifier que les données sont cohérentes, de déduire des connaissances nouvelles ou d'extraire certaines informations de cette base de données. Il permet notamment de décrire des ontologies, c'est-à-dire qu'il permet de définir des terminologies pour décrire des domaines concrets. Une terminologie se constitue de concepts et de propriétés (aussi appelés « rôles » en logiques de description). Un domaine se compose d'instance de concepts.

Le langage OWL fournit des mécanismes pour créer tous les composants d'une ontologie : classes, instances, propriétés et axiomes. OWL repose également sur la syntaxe des triplets RDF et réutilise certaines des constructions RDFS. Comme en RDFS, les classes peuvent avoir des sous-classes, fournissant ainsi un mécanisme pour le raisonnement et l'héritage des propriétés [38]. Par contre, en OWL, on distingue :

**1) les propriétés objet (object property),** Les relations, qui relient des instances de classes à d'autres instances de classes. C'est l'équivalent des triplets RDF dont l'objet est une ressource.

**2) les propriétés type de données (datatype property),** Les attributs, qui relient des instances de classes à des valeurs de types de données (nombres, chaînes de caractères,). C'est l'équivalent des triplets RDF dont l'objet est une valeur littérale. Les axiomes fournissent de l'information au sujet des classes et des propriétés, spécifiant par exemple l'équivalence entre deux classes.

### **2.5.1 Une extension de RDFS :**

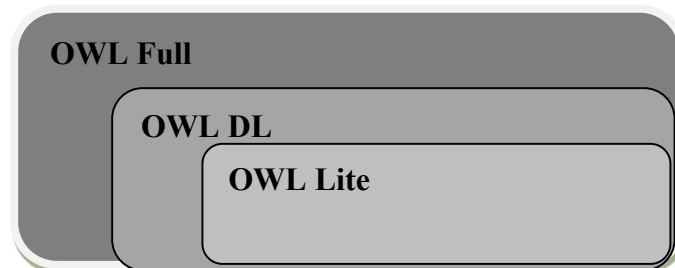
Malheureusement, bien que l'utilisation d'extensions de RDFS soit plus pertinente en théorie pour décrire le monde, il subsiste des problèmes pour les utiliser dans un contexte opérationnel. Par exemple, deux bases de données peuvent ne pas avoir le même comportement avec la même ontologie même si l'implémentation des bases de données sont correcte Ces défauts sont inacceptables dans un système en production. Dès lors, les éditeurs de bases de données n'implémentent pas ou peu ces extensions et les inférences induites sont difficilement prévisibles sans avoir testé au préalable ces bases de données

Les développeurs d'ontologies doivent s'intéresser à la compatibilité des extensions de RDFS sur les bases de données cibles durant l'implémentation de leur ontologie sans quoi ce travail de description risque d'être inutile et alourdira inutilement l'accès aux données via SPARQL à travers le système d'information qui hébergera cette ontologie.

## 2.5.2 Les trois niveaux d'owl :

Le langage OWL est assez complexe, voila pourquoi il se compose de trois sous langages qui proposent une expressivité croissante, chacun conçu pour des communautés de développeurs et des utilisateurs spécifiques : OWL Lite, OWL DL, OWL Full. Chacun est une extension par rapport à son prédécesseur plus simple :

- a. **OWL Lite** : est le sous langage de OWL le plus simple. Il répond à des besoins de hiérarchie de classification et de fonctionnalités de contrainte simples de cardinalité 0 ou 1. Une cardinalité 0 ou 1 correspond à des relations fonctionnelles, par exemple, une personne a une adresse. Toutefois, cette personne peut avoir un ou plusieurs prénoms, OWL Lite ne suffit donc pas pour cette situation.
- b. **OWL DL** : est plus complexe que OWL Lite, permettant une expressivité bien plus importante. OWL DL est fondé sur la logique de descriptions (d'où son nom, OWL Description Logics) et conférant donc à OWL DL son adaptation au raisonnement automatisé. Malgré sa complexité relative face à OWL Lite, OWL-DL garantit la complétude des raisonnements (toutes les inférences sont calculables) et leur décidabilité (leur calcul se fait en une durée finie).
- c. **OWL Full** : est la version la plus complexe d'OWL, mais également celle qui permet le plus haut niveau d'expressivité. Le langage OWL Full se destine aux personnes souhaitant une expressivité maximale, ainsi que la liberté syntaxique de RDF, mais sans garantir la complétude et la décidabilité des calculs liés à l'ontologie. En OWL Full, une classe peut également être un individu, il n'y a pas de séparation des types. C'est pour cela que la calculabilité ne peut être garantie. Il est à noter qu'entre ces trois sous langage il existe une dépendance de nature hiérarchique. En effet, toute ontologie OWL Lite valide est également une ontologie OWL DL valide, et toute ontologie OWL DL valide est également une ontologie OWL Full valide [39].



**Figure 8** : Représenté de trois niveaux OWL (OWL Lite  $\subset$  OWL DL  $\subset$  OWL Full).

## 2.6 Ontologies

La notion d'ontologie a été abordée pour la première fois par John McCarthy dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA). Il affirmait déjà en 1980 que les concepteurs des systèmes intelligents fondés sur la logique devraient d'abord énumérer tout ce qui existe [40]. Cette approche présentée par John McCarthy n'est pas la seule puisque par la suite plusieurs définitions ont été proposées par d'autres auteurs du domaine :

**Définition 1 :** En intelligence artificielle, la définition communément admise d'une ontologie a été donnée par T.Gruber où il décrit une ontologie comme une spécification explicite d'une conceptualisation. T. Gruber défend ce point de vue comme suit : " An ontology is a specification of a conceptualisation. That is, an ontology is a description (like a formal specification of a program) of the concepts and Relationship That Can exist for an agent or a community of agent " [41].

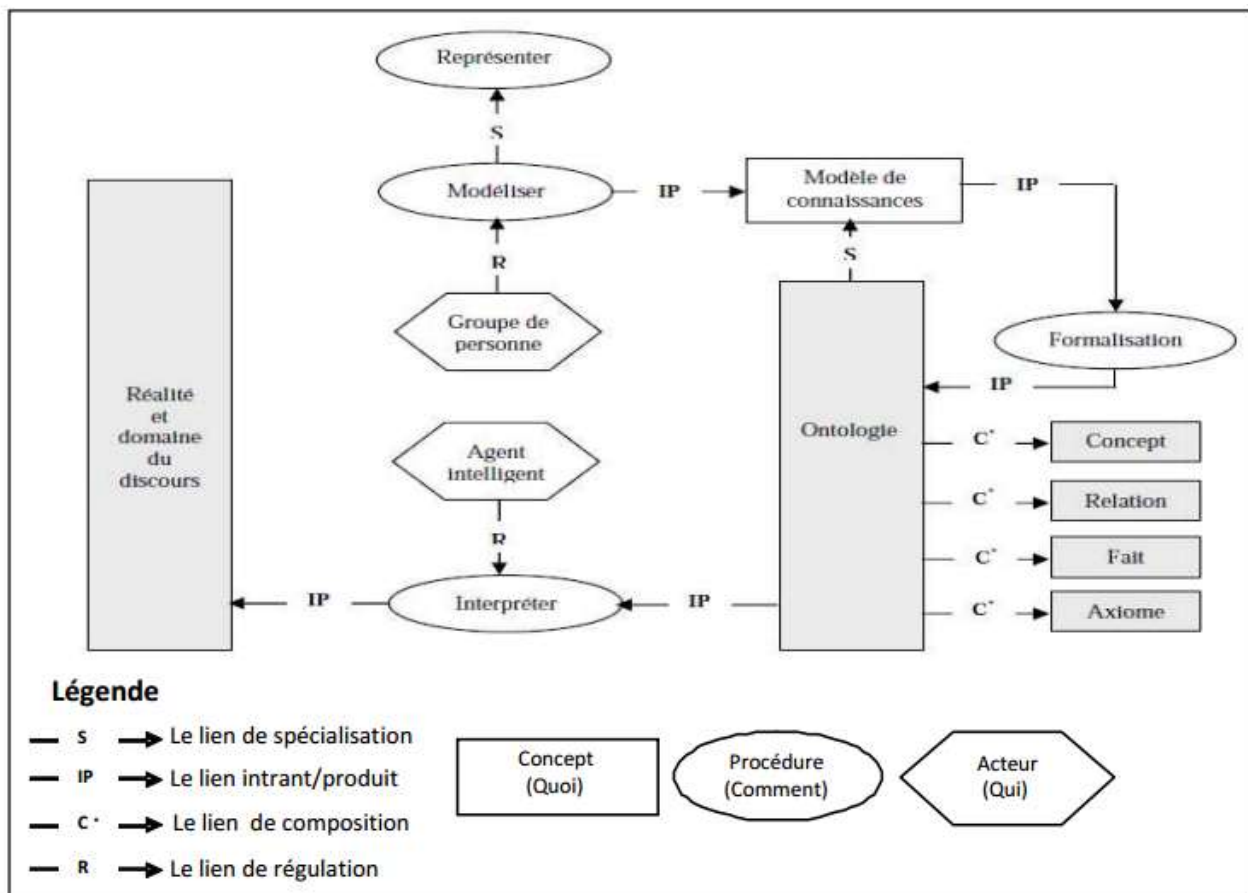
**Définition 2 :** Après, afin de compléter le sens philosophique originel, N. Guarino a introduit la notion d'ontologie formelle, qui est définie en tant que modélisation conceptuelle, ou une représentation de cette modélisation. " Une ontologie est un accord sur une conceptualisation partagée et éventuellement partielle " [42].

**Définition 3 :** De même, M. Uschold définit une ontologie comme une description formelle d'entités et de leurs propriétés, relations, contraintes et comportements. De plus, les auteurs ont introduit, dans [43], la notion de ontologies explicite "An explicit ontology may take a variety of forms, but necessarily it will include a vocabulary of terms and some specification of their meaning".

**Définition 4 :** C.Roche a donné une définition générique et simple "Une ontologie est une conceptualisation d'un domaine à laquelle sont associés un ou plusieurs vocabulaires de termes. Les concepts se structurent en un système et participent à la signification des termes. Une ontologie est définie pour un objectif donné et exprime un point de vue partagé par un groupe de personne. Une ontologie s'exprime dans un langage (représentation) qui repose sur une théorie (sémantique) qui garantit des propriétés de l'ontologie en termes de consensus, cohérence, réutilisation et partage" [44].

**Définition 5 :** Pour Oberle, les ontologies, en tant que systèmes de représentation, peuvent être considérées au même titre que des systèmes de modélisation conceptuelle, tels que le modèle entité-relation de Chen (1976) ou le modèle UML de Rumbaugh, Jacobson et Booch (1999). Cependant, l'ontologie se distingue de ces systèmes de représentation par les points suivants [45]:

- L'idée primaire des ontologies est d'établir un certain niveau de consensus autour d'un vocabulaire afin de faciliter l'échange d'informations entre applications ;
- Les ontologies sont formalisées au moyen d'un système de représentation logique dont la sémantique est spécifiée de façon non ambiguë ;
- L'ontologie est exprimée au moyen d'un langage de représentation qui, à l'état d'exécution, sert de représentation à des applications de recherche et de raisonnement. Dans la figure 9, nous présentons une synthèse des principales définitions d'une ontologie, du point de vue informatique, schématisée dans le langage graphique de Modélisation par Objets Typés (MOT), dont on trouve une description détaillée dans [46].



**Figure 9** : représentation d'une ontologie.

## 2.7 Objectif :

L'objectif premier d'une ontologie est de modéliser un ensemble de connaissances dans un domaine donné, qui peut être réel ou imaginaire.

Les ontologies sont employées dans l'intelligence artificielle, le Web sémantique, le génie logiciel, l'informatique biomédicale ou encore l'architecture de l'information comme une forme de représentation de la connaissance au sujet d'un monde ou d'une certaine partie de ce monde. Les ontologies décrivent généralement :

<b>Individus</b>	Les objets de base
<b>Classes</b>	Ensembles, collections, ou types d'objets
<b>Attributs</b>	Propriétés, fonctionnalités, caractéristiques ou paramètres que les objets peuvent posséder et partager
<b>Relations</b>	Les liens que les objets peuvent avoir entre eux
<b>Événements</b>	Changements subis par des attributs ou des relations

**Principe :** Selon Gruber, « l'ontologie est une spécification explicite d'une conceptualisation », c'est-à-dire qui permet de spécifier dans un langage formel les concepts d'un domaine et leurs relations [41].

## 2.8 Evaluation d'ontologie :

D'après Gruber, cinq critères permettent de mettre en évidence des aspects importants d'une ontologie [41] :

1. **La clarté :** la définition d'un concept doit faire passer le sens voulu du terme, de manière aussi objective que possible (indépendante du contexte). Une définition doit de plus être complète (c'est-à-dire définie par des conditions à la fois nécessaires et suffisantes) et documentée en langage naturel.
2. **La cohérence :** rien qui ne puisse être inféré de l'ontologie ne doit entrer en contradiction avec les définitions des concepts (y compris celles qui sont exprimées en langage naturel).
3. **L'extensibilité :** les extensions qui pourront être ajoutées à l'ontologie doivent être anticipées. Il doit être possible d'ajouter de nouveaux concepts sans avoir à toucher aux fondations de l'ontologie.
4. **Une déformation d'encodage minimale :** une déformation d'encodage a lieu lorsque la spécification influe sur la conceptualisation (un concept donné peut être plus simple à définir d'une certaine façon pour un langage d'ontologie donné, bien que cette définition ne corresponde pas exactement au sens initial). Ces déformations doivent être évitées autant que possible.
5. **Un engagement ontologique minimal :** le but d'une ontologie est de définir un vocabulaire pour décrire un domaine, si possible de manière complète ; ni plus, ni moins. Contrairement

aux bases de connaissances par exemple, on n'attend pas d'une ontologie qu'elle soit en mesure de fournir systématiquement une réponse à une question arbitraire sur le domaine. Toujours selon Gruber, « l'engagement ontologique peut être minimisé en spécifiant la théorie la plus faible (celle permettant le plus de modèles) couvrant un domaine ; elle ne définit que les termes nécessaires pour partager les connaissances consistantes avec cette théorie ».

## 2.9 Types d'ontologie :

On identifie trois types d'ontologies selon un niveau décroissant d'abstraction :

- a. **Les ontologies globales (*Top-Level Ontology*)** : présentent un plus haut niveau d'abstraction et de généralité, sont les ontologies formelles, car elles sont issues d'un développement systématique, rigoureux et axiomatique de la logique de toutes les formes et modes d'existence. L'adoption de principes rigoureux dans la conception de l'ontologie formelle répond au besoin de disposer de connaissances pouvant être partagées et transférées d'un contexte à l'autre. Elles sont dédiées à des utilisations générales (ex : WordNet). Une ontologie formelle est donc une théorie des distinctions formelles entre les éléments d'un domaine, indépendamment de leur réalité [47].
- b. **Les ontologies de domaine, ou dédiées à une tâche plus spécifique** : limitées à la représentation de concepts dans des domaines donnés (géographie, médecine, écologie, etc.) et qui spécialise les concepts de l'ontologie globale.
- c. **Les ontologies d'application** : offrent le plus fin niveau de spécificité, c'est-à-dire qu'elles sont dédiées à un champ d'application précis à l'intérieur d'un domaine et décrivent le rôle particulier des entités de l'ontologie de domaine dans ce champ. Par exemple, l'ensemble des spécifications sur la forêt de Montmorency constitue une ontologie d'application qui spécifie les concepts généraux pouvant provenir d'une ontologie de domaine forestier générale [47].

## 2.10 SPARQL (Protocol and RDF Query Language):

SPARQL est un langage de requête et un protocole qui permet de rechercher, d'ajouter, de modifier ou de supprimer des données RDF disponibles à travers Internet. Son nom est un acronyme récursif qui signifie SPARQL Protocol and RDF Query Language.

SPARQL est l'équivalent de SQL car comme en SQL, on accède aux données d'une base de données via ce langage de requête alors qu'avec SPARQL, on accède aux données du Web des données. Cela signifie qu'en théorie, on pourrait accéder à toutes les données du Web avec ce

standard. L'ambition du W3C est d'offrir une interopérabilité non pas seulement aux niveaux des services, comme avec les services Web, mais aussi aux niveaux des données structurées ou non qui sont disponibles à travers l'Internet.

Ce standard a été créé par le groupe de travail DAWG (RDF Data Access Working Group) du W3C (Consortium World Wide Web). SPARQL est considéré comme l'une des technologies clés du Web sémantique et le 15 janvier 2008, la version 1.0 est devenue une recommandation officielle du W3C. La version 1.1 permettra d'enregistrer des données et de fusionner des données de sources différentes. La version 1.1 est devenue depuis le 21 mars 2013 une recommandation.

Les implémentations de SPARQL au sein de triple stores se multiplient. « SPARQL fera une énorme différence », selon Tim Berners-Lee dès mai 2006 [33].

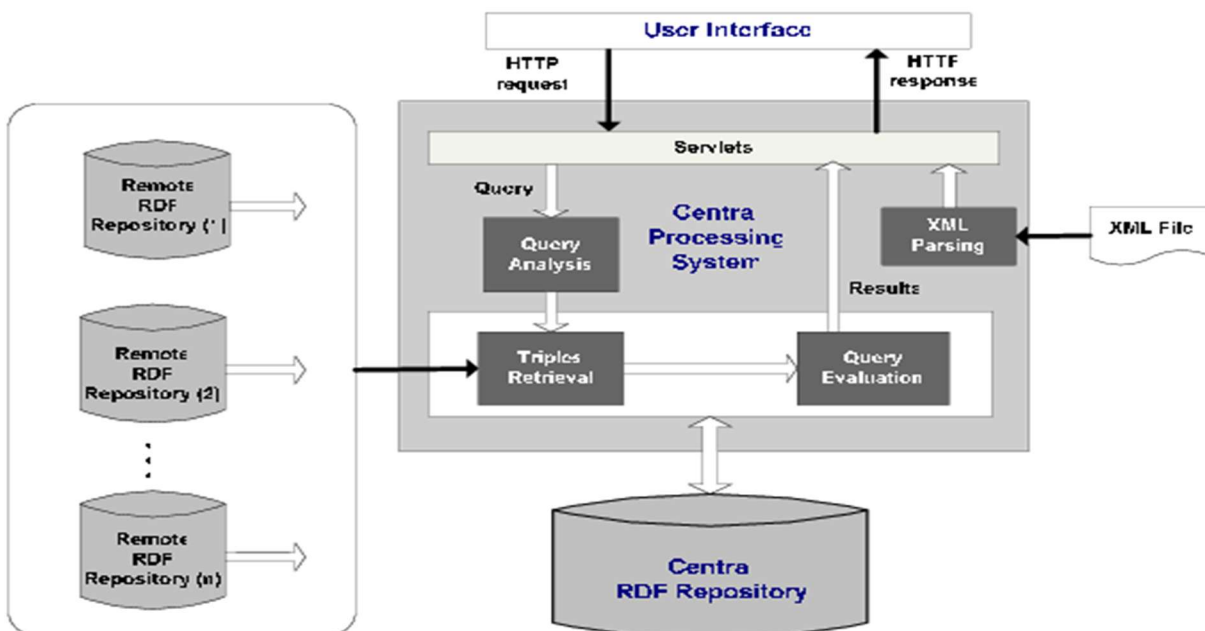


Figure 10 : Architecture du requête SPARQL pour les référentiels RDF distribués [33].

## 2.11 Structure de requête SPARQL

SPARQL est adapté à la structure spécifique des graphes RDF, et s'appuie sur les triplets qui les constituent. En cela, il est différent du classique SQL (langage de requête qui est adapté aux bases de données de type relationnelles), mais s'en inspire clairement dans sa syntaxe et ses fonctionnalités. Il a aussi quelques traits de ressemblance mineurs avec Prolog [38].

SPARQL permet d'exprimer des requêtes interrogatives ou constructives :

- Une requête **SELECTE**, de type interrogatif, permet d'extraire du graphe RDF un sous-graphe correspondant à un ensemble de ressources vérifiant les conditions définies dans une clause **WHERE**.
- Une requête **CONSTRUCT**, de type constructif, engendre un nouveau graphe qui complète le graphe interrogé.

Par exemple sur un graphe RDF contenant des informations généalogiques, on pourra par une requête **SELECTE** trouver les parents ou grands-parents d'une personne donnée, et par des requêtes **CONSTRUCT** ajouter des relations frère-sœur, cousin-cousine, oncle-neveu, qui ne seraient pas explicitement déclarées dans le graphe initial.

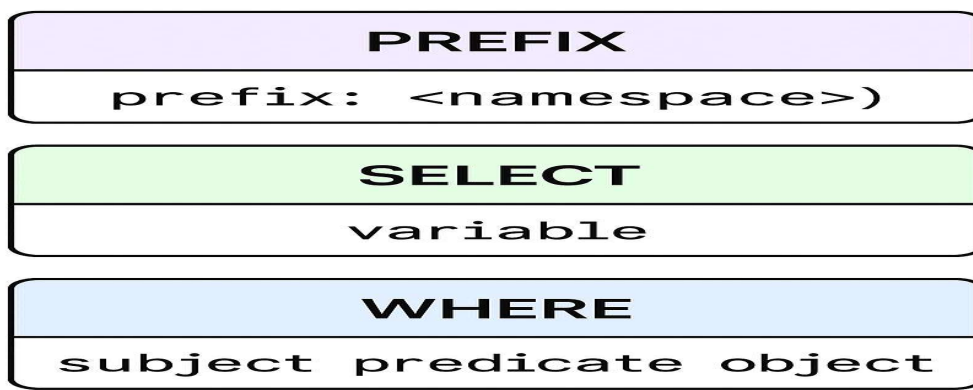


Figure 11 : Structure de la requête SPARQL.

## 2.12 Annotation vidéo et données liées

L'annotation textuelle des contenus vidéo s'est imposée comme un outil essentiel pour enrichir les expériences éducatives. Cette méthode rend le contenu vidéo plus facile à consulter, à parcourir et à comprendre. La valeur pédagogique du contenu vidéo est accrue lorsque les données liées relient l'annotation au monde extérieur. Cette combinaison favorise une expérience d'apprentissage plus riche et plus interactive : une cartouche entre les concepts, offrant une meilleure compréhension aux élèves.

### 2.12.1 Annotation vidéo

L'annotation vidéo est un processus permettant d'ajouter des métadonnées au contenu vidéo afin de le rendre plus accessible et d'enrichir sa valeur pédagogique. Les métadonnées vidéo peuvent prendre la forme de commentaires textuels, d'étiquettes, de liens, voire d'éléments interactifs tels que des quiz

ou des questions à un moment précis du contenu vidéo. L'annotation rend la vidéo plus riche, captivante et actuelle, et fournit un contexte et des informations supplémentaires pour l'apprentissage. [48]

### a- À quoi sert l'annotation vidéo ?

L'annotation vidéo ajoute des étiquettes, des annotations ou des métadonnées aux données vidéo, améliorant ainsi leur compréhension et leur analyse par les machines. Elle consiste à les étiqueter avec des informations sur les scènes, les personnages et les événements.

Ces annotations permettent une reconnaissance, un suivi et une interprétation précis des caractéristiques visuelles en fournissant des informations contextuelles aux algorithmes et aux modèles. L'annotation vidéo facilite la transformation des données vidéo brutes en informations utiles en étiquetant les éléments ou les zones d'intérêt au sein des images ou des séquences.

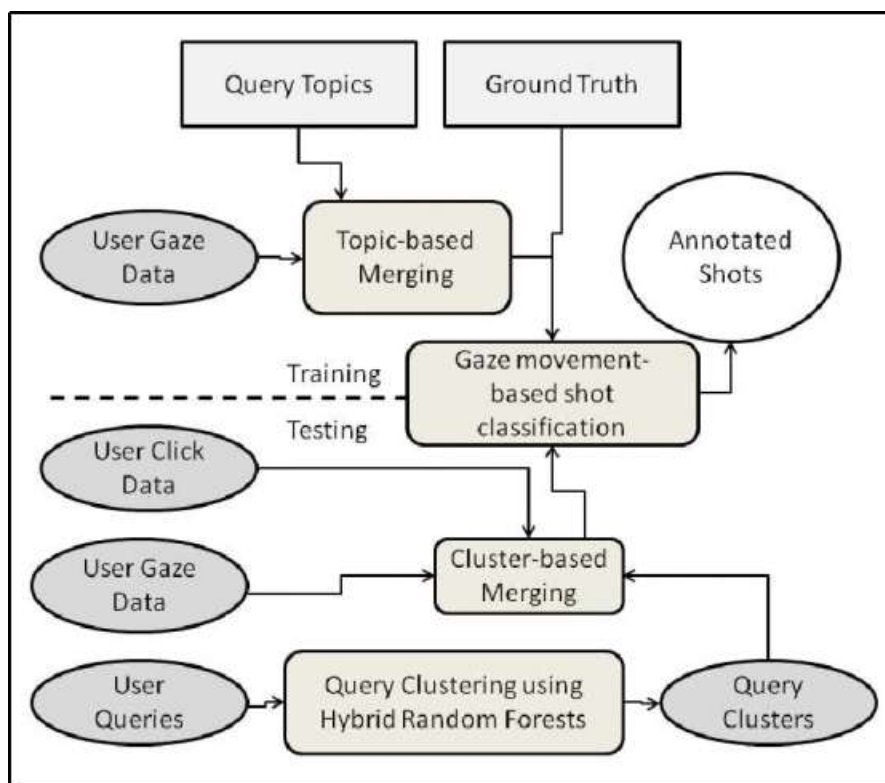


Figure 12 : Explique comment fonctionne le Vidéo Annotation Framework [49]

## b- Types d'annotation vidéo

De nombreux types d'annotations peuvent être ajoutés aux vidéos, et chacune d'entre elles permet une analyse et une interprétation spécifiques. Voici quelques-unes des plus courantes Commun annotations vidéo.

- **Suivi d'objets** : Le suivi d'objets consiste à surveiller les mouvements d'un objet prédéfini dans une vidéo. L'annotation est essentielle pour des tâches telles que la surveillance, les véhicules autonomes et la reconnaissance d'actions.
- **Reconnaissance d'activité** : Ici, les vidéos sont annotées à partir des informations de reconnaissance d'activité, ce qui implique la recherche et l'étiquetage d'instances d'activité humaine. Ces annotations sont utiles dans des domaines aussi variés que la vidéosurveillance, l'analyse sportive et l'interaction homme-machine.
- **Segmentation de scène** : Il s'agit d'une annotation vidéo qui divise la vidéo en différentes scènes ou segments en fonction du décor, du mouvement ou du sujet. Cette annotation permet de résumer la vidéo, de la récupérer en fonction du contenu et de la monter.
- **Reconnaissance des émotions** : Cette annotation est censée reconnaître et étiqueter les expressions ou états émotionnels des personnes dans les vidéos. Cette technologie s'appuie sur une fusion de technologies d'informatique affective, d'études psychologiques et d'analyse des sentiments.
- **Transcription et étiquetage des paroles ou dialogues** : Cette annotation transcrit et étiquette les paroles ou dialogues d'une vidéo. Elle présente des avantages. Vidéo indexation, automatique sous-titrage et transcription. [50]

### 2.12.2 Avantages de l'annotation vidéo dans l'éducation

- **Engagement renforcé** : L'annotation vidéo rend le contenu vidéo plus interactif, permettant aux élèves d'interagir avec le contenu de diverses manières. Cela peut prendre la forme de quiz, de questions et de commentaires intégrés aux annotations, ce qui les aide à poser des questions essentielles.
- **Navigation améliorée** : Les annotations facilitent la navigation des étudiants dans le contenu vidéo. L'ajout d'étiquettes et de liens permet d'y parvenir. Il est ainsi possible d'ajouter un lien pertinent vers une section de la vidéo adaptée aux besoins d'apprentissage des étudiants.
- **Contexte et informations supplémentaires** : Un annotateur vidéo peut tirer profit de l'ajout d'un lien vers une autre ressource, comme un article, un site web ou d'autres vidéos. Cela donne aux

étudiants une vision plus large du contenu enseigné, car toutes ces ressources sont mises à leur disposition.

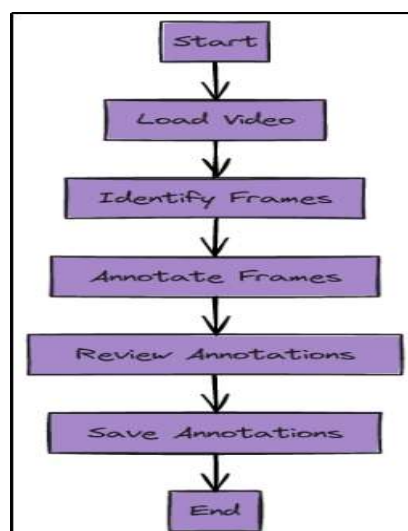
- **Collaboration** : La collaboration avec les élèves est facilitée grâce aux annotations des enseignants. De plus, les enseignants peuvent laisser des commentaires directement sur la vidéo, permettant aux élèves de discuter des sujets abordés, et les enseignants peuvent ensuite les renvoyer.
- **Rétention améliorée** : Les annotations vidéo sont interactives et aident à mieux retenir ce qui a été enseigné. Lorsque les élèves s'impliquent concrètement dans le contenu, ils sont plus enclins à le retenir et à le comprendre. [51]

## 2.13 Techniques et outils d'annotation vidéo

Nous avons principalement 5 techniques d'annotation vidéo, les suivantes :

**2.13.1 Annotation manuelle** : L'annotation manuelle est une technique traditionnelle où des annotateurs humains regardent des vidéos et marquent des objets ou des événements spécifiques d'intérêt. C'est laborieux et nécessite un travail humain qualifié.

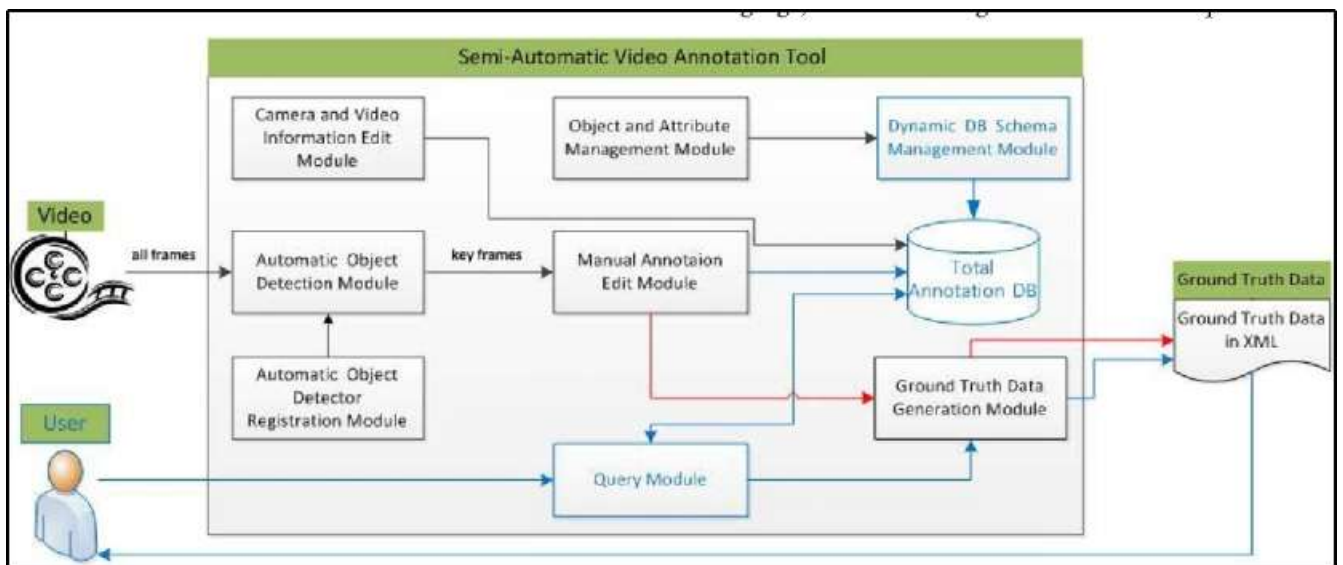
L'annotation manuelle, quant à elle, fournit un étiquetage très précis et fonctionne donc bien avec des données d'apprentissage de haute qualité. Elle est couramment utilisée lorsque l'automatisation est difficile ou lorsque le jugement humain est requis pour finaliser le processus d'annotation.



**Figure 13** : schéma de l'annotation vidéo manuelle

**2.13.2 Annotation semi-automatique :** il s'agit de la concaténation de connaissances humaines et de méthodes automatisées. Par exemple, des techniques de vision par ordinateur sont appliquées pour faciliter la création d'annotations par les annotateurs. Ces algorithmes peuvent ensuite détecter automatiquement l'objet ou l'événement et le suivre, réduisant ainsi le nombre d'annotations manuelles.

L'exactitude des annotations automatisées est vérifiée et corrigée par un annotateur humain. En général, l'annotation avec des méthodes semi-automatiques est réalisée en une fraction du temps nécessaire à une annotation manuelle, sans perte de précision.



**Figure 14 :** Architecture système de l'outil d'annotation vidéo semi-automatique [52]

**2.13.3 Apprentissage actif :** Technique d'apprentissage actif qui sélectionne uniquement les échantillons les plus informatifs pour l'annotation. Cette approche limite le temps d'annotation aux échantillons les plus précieux. Comparées aux méthodes traditionnelles nécessitant une annotation manuelle, les stratégies d'apprentissage actif se concentrent de manière itérative uniquement sur les échantillons de l'ensemble de données vidéo particulièrement difficiles à classer ou présentant une ambiguïté.

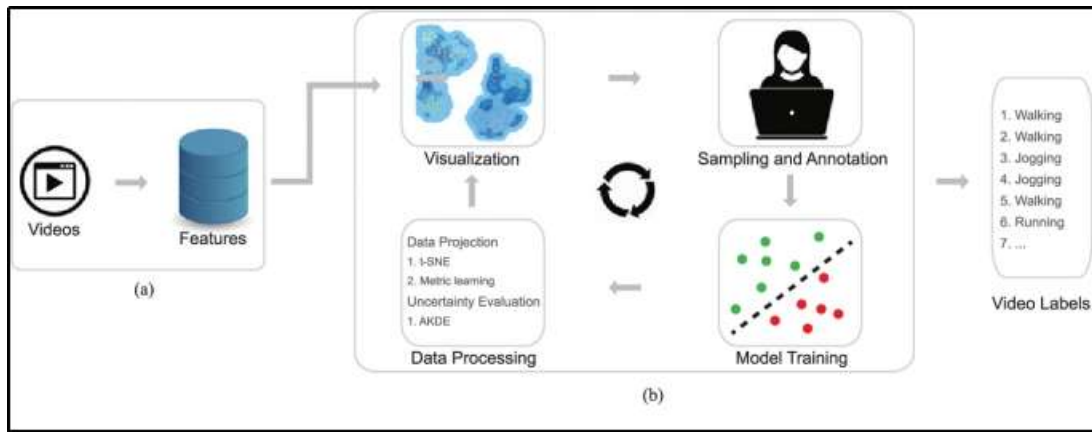


Figure 15 : Pipeline d'apprentissage actif basé sur la visualisation [52]

**2.13.4 Cadres de délimitation et suivi d'objets :** Les cadres de délimitation constituent la méthode d'annotation la plus courante. Ils annotent une image vidéo donnée en dessinant des rectangles autour des éléments concernés. Ces cadres représentent le contenu et les limites d'un objet.

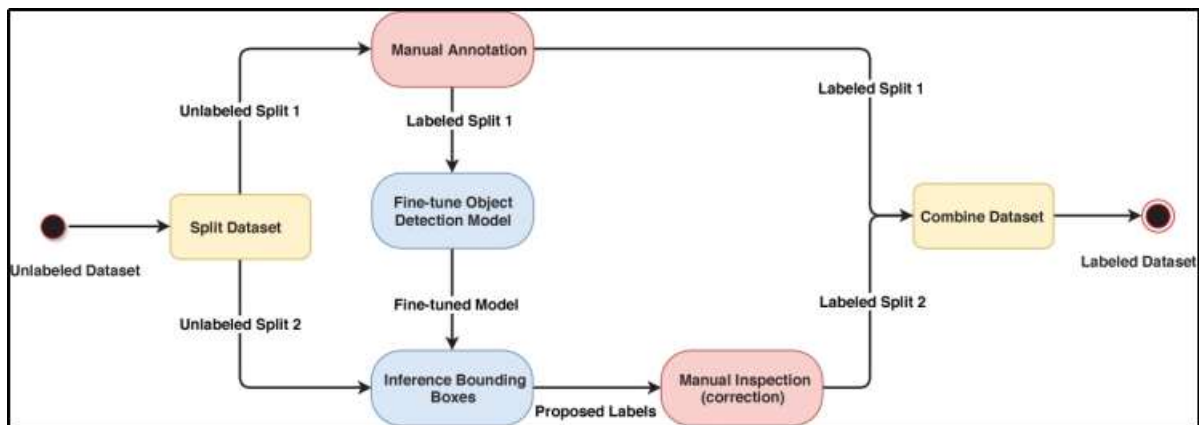


Figure 16 : Le flux de travail de l'annotation [54]

**2.13.5 Segmentation sémantique :** Cette fonction permet aux annotateurs d'étiqueter chaque pixel d'une image vidéo avec la catégorie à laquelle appartient un objet. Elle est utile pour l'interprétation de scènes, les conversions d'image en image et la segmentation vidéo, car elle fournit des informations précises sur les limites des objets. [55]

## 2.14 Défis et considérations pour l'annotation vidéo

L'annotation vidéo est essentielle dans de nombreux domaines, tels que la vision par ordinateur, l'apprentissage automatique et l'analyse de données. L'étiquetage et le marquage d'objets, d'activités

ou d'événements spécifiques dans une vidéo nécessitent des systèmes automatisés pour interpréter correctement les données visuelles. L'annotation vidéo présente de nombreux avantages potentiels, mais présente également plusieurs obstacles et éléments à prendre en compte :

a- **Subjectivité et variabilité inter-annotateur** : La subjectivité humaine et l'hétérogénéité entre annotateurs dans l'annotation vidéo constituent des problèmes majeurs. Des annotations incohérentes se produisent car différents annotateurs décrivent la même vidéo différemment en fonction des variations de perception, des biais et de la compréhension individuelle. Pour résoudre ce problème, il est indispensable de définir des normes d'annotation appropriées. Ces normes définiraient clairement les critères d'étiquetage afin d'uniformiser les annotations. Des sessions de formation et des discussions régulières permettraient d'harmoniser les interprétations des annotateurs et, par conséquent, de réduire la subjectivité. Outre le recours à plusieurs annotateurs, les différences peuvent être identifiées et corrigées grâce aux mesures de concordance inter-annotateurs.

b- **Équilibrer la précision et l'efficacité dans l'annotation** : Il existe un compromis entre une annotation rapide et une annotation parfaitement précise. Des annotations précises peuvent être très chronophages, surtout pour les grands ensembles de données. Le pré-étiquetage avec des modèles pré-entraînés et l'apprentissage actif peuvent être utiles à cet égard. Ces stratégies réduisent les efforts manuels, tout en préservant la précision grâce à un retour d'information itératif et à un contrôle qualité.

c- **Gestion de contenus vidéo complexes et d'occlusions** : Cependant, l'annotation vidéo est rendue difficile par la complexité du contenu, comme les occlusions, le flou de mouvement, la faible résolution des images et les scènes surchargées. Une occlusion représente un défi majeur, car l'objet peut être masqué, ce qui complique l'annotation, notamment dans les scènes surchargées et dynamiques. Des algorithmes sophistiqués de suivi d'objets pourraient gérer les occlusions. La multiplication des annotateurs et des approches consensuelles contribue à améliorer la précision. Des outils d'annotation spécialisés, dotés de fonctionnalités prenant en charge le grossissement,

l'augmentation d'image et l'analyse image par image, sont également utiles pour annoter des contenus vidéo complexes. [55]

## 2.15 conclusions

D'abord, ce chapitre a clarifié la bascule du « Web des documents » vers le « Web des données », où l'information est représentée de manière formelle et exploitable par des machines. Au cœur de cette transition, **RDF** fournit un modèle de graphes en triplets qui rend les assertions interopérables et comparables entre systèmes hétérogènes. Ensuite, **RDFS** et **OWL** structurent la sémantique par des classes, propriétés et axiomes, ouvrant la voie à l'inférence pour des connaissances cohérentes et partageables. **SPARQL 1.1** permet l'interrogation et la mise à jour des graphes, y compris en contexte fédéré, condition essentielle aux usages à l'échelle du Web. Les sérialisations **JSON-LD**, **RDF/XML** et **Turtle** assurent la diffusion et l'échange dans des écosystèmes techniques variés. Des vocabulaires tels que **SKOS** facilitent l'alignement terminologique, tandis que **SHACL** renforce la qualité par la validation structurelle et sémantique. Les **Linked Data** s'appuient sur quatre principes simples et efficaces et s'inscrivent dans le modèle « cinq étoiles », comme l'illustrent **DBpedia**, **Wikidata**, **GeoNames** et **Europeana**. Par ailleurs, la clarification **URI/URL/URN/IRI** rappelle la nécessité d'**URI HTTP différenciables**, gage de persistance, de viabilité et de maillage. Les **ontologies**, au sens de Gruber et Studer, fournissent une conceptualisation partagée qui soutient la réutilisation et la maintenance à long terme. Cette base sémantique favorise l'interopérabilité entre applications, la découverte des ressources et la gouvernance maîtrisée des identifiants. Néanmoins, demeurent des défis : hétérogénéité sémantique, coûts de modélisation et de curation, performances des points d'accès et qualité des liens. Ces limites invitent à des stratégies de conception prudentes, à la documentation rigoureuse des vocabulaires et à une supervision opérationnelle continue. En somme, l'architecture normative présentée offre un cadre robuste pour bâtir des graphes de connaissances durables et interconnectés. Ainsi, le chapitre fournit les fondations conceptuelles et technologiques nécessaires à la mise en œuvre responsable du Web sémantique. Enfin, il prépare la transition vers le chapitre suivant, consacré à la méthodologie, aux cas d'usage ciblés et aux modalités d'évaluation.

## **Partie 02**

# **Conception mise en œuvre et résultats expérimentaux**

## Chapitre 3 Approche proposé

### LA PLATEFORME ET L'AMELIORATION : CONCEPTION

#### 3.1 Introduction

À l'ère du numérique, l'apprentissage en ligne s'est imposé comme un pilier de l'éducation moderne, offrant une flexibilité et une accessibilité sans précédent aux apprenants du monde entier. Cependant, face à la demande croissante d'enseignement en ligne, la mise en place d'expériences d'apprentissage de qualité s'est complexifiée. L'intégration des données liées aux plateformes d'apprentissage en ligne représente une piste prometteuse pour relever ces défis.

L'enseignement à distance et en ligne s'appuie grandement sur les ressources multimédias. Toutefois, l'usage et la liaison efficaces de ces ressources font face à divers défis. Par exemple, les contenus vidéo font souvent défaut d'annotations appropriées et de liens sémantiques, ce qui entrave une compréhension complète. Les étudiants rencontrent aussi des difficultés pour maintenir leur attention lors de l'apprentissage par vidéo. Des études récentes démontrent que les instruments d'annotation rehaussent de manière significative l'expérience d'apprentissage.

Ce chapitre traitera de ces enjeux et expliquera la solution suggérée en fournissant les détails conceptuels de la plateforme d'enseignement à distance ainsi que les méthodes employées pour l'amélioration et l'évaluation.

Dans ce chapitre, nous aborderons les questions suivantes :

QR : Comment annoter les éléments multimédias pour optimiser la qualité de l'apprentissage via la vidéo et assurer l'interopérabilité entre enseignants et étudiants ?

QR : Comment peut-on perfectionner les cours et les aptitudes pédagogiques en adaptant l'enseignement aux cadences d'apprentissage propres à chacun ?

QR : Comment les étudiants peuvent-ils approfondir leur compréhension des concepts en se servant d'outils d'annotation tout en visionnant des vidéos de cours ?

QR : De quelle manière les professeurs peuvent-ils apprécier avec efficacité les résultats de la méthode d'enseignement suggérée ?

## 3.2 Solution Proposée

Dans le cadre de cette recherche, une plateforme d'enseignement en ligne a été conçue pour l'Université El-Tarf, accompagnée d'une ontologie sur mesure. L'intégration de l'annotation vidéo a aussi été réalisée pour optimiser l'expérience d'apprentissage. La plateforme offre des instruments en ligne qui permettent aux étudiants de procéder à l'étiquetage sémantique des vidéos grâce à des données associées. L'évaluation de l'efficacité de l'enseignement en ligne a été effectuée à travers des pré-tests, des post-tests et des sondages destinés aux étudiants et aux professeurs. La solution proposée est divisée en trois parties comme présenté dans la Figure 17.



**Figure 17 : Les parties de la solution proposée**

### 3.2.1 Phase 1- Analyse et conception pour le développement d’E-learning Platform

Dans cette recherche, on a choisi de développer et d'exploiter une plateforme d'éducation en ligne axée sur un système d'annotation. En ajoutant des fonctionnalités d'annotation sémantique, la plateforme enrichit l'expérience éducative, facilitant une interaction plus performante entre étudiants et enseignants avec le contenu et encourageant une compréhension plus poussée du sujet.

La plateforme d'éducation en ligne (UCBET) a été élaborée pour agir comme un point de collaboration pour la communauté universitaire, favorisant l'échange à distance entre divers acteurs, y compris les enseignants, les mentors, les administrateurs, les créateurs de contenu, ainsi que les étudiants et apprenants.

Notre programme intègre trois interfaces utilisateur. La première, à laquelle les visiteurs peuvent accéder sans identifiants de connexion, offre des cours explicatifs et ouverts hébergés sur la plateforme. La seconde, conçue pour les étudiants, leur offre la possibilité d'accéder à des cours selon leur niveau de compétence. Elle offre des cours de haute qualité comprenant des annotations vidéo et un moteur de recherche sémantique intégré à l'ontologie.

Le troisième élément est conçu pour les professeurs et leur offre la possibilité de concevoir et de diffuser des cours, ainsi que d'élaborer des pré-tests et des post-tests pour chaque niveau scolaire et chaque discipline. L'architecture de la plateforme est représentée dans la Figure 2. Celle-ci opère aussi bien sur des plateformes matérielles que logicielles, employant une variété d'outils logiciels pour sa conception et son déploiement. Cette plateforme a été élaborée pour soutenir un large éventail d'acteurs dans le milieu académique.

La Figure 18 présente l'architecture de la plateforme UCBET, conçue selon une approche modulaire et distribuée permettant une évolutivité, une maintenabilité et une interopérabilité élevées. Cette architecture est structurée en plusieurs couches fonctionnelles, chacune assurant un rôle bien défini dans le fonctionnement global du système.

Au niveau supérieur, la couche UI Layer représente l'interface utilisateur, point d'interaction principal entre l'apprenant, l'enseignant ou l'administrateur et la plateforme. Cette couche s'appuie sur une API Gateway, qui assure la gestion centralisée des requêtes entrantes, l'orchestration des services, ainsi que des mécanismes transversaux tels que la sécurité, le routage et la limitation de charge.

Sous l'API Gateway se trouve une couche de micro services indépendants, spécialisés chacun dans une fonctionnalité métier. On y distingue notamment les services : Authentification et Autorisation, Gestion des Utilisateurs, Gestion des Cours et Vidéos, Player et Streaming, Notification, Requête en Langage Naturel, ainsi que Analytics et Tableau de Bord. Cette décomposition fonctionnelle permet une scalabilité horizontale, où chaque service peut être déployé, mis à jour ou redimensionné indépendamment des autres.

Une couche intermédiaire, centrée autour du Event Bus, assure la communication asynchrone entre les micro services. Ce bus d'événements constitue l'ossature du système en facilitant la propagation d'événements entre les différents modules. Autour de ce bus se trouvent des composants spécialisés tels que le module Annotation Sémantique, le service Ontologie & RDF Store, le Moteur SPARQL, ainsi qu'un composant responsable de la Journalisation et des Logs. Ces services assurent l'intégration de technologies du Web sémantique (RDF, ontologies, requêtes SPARQL) permettant l'enrichissement conceptuel, la recherche intelligente et la gestion de connaissances au sein de la plateforme.

Enfin, la couche inférieure regroupe les systèmes de stockage, comprenant un Database classique pour les données transactionnelles et deux RDF Store dédiés à la persistance des graphes de

connaissances. Ces éléments de stockage sont connectés à l'Event Bus et alimentent les micro services supérieurs en données structurées et sémantiques.

Globalement, cette architecture repose sur une conception orientée micro services, appuyée par un modèle sémantique riche permettant l'annotation, la recherche avancée et l'analyse conceptuelle du contenu pédagogique. Elle assure une modularité forte, une résilience accrue, et une intégration native avec les principes du Web sémantique, offrant ainsi une base technologique robuste pour le développement d'environnements d'apprentissage intelligents.

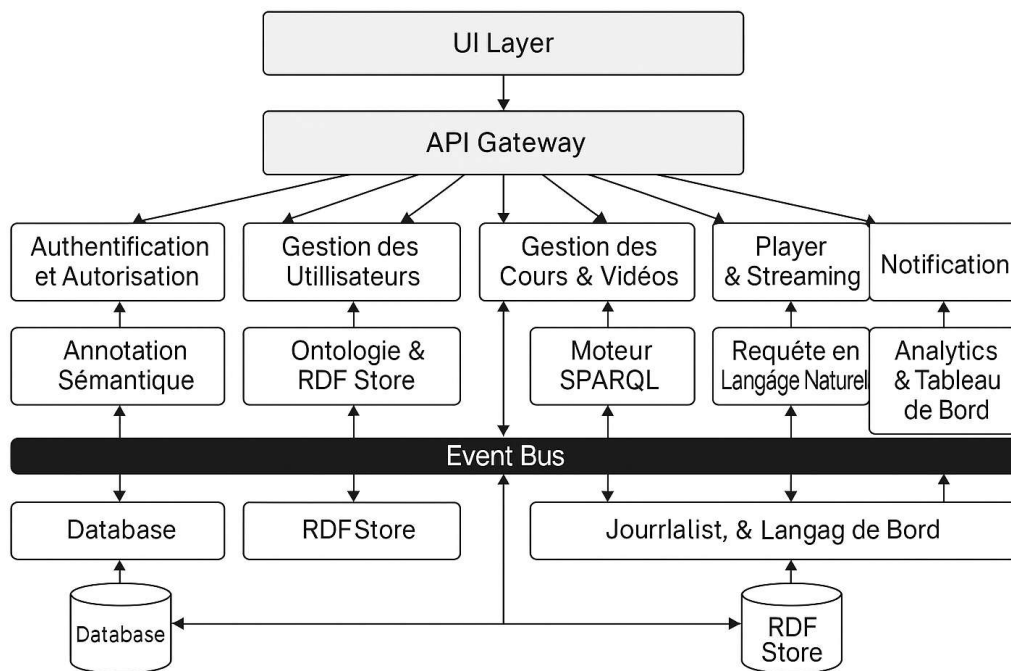


Figure 18 : L'Architecture de l'approche

### 3.2.1.1 Analyse des besoins

Dans cette partie, nous exposons un ensemble de besoins fonctionnels essentiels pour tous les intervenants, ainsi que des exigences non fonctionnelles.

#### a) Besoins fonctionnels :

Les besoins fonctionnels se rapportent aux fonctionnalités que doit fournir l'application pour satisfaire les attentes des utilisateurs

#### b) Besoins non fonctionnels :

Les besoins non fonctionnels sont indispensables et permettent l'amélioration de la qualité de l'application. En effet cette dernière doit aussi répondre aux exigences ci-dessous :

- Le système doit être convivial et intuitif, facile dans la navigation.
- L'intégrité du système : les informations ne peuvent être modifiées que par les personnes qui sont autorisés.
- La sécurité : le système doit disposer d'un minimum de sécurité.
- Le système doit être robuste et ne doit en aucun cas alourdir son utilisation, celle-ci doit être aisée.
- Le système doit être extensible pour mettre des améliorations futures.
- L'application doit pouvoir s'adapter aux différents terminaux (mobile, desktop, ...).

### 3.2.1.2 Spécifications fonctionnelles

#### a) Diagramme de cas d'utilisation :

Les diagrammes de cas d'utilisation sont des diagrammes UML utilisés pour donner une vision globale du comportement fonctionnel d'un système logiciel. Ils sont utiles pour des présentations auprès de la direction ou des acteurs d'un projet, mais pour le développement, les cas d'utilisation sont plus appropriés. Un cas d'utilisation est une unité cohérente représentant une fonctionnalité visible de l'extérieur. Il modélise un service rendu par le système, sans imposer le mode de réalisation de ce service. Ils permettent de décrire l'interaction entre l'acteur et le système. L'idée forte est de dire que l'utilisateur d'un système logiciel a un objectif quand il utilise le système. Composé par : des acteurs sont des entités externes qui interagissent avec le système, comme une personne humaine ou un robot. Une même personne (ou robot) peut être plusieurs acteurs pour un système. On reconnaît 4 catégories :

- Les acteurs principaux (ex: Visiteur, Apprenant, Enseignant, ...etc.),
- Les acteurs secondaires (ex: Administrateur, ...etc.),
- Le matériel externe (ex : imprimante, ...etc.),
- Les autres systèmes (ex: serveur, ...etc.).

**Les acteurs de système sont :**

- ✓ **Administrateur**

C'est l'administrateur du système, il a le droit de faire toutes les actions affectées aux autres acteurs, la gestion des pages, plus la gestion des comptes des utilisateurs.

### ✓ Enseignant

C'est l'acteur qui a le droit de faire toutes les actions affectées aux Apprenant ou enseignants (Annotations, documents pédagogiques, annonces, affichage, etc.), plus la gestion des espaces enseignant, la vérification et la validation en ligne.

### ✓ Apprenant

Cet acteur peut consulter, connecté, discuter, et suivre le déroulement d'avancement (cours, annoter, faire des tests on ligne..., etc.)

### ✓ Visiteur

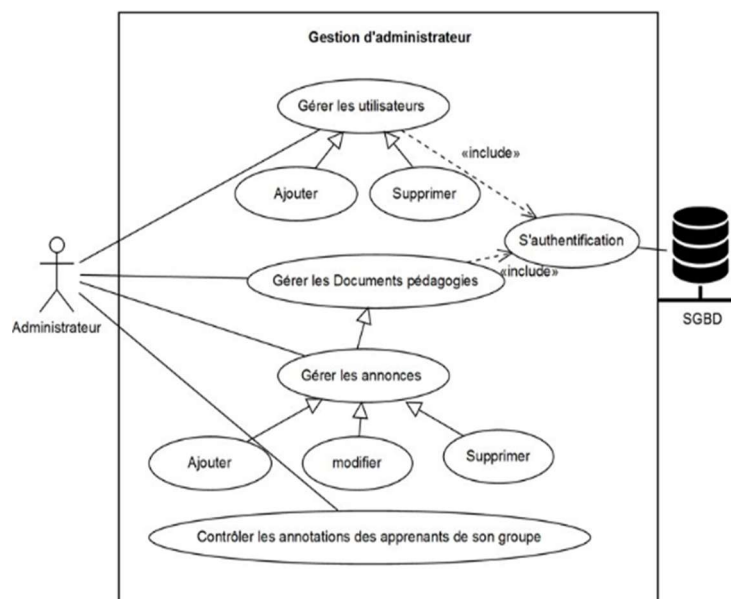
Il a le droit de consulter les différents pages qui sont existées (visite panoramique) en tant que visiteur n'a pas possibilité d'accéder à certain fonctionnalité (cours, etc.).

## b) Description détaillée des diagrammes de cas d'utilisation

### 1. Gestion des administrateurs

La figure 19 présente le diagramme de cas d'utilisation des administrateurs, Tel que :

- Gérer les Documents pédagogiques :
- Gérer les annonces (ajouter, modifier, supprimer).
- Gérer les utilisateurs (Ajouter, Supprimer).
- Contrôler les annotations des apprenants de son groupe.



**Figure 19** : diagramme de cas d'utilisation (gestion des administrateurs).

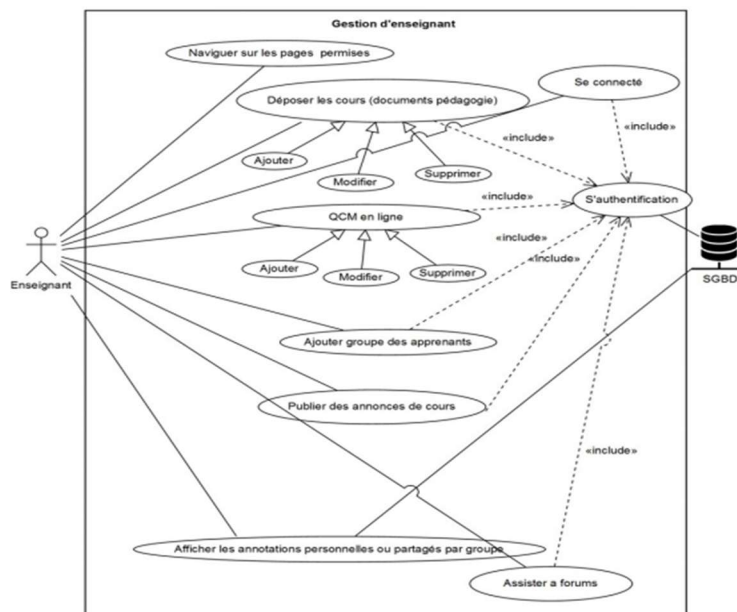
## 2. Gestion des Enseignants

La figure 20 présente le diagramme de cas d'utilisation des enseignants, Tel que :

- Naviguer sur les pages permises.
- Déposer les cours (documents pédagogie : ajouter, modifier, supprimer).
- QCM en ligne (ajouter, modifier, supprimer).
- Ajouter groupe des apprenants.
- Publier des annonces de cours.
- Afficher les annotations personnelles ou partagés par groupe.
- Assister à forums.
- Se Connecté.

**3. Gestion des apprenants** La figure 21 présente le diagramme de cas d'utilisation des apprenants, Tel que :

- Naviguer sur les pages permises.
- Consulter les documents pédagogie (DP) :
- Annoter les DP.
- Afficher annotation partagée.
- QCM en ligne.
- Assister à forums.
- Se connecté.



**Figure 20 :** diagramme de cas d'utilisation (gestion des enseignants).

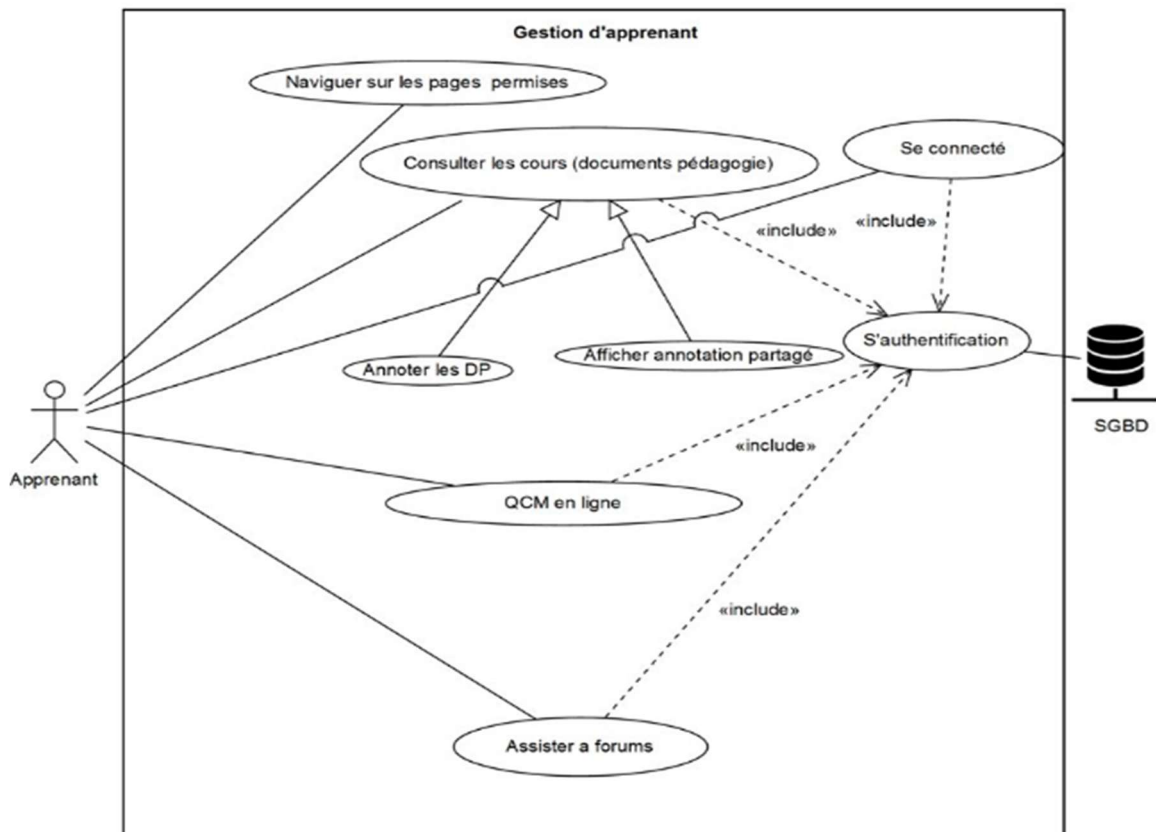


Figure 21 : diagramme de cas d'utilisation (gestion des apprenants).

#### 4. Gestion visiteurs

La figure 22 présente le diagramme de cas d'utilisation des visiteurs, Tel que :

- Consulter les pages.
- Consulter les annonces.
- Contactez l'administrateur



Figure 22 : diagramme de cas d'utilisation (gestion des visiteurs).

### c) Diagramme d'activité

Un diagramme d'activité sert à représenter un processus interactif, complet ou partiel pour un système spécifique (comme un logiciel ou un système d'information). Il est conseillé d'exprimer une dimension temporelle sur une portion du modèle, en se basant sur une sous-classe de cas d'utilisation. Le diagramme d'activité est une visualisation similaire à l'organigramme ; il traduit un cas d'utilisation en une représentation algorithmique par le biais de ce diagramme. Une activité correspond à l'exécution d'une section du cas d'utilisation, et est symbolisée par un rectangle aux coins arrondis.

#### 1. Diagramme d'activité des acteurs (Apprenants, enseignants, administrateurs)

La figure 23 présente le diagramme d'activité des Acteurs (gestion de connexion, inscription et l'annotation), Tel que :

- L'enseignant et l'apprenant accèdent aux E-Learning.
- Ils demandent la connexion.
- S'ils sont inscrits ils vont entrer ses informations (Nom d'utilisateur et mot de passe) et commencer la connexion sur le site.
- Sinon, ils vont demandent une inscription.
- L'apprenant télécharger document pédagogie (vidéo).
- L'apprenant testé en ligne par un questionnaire.
- L'apprenant consulter DP et annoter par des questions.
- L'enseignant annoté (répond aux questions de l'apprenant), contrôle les annotations partagées et contrôle les annotations personnelles.
- L'administrateur ajouter modules, inscrit des enseignants et demande l'inscription
- Le système répondre automatique à notre annotation.

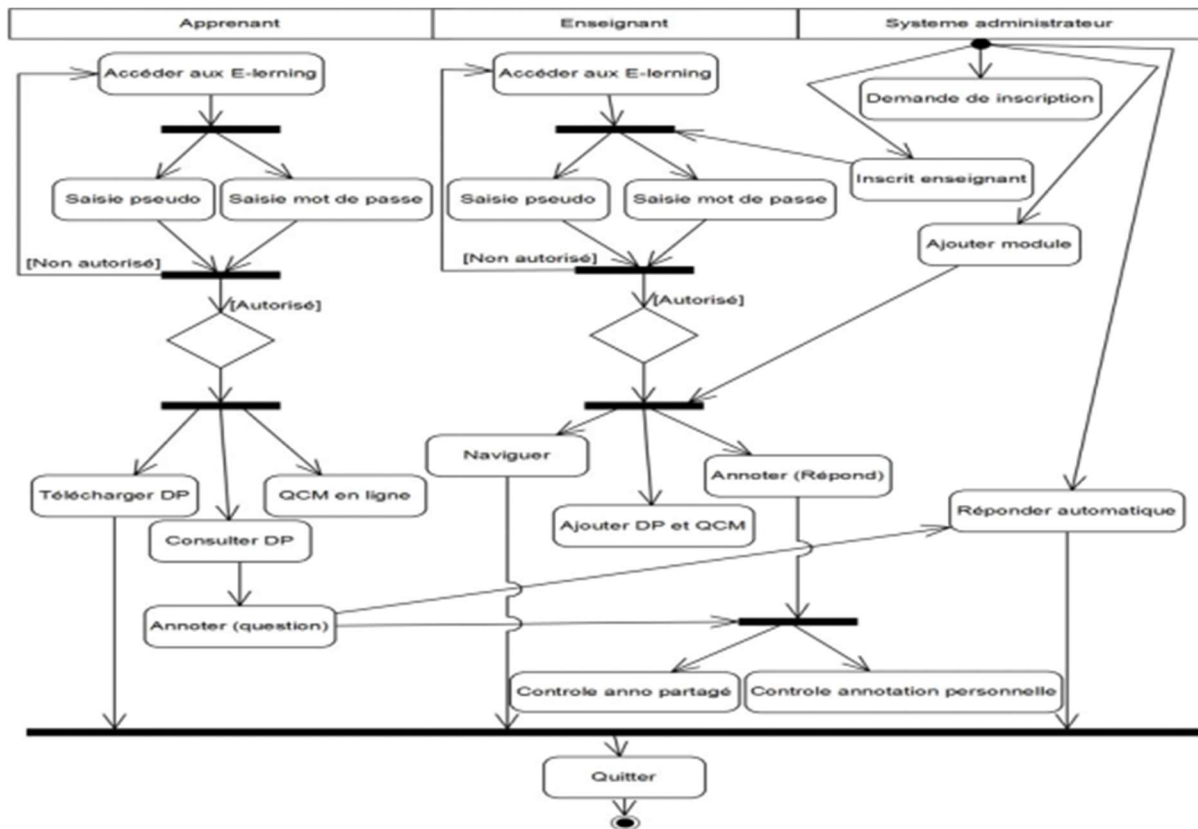


Figure 23 : diagramme d'activité (apprenants, enseignants et des administrateurs (système)).

### 3.2.1.2 Conception

Cette phase exprime Les Modules, Elle est basée sur :

- Les diagrammes de classe (Vue statique).
- Les diagrammes de séquence (Vue dynamique).

#### a) Diagramme de classe

Le schéma de classes est une représentation graphique employée en ingénierie logicielle pour illustrer les classes et les interfaces des systèmes, ainsi que les diverses relations qui existent entre elles. Ce schéma représente la partie statique d'UML, car il ne tient pas compte des éléments temporels et dynamiques. La classe constitue un modèle d'objet : elle définit les responsabilités, les actions et les attributs des objets, ces derniers renferment leurs propres valeurs pour chacune de ces propriétés lorsqu'ils sont instanciés. La classe est un regroupement de fonctions et d'attributs (données) qui sont reliés entre eux par un champ sémantique. Dans la programmation orientée objet, on utilise des classes. Ces dernières facilitent la modélisation d'un programme, ce qui permet de fragmenter une

tâche complexe en plusieurs opérations simples. Le mécanisme d'héritage permet de lier les classes entre elles en mettant en évidence des relations de parenté.

## 1. Gestion des administrateurs

La figure 24 présente le diagramme de classe des administrateurs, Tel que :

Chaque administrateur est caractérisé par (Id, nom, prénom, username, email, login, password).

### ▪ Règle de gestion

Un administrateur a un est une seule connexion (login), et une connexion peut caractériser un ou plusieurs administrateurs.

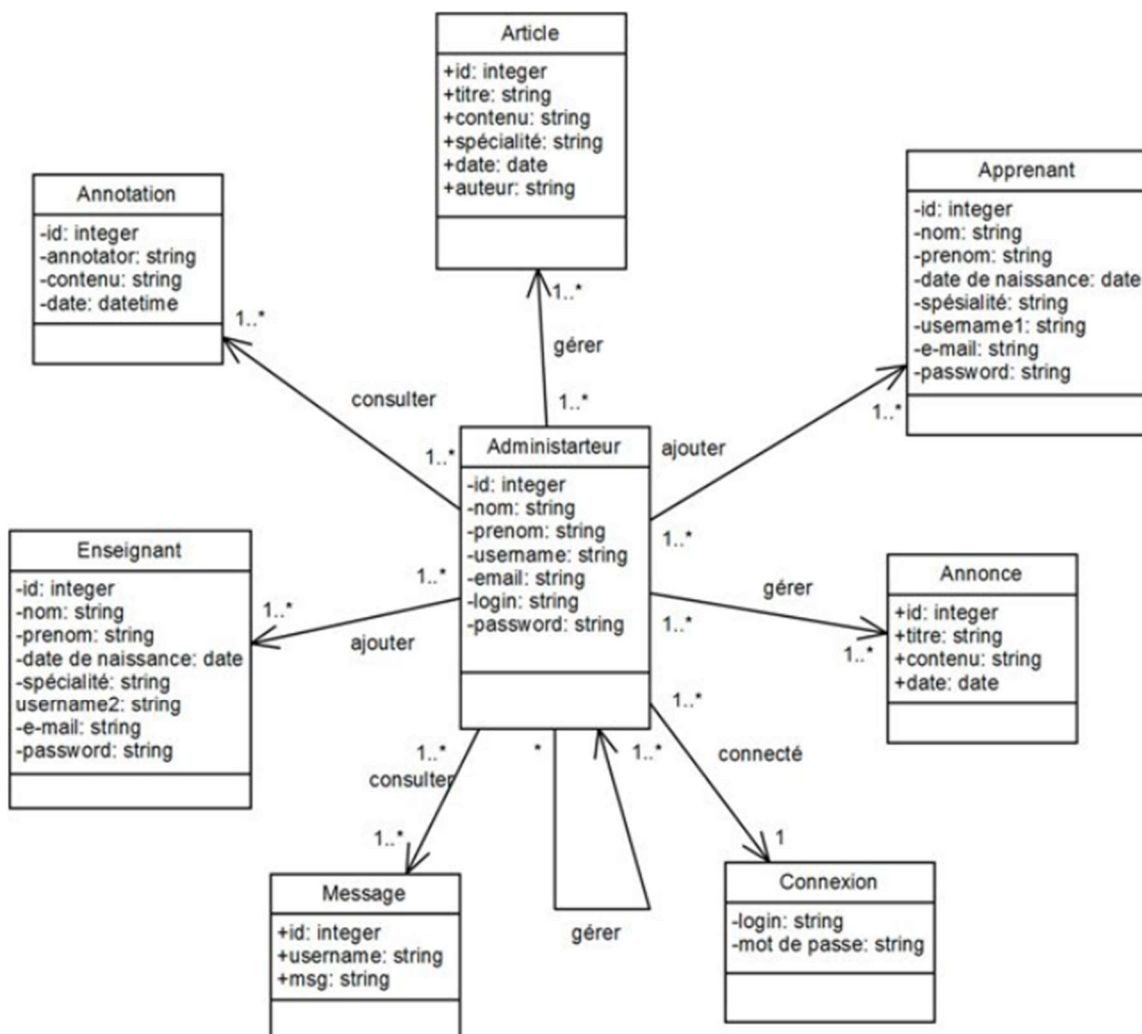


Figure 24 : Diagramme de classe (gestion d'administrateur).

## 2. Gestion des Enseignants

La figure 25 présente le diagramme de classe des enseignants, Tel que :

Chaque enseignant est caractérisé par (Id, Nom, Prénom, Date de naissance, username2, Spécialité, E-mail, mot de passe)

- ❖ Règles de gestion
  - Un enseignant a un est une seule connexion (login), et une connexion peut caractériser un ou plusieurs enseignants.
  - Enseignant a une seule spécialité, et une spécialité peut être concerné plusieurs enseignants.

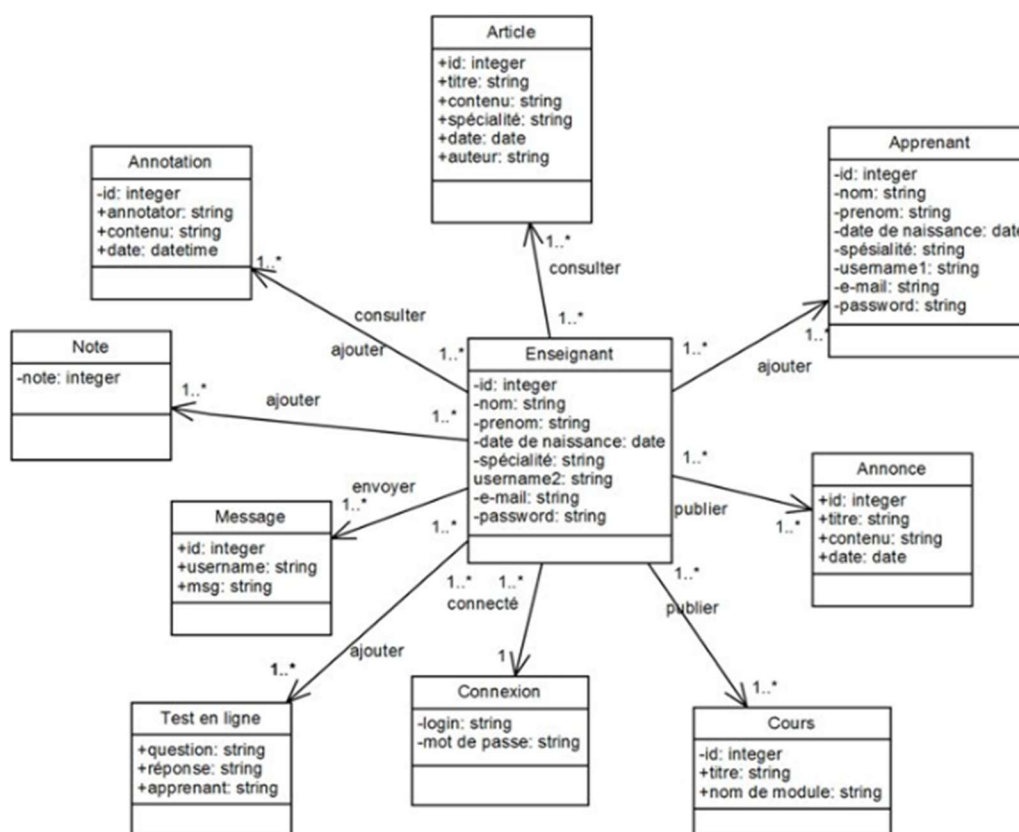


Figure 25 : Diagramme de classe (gestion d'enseignant).

## 3. Gestion des apprenants

La figure 26 présente le diagramme de classe des apprenants, Tel que :

Chaque apprenant est caractérisé par (Id, Nom, Prénom, Date de naissance, Spécialité, E-mail, username1, mot de passe).

❖ Règle de gestion

Un apprenant a un est une seule connexion (login), et une connexion peut caractériser un (ou) plusieurs apprenants.

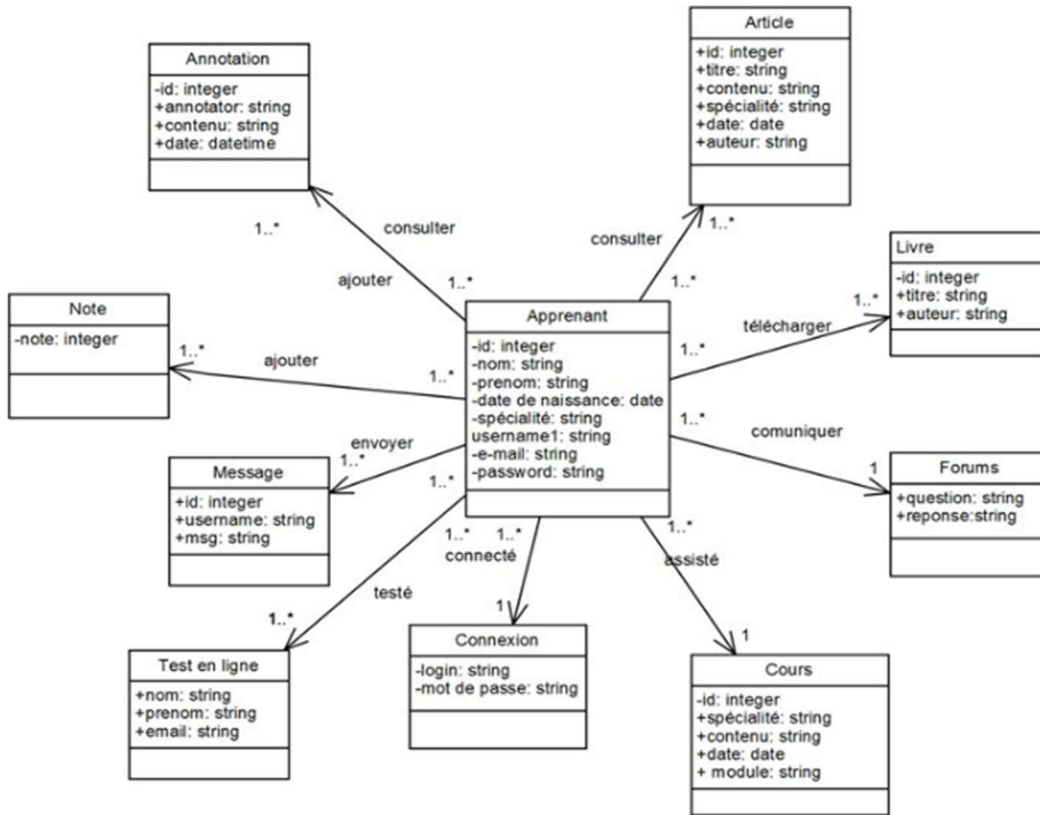
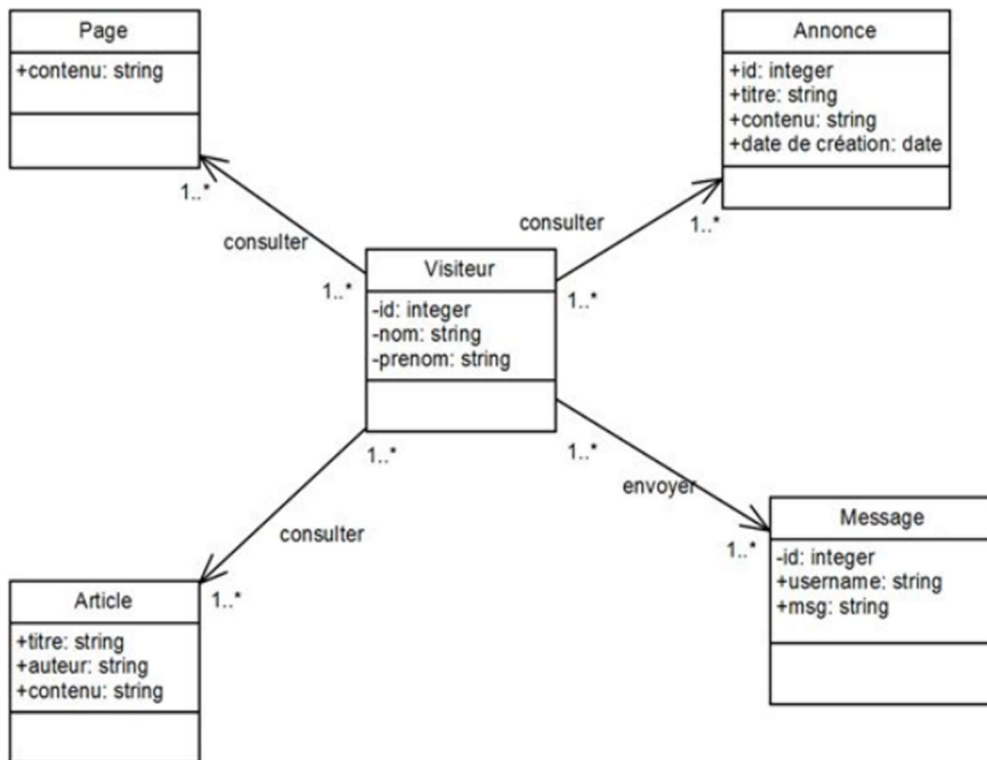


Figure 26 : Diagramme de classe (gestion d'apprenant)

#### 4. Gestion des Visiteurs

La figure 27 présente le diagramme de classe de visiteur, Tel que :

Chaque visiteur est caractérisé par (Id, Nom, Prénom).



**Figure 27** : Diagramme de classe (gestion de visiteur).

## b) Diagramme de séquence

Les diagrammes de séquence représentent les interactions qui se produisent dans une chronologie. Ils mettent notamment en évidence la participation des objets dans les interactions et les messages qu'ils se transmettent au cours d'une période donnée. Ils ne mettent pas en évidence les liens entre les objets. Ces diagrammes sont composés des éléments suivants : ligne de vie, acteur, objets, message et action.

### 1. Gestion d'apprenant

La figure 28 présente le diagramme de séquence des apprenants, Tel que :

- L'apprenant accéder au page premise et demande la page connexion.
- L'apprenant demande la page connexion
- Serveur lui affichera boite de connexion.
- L'apprenant entrer ses informations.
- Serveur envoi donnée au système.
- Système vérifier les données.
- Système retourner à la page de connexion qu'il y a une erreur.

- Système vérifier les données et lui donnera l'autorisation de consulter le cours.
- L'apprenant consulter les documents pédagogiques.
- Le serveur envoyé la demande.
- L'apprenant consulter la vidéo et annoter.
- Serveur envoi les annotations au système.
- Système affichera les réponses d'annotations.
- L'apprenant déconnecté.

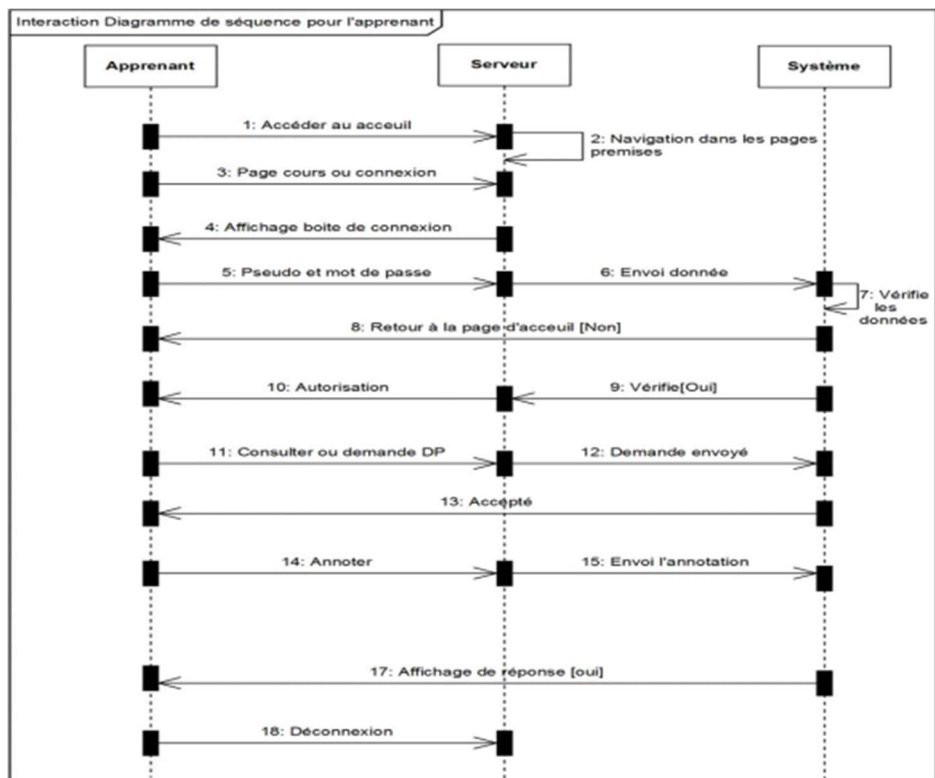


Figure 28 : diagramme de séquence (gestion des apprenants).

## 2. Gestion d'enseignant

La figure 29 présente le diagramme de séquence des enseignants, Tel que :

- L'enseignant accéder à la page permise et demande la page connexion.
- L'enseignant demande la page connexion
- Serveur lui affichera boite de connexion.
- L'enseignant entrer ses informations.
- Serveur envoi donnée au système.
- Système vérifier les données.
- Système retourner a la page de connexion qu'il y a une erreur.

- Système vérifier les données et lui donnera l'autorisation de consulter le cours.
- L'enseignant mettre a jour les documents pédagogiques.
- Le serveur enregistré les modifications.
- Système affichera les annotations des apprenants.
- L'enseignant annoté.
- Serveur enregistré les annotations.
- Système affichera les annotations personnelles.
- L'enseignant déconnecté.

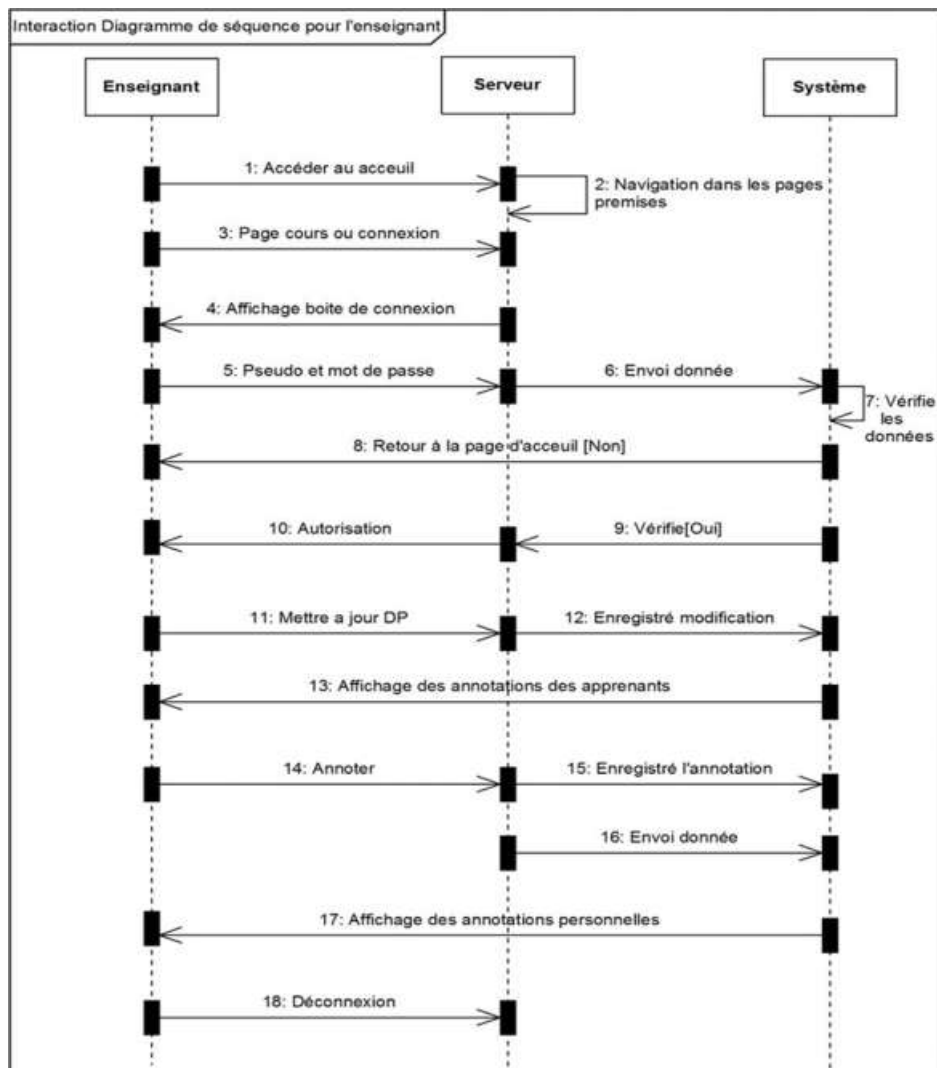


Figure 29 : diagramme de séquence (gestion des enseignants).

## c) Conception de la base de données

### 1. Modèle conceptuel de données

L'objectif du Modèle Conceptuel des Données (MCD) est d'organiser de manière structurée les données que le système d'information exploitera. La sémantique, c'est-à-dire le sens attribué à ces données et à leurs relations, est décrite par le modèle conceptuel des données, et non l'application potentielle de ces dernières. On définit le MCD après avoir répertorié et attribué un nom à toutes les données pertinentes au domaine d'étude. Puis, on analyse les relations qui existent entre ces données (les dépendances fonctionnelles), afin d'arriver au MCD. Figure 30 présente la gestion de contenu.

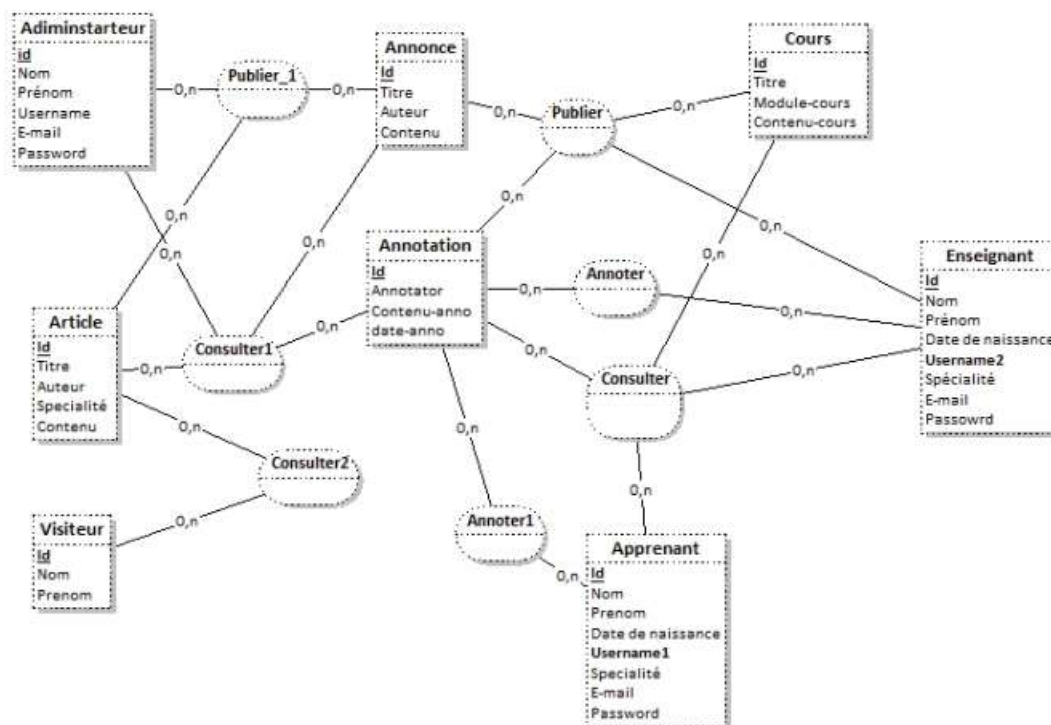


Figure 30 : Gestion de contenu

### 3.2.2 Phase 2- L'amélioration et le Renforcement

Dans cette phase, nous expliquons et analysons l'amélioration de la plateforme d'apprentissage en ligne développée qui est fournie par l'ontologie et la sémantique. Nous dispensons des leçons à l'apprenant de la manière la plus aisée possible en utilisant la technologie sémantique et l'emploi de commentaires sémantiques en tant que coordinateur d'étude, tout en adaptant le système en fonction de la langue requise. Interrogation SPARQL ; En établissant un lien avec une question de langage naturel, nous avons donc simplifié l'assimilation des cours par l'étudiant.

La deuxième amélioration est fournie via l'apprentissage profond et la recommandation.

### 3.2.2.1 l'ontologie et l'annotation sémantique

#### a) La notion d'ontologie

L'ontologie du domaine est fonctionnelle et orientée objet, elle sert à modéliser le domaine informatique des cours. Algorithme 2 « Langage C » présenté sous forme de base de connaissances, elle englobe les notions essentielles, les attributs et les instances en lien avec le domaine.

Les concepts sont disposés dans un graphe où les relations peuvent représenter des liens sémantiques et/ou des associations de composition et d'héritage (dans le contexte de la programmation orientée objet).

Il existe des éditeurs de structures de base de connaissances pour construire ce genre d'ontologie, Protégé étant le plus fréquemment utilisé. Il est réalisé sur une plateforme Java J2EE et peut être exporté dans les formats suivants : RDF(s), OWL et XML schémas.

#### b) Les étapes de création d'ontologie

##### 1. Définition des classes

La figure 31 représente les classes d'ontologie créés.

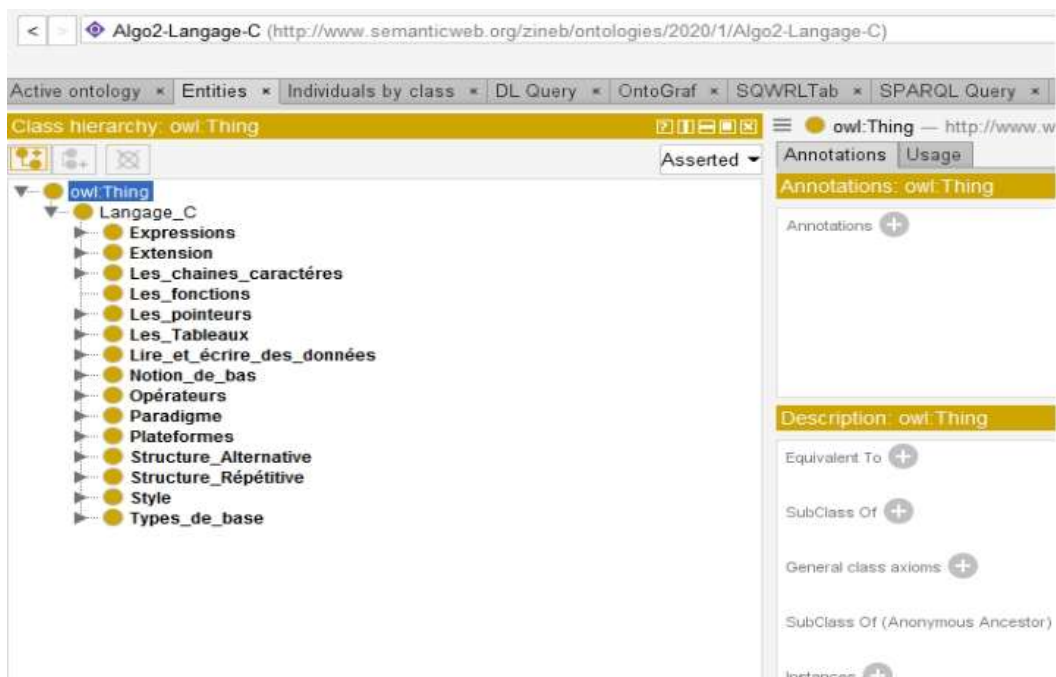
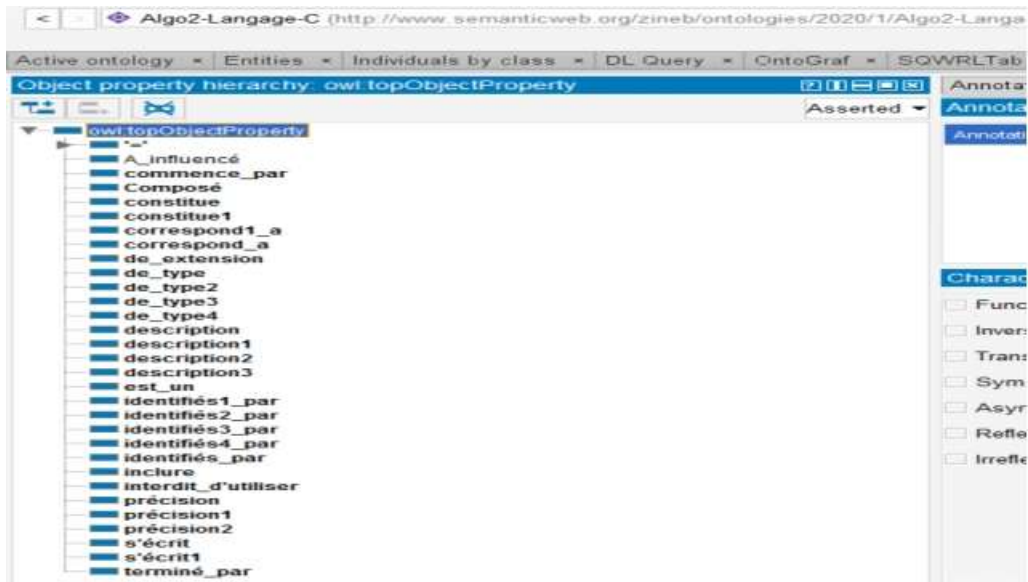


Figure 31 : Les classes d'ontologie

## 2. Définition des propriétés

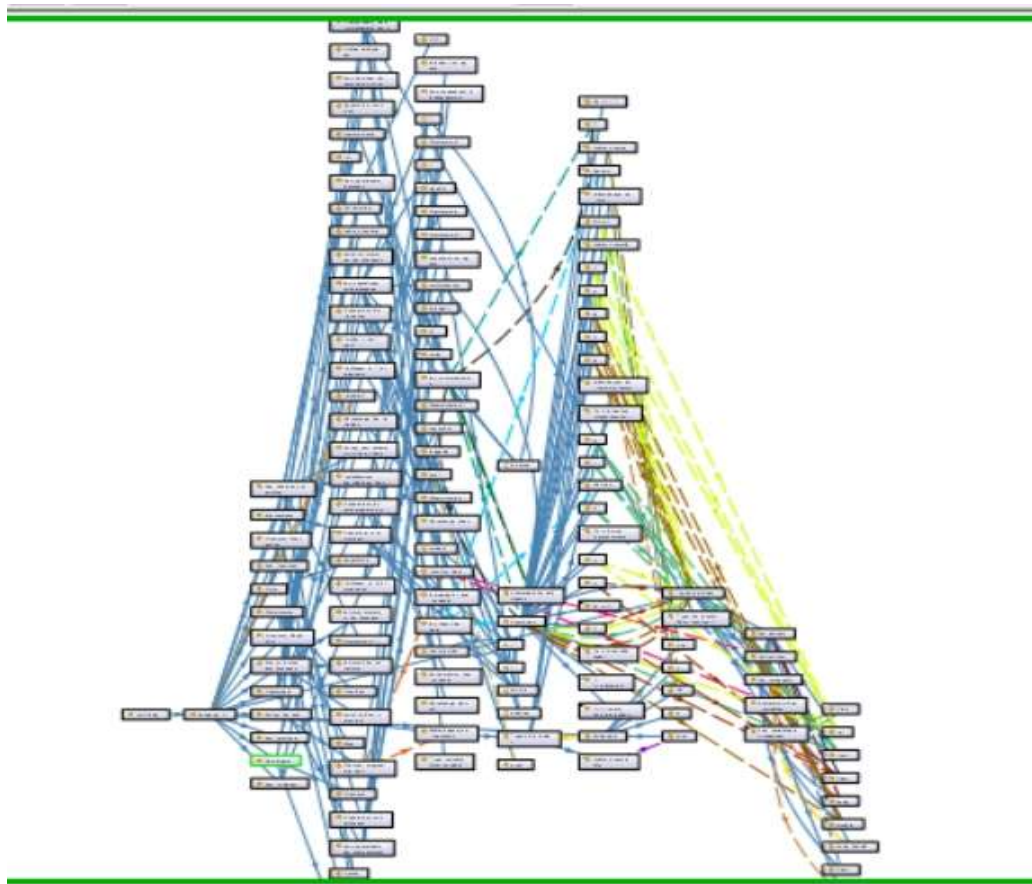
La figure 32 représente les propriétés d'ontologie.



**Figure 32** : Les propriétés d'ontologie.

## 3. Vérification de la cohérence d'ontologie et la validation

Le grand intérêt de l'utilisation de Protégé est la possibilité de vérifier si l'ontologie créée ne contient pas des définitions contradictoires, La validation de notre ontologie a été réalisée par l'ensemble des enseignants qui l'utilisent, ceux-ci possédant une expertise avérée dans le domaine de la programmation. La Figure 33 représente le graphe d'ontologie.



**Figure 33** : Le graphe d'ontologie.

#### 4. Manipulation d'ontologie

L'écosystème du web sémantique est complexe et comprend divers outils logiciels nécessaires à la modélisation, à l'échange et à l'utilisation des connaissances stockées au sein d'une ontologie. Eclipse, en tant qu'environnement de développement intégré, offre au programmeur Java un éventail de fonctionnalités qui renforcent l'écosystème sémantique dans le but de créer un environnement pour le développement d'applications sémantiques. S'adresse à tous les développeurs souhaitant créer des applications Java pour le web sémantique.

En théorie, l'auteur propose une vue d'ensemble des usages majeurs du web sémantique, en lien avec les concepts de représentation des connaissances et d'ontologie. Du point de vue pragmatique, l'auteur expose un processus minutieux pour l'incorporation des outils nécessaires à la création d'applications sémantiques en Java ainsi qu'à l'encapsulation en plug-in Eclipse : le Java OWL-API pour le traitement et la sérialisation d'ontologies, l'API de Pellet pour réaliser le raisonnement logique d'ontologie, Protégé pour la conception d'ontologies, et enfin la mise en place d'Eclipse comme serveur de développement web pour ontologies. Conformément à l'ordre du W3C OWL-2 Primer,

chaque aspect expressif de la modélisation ontologique est détaillé, illustré et représenté en G-OWL, avant d'être implémenté en Java à l'aide de la syntaxe Java OWL-API. Une illustration du raisonnement logique vient s'ajouter à la discussion sur l'expressivité. En tant que fichier numérique, le document ontologique a des propriétés de manipulation qui lui sont spécifiques. Une partie du livre traite de l'utilisation de Java pour manipuler le document ontologique et les paramètres du raisonneur.

#### Passage de la langue naturelle à une requête SPARQL

Une des tâches complexes dans la réponse aux questions en langage naturel (Q/A) basées sur le graphe de connaissances RDF consiste à comprendre comment réduire la différence entre les questions non structurées en langage naturel (NLQ) et les données organisées en graphe RDF (G). L'un des instruments performants est le « modèle », fréquemment employé dans de nombreux systèmes RDF Q / A actuels.

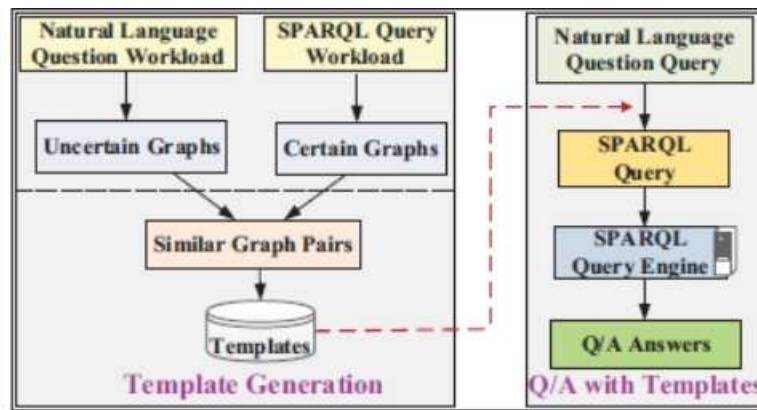
Nous offrons une méthode de jointure pour la création de modèles. Face à une collection de requêtes SPARQL  $D$  et un groupe de questions en langage naturel  $N$ , le but est d'identifier des couples  $q, n$ , avec  $q$  appartenant à  $D$  et  $n$  à  $N$ , où la requête SPARQL  $q$  représente l'appariement optimal pour la question  $n$  en langue naturelle. Ces couples offrent des recommandations prometteuses pour la production automatique de modèles. Du fait de l'ambiguïté inhérente aux langues naturelles, nous abordons le problème mentionné en tant que tâche de jointure de graphe incertaine. Nous offrons diverses méthodes d'élagage structurel et probabiliste pour optimiser la vitesse de l'assemblage. Nos expériences approfondies sur des ensembles de données RDF Q / A réels attestent tant de l'efficacité que de la rentabilité de notre méthode.

Étant donné que le RDF (Resource Description Framework) est considéré comme la norme de facto pour un graphe de connaissances, notre attention se porte principalement sur cette référence. Une question essentielle est de déterminer la manière d'accéder aux graphiques de connaissances et d'obtenir promptement les informations désirées. SPARQL, qui est un langage de requête structuré destiné aux graphiques RDF, peut s'avérer trop complexe pour les utilisateurs non spécialisés souhaitant interroger ces derniers, en raison de la complexité de sa syntaxe et du schéma RDF. Voici un exemple de requête SPARQL effectué sur DBpedia.

```
SELECT ?person
```

```
WHERE { ?person rdf:type Artist .
```

```
?person graduatedFrom Harvard University.}
```



**Figure 34 :** Cadre pour Q / A RDF basé sur un modèle [37]

Le modèle RDF Q / A est illustré dans la figure 34. Il comprend deux volets : la manière de créer des modèles et celle d'exploiter ces modèles dans RDF Q / A. Pour aborder le premier problème, nous suggérons une méthode fondée sur la charge de travail des requêtes pour l'élaboration automatique de modèles. En d'autres termes, les données utilisées pour l'entraînement du modèle proviennent de deux types de charges de travail. Le premier est un ensemble  $D$  de requêtes SPARQL appliqué au dépôt RDF (comme le charge de DBpedia workload<sup>1</sup>). L'autre consiste en un ensemble  $N$  de questions formulées en langage naturel, susceptibles d'être recueillies sur des plateformes de questions-réponses communautaires (comme Yahoo Answers) ou à partir de la charge de travail des requêtes de moteurs de recherche (telles que WebQuestions<sup>2</sup>).

Le déroulement complet de la procédure s'effectue en trois phases comme indiqué ci-dessous.

**Étape 1.** Création de graphique incertain. D'après cette approche, les questions formulées en langage naturel peuvent être analysées à travers des graphes de requêtes sémantiques. Du fait de l'ambiguïté inhérente à l'interprétation, nous représentons le graphe de requête sémantique en tant que graphe incertain, c'est-à-dire qu'il y a plusieurs étiquettes possibles pour chaque sommet / arête, chacune ayant une probabilité distincte. Dans ce contexte, les étiquettes sont imprécises en raison de l'ambiguïté du sens.

**Étape 2.** Recherche de couples de graphiques semblables. L'objectif est d'identifier des couples  $q, g$ , avec  $q \in D$  et  $g \in U$ , où  $D$  se réfère aux requêtes SPARQL et  $U$  désigne les graphes incertains issus des interrogations en langage naturel<sup>3</sup>. Nous employons la distance d'édition du graphe, couramment utilisée pour évaluer la similarité entre les graphes, afin de déterminer le degré de ressemblance entre  $q$  et  $g$ .

**Étape 3.** Création de modèles en utilisant des paires de graphiques similaires. Sur la base d'une paire  $q$ ,  $g$  obtenue grâce au mappage reliant  $q$  et  $g$  (ce dernier a été déterminé lors du calcul de la distance d'édition du graphe à l'étape 2), nous sommes en mesure de construire les modèles. Pour créer des modèles, l'enjeu principal est de déterminer comment identifier les paires de graphiques semblables (à savoir, l'étape 2).

Nous offrons une méthode novatrice, que nous appelons SimJ, qui consiste en un Similarity Join sur des graphes incertains. De manière précise, nous offrons une gamme de bornes efficaces afin d'optimiser les performances. En considérant les modèles produits, une interrogation en langage naturel est transformée en une demande SPARQL en utilisant les modèles élaborés lors de l'étape initiale. Par la suite, la requête SPARQL est effectuée sur les graphes de connaissances. Algorithme de conversion du langage naturel en requête SPARQL:

**Lot de questions.** Nous avons conçu A Questions, un ensemble de 120 questions sur des données structurées, pour tester si nos méthodes de cartographie adjectivale peuvent apporter une valeur ajoutée aux systèmes d'assurance qualité en place. Nous avons sélectionné 70 questions qui englobent des restrictions d'adjectif facteur de QALD-1 à QALD-9, et avons manuellement choisi 50 questions provenant de Yahoo! Réponses. Pour chaque interrogation, une requête SPARQL standard et son résultat lors de l'exécution sur DBpedia-201510 ont également été fournies.

### **L'annotation sémantique**

L'annotation sémantique implique la liaison du contenu d'un texte à des entités spécifiques dans une ontologie. Pour illustrer, pour la phrase « Paris est la capitale de la France. », l'identification correcte de Paris serait Paris et non Paris Hilton. C'est une version plus précise mais moins exacte de la technique des entités nommées. On voit de plus en plus souvent la tâche d'annotation sémantique comme un des éléments pratiques du Web sémantique, surtout pour identifier les métadonnées associées à l'identité sémantique des données annotées.

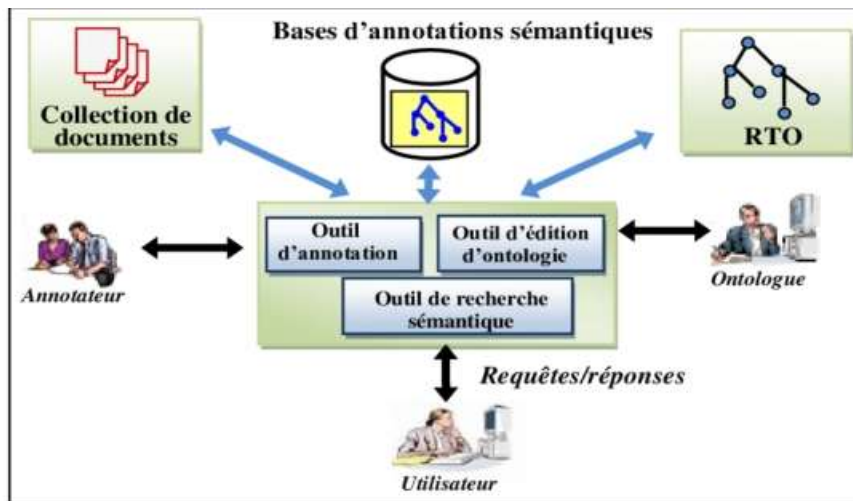
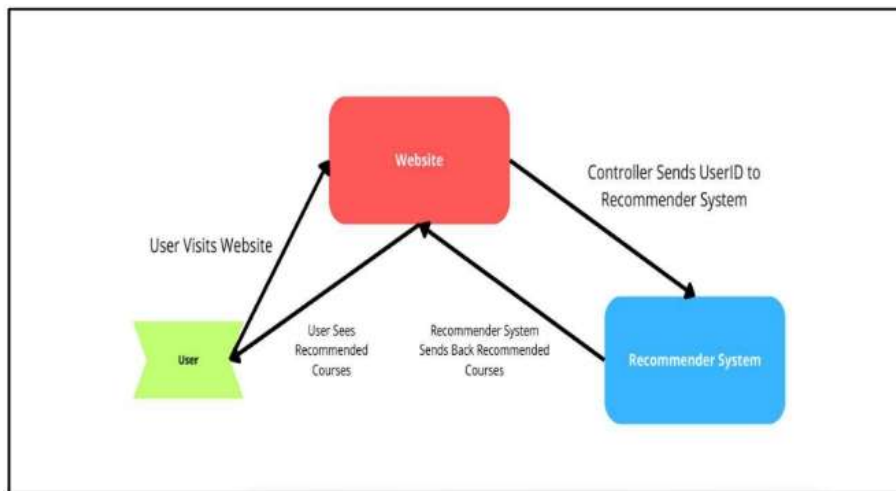


Figure 35 : Architecture de l'annotation sémantique.

### 3.2.2.2 L'apprentissage profond et les systèmes de recommandation

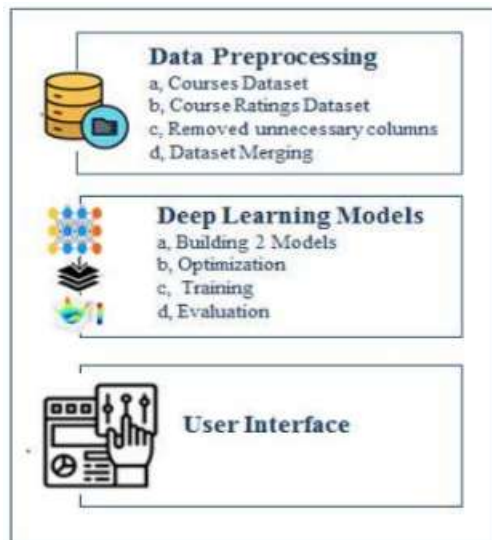
Les principaux objectifs des systèmes d'apprentissage en ligne actuels sont de comprendre les méthodes préférées des apprenants et de proposer un contenu personnalisé. Afin de prendre en compte les actions et les préférences des étudiants tout en proposant différentes ressources d'apprentissage, il est nécessaire d'intégrer des systèmes de recommandation efficaces aux environnements d'apprentissage en ligne. L'objectif principal est d'améliorer la qualité de l'enseignement en ligne et les compétences des étudiants. Cette partie a pour objectif de créer un système de recommandation de cours sur mesure en utilisant le deep learning. Aussi, Repérer les techniques d'apprentissage profond susceptibles d'être employées pour l'analyse des données et des modèles de formation des élèves. L'ambition est de dénicher les algorithmes de recommandation de cours les plus appropriés aux exigences spécifiques des étudiants, dans le but d'accroître leur implication et améliorer leurs performances éducatives. En outre, l'étude s'intéressera à la manière dont l'IA peut assister un professeur dans la conception d'un devoir.

La mise en place d'un système de recommandation exige plusieurs conditions et processus, y compris le contexte, les ressources d'apprentissage, le comportement des utilisateurs et les buts spécifiques à chaque situation. Le modèle suggéré emploie un système d'apprentissage profond Scikit-learn, nommé Surprise, pour fournir des recommandations de cours sur mesure, fondées sur les données historiques des étudiants, comme les inscriptions en classe, les scores et le niveau d'achèvement. Le modèle anticipe les matières les plus bénéfiques pour un étudiant, en se basant sur ses méthodes d'étude et ses préférences. La figure 36 illustre le modèle de conception du système de recommandation de cours sur mesure.



**Figure36** : Diagramme de conception d'un système de recommandation de cours personnalisé

Le développement du système de recommandations de cours proposé peut s'effectuer en trois étapes cruciales : 1) la préparation des données ; 2) les modèles d'apprentissage profond ; et 3) l'interface utilisateur. La figure 37 présente les phases de réalisation d'un système de recommandations de cours personnalisé.



**Figure 37** : Étapes de la réalisation d'un système de recommandations de cours personnalisées

### 3.2.3 Phase 3- L'évaluation

Dans cette partie, nous présentons une expérience menée pour évaluer la plateforme, démontrant que l'intégration de l'annotation vidéo sémantique améliore les processus d'apprentissage et les résultats dans les systèmes éducatifs.

### **3.2.3.1 Organisation du groupe et collecte de données**

Les 80 participants ont été répartis aléatoirement en deux groupes de 40 participants chacun (Groupe A et Groupe B) à l'aide d'un générateur de nombres aléatoires. Ce processus de randomisation a permis de garantir la comparabilité des caractéristiques démographiques et des connaissances de base en programmation des deux groupes, réduisant ainsi le risque de biais de sélection. Les participants étaient désireux d'apprendre le langage de programmation C. Les étudiants du groupe A ont été instruits et guidés pour étudier à l'aide de notre annotation vidéo sémantique, tandis que ceux du groupe B ont été informés et guidés pour apprendre à l'aide de vidéos avec annotation web. Les participants ont été sélectionnés en fonction de leur intérêt et de leur volonté d'apprendre le langage de programmation C, garantissant ainsi leur motivation et leur engagement tout au long de l'expérience. Ce critère de sélection s'inscrit dans l'objectif de l'étude, qui consiste à évaluer l'efficacité des méthodes d'enseignement pour les étudiants réellement investis dans l'acquisition de compétences en programmation.

### **3.2.3.2 Utilisation de la plateforme et pré-test**

Cette étape comprend deux phases primordiales : en premier lieu, les étudiants doivent procéder à leur inscription pour avoir accès à la plateforme. Ensuite, ils subissent un pré-test destiné à mesurer leurs connaissances. Ce pré-test, effectué avant le commencement du cours, détermine une compréhension fondamentale du sujet. Dans cette situation, il juge les savoirs antérieurs des élèves concernant le sujet du cours.

Un professeur chevronné a conçu l'examen en s'appuyant sur le contenu pédagogique, visant précisément la maîtrise du langage de programmation C par les élèves. Le pré-test comportait dix questions à réponse multiple, avec une note maximale de dix points. Des directives précises ont été envoyées aux participants par courrier électronique, assurant la conformité avec le programme éducatif et la souplesse du semestre. Le tableau 3 illustre le questionnaire de pré-test employé pour mesurer la connaissance préalable des étudiants en matière de langage de programmation C.

**Tableau 3. Questionnaire de pré-test sur la compréhension préalable des étudiants du langage de programmation C.**

N	Questions
Q1	Quand le langage de programmation C a-t-il été développé ?
Q2	Quel est le mot-clé utilisé pour définir une fonction dans le langage de programmation C ?
Q3	Comment terminer une instruction de programme C ?
Q4	Quelle est la syntaxe appropriée pour déclarer une variable entière en C ?
Q5	En C, quelle fonction est utilisée pour lire une chaîne à partir de l'entrée utilisateur ?
Q6	En C, quelle est la valeur de la constante symbolique « NULL » ?
Q7	Dans le langage de programmation C, quelle fonction est utilisée pour convertir une chaîne en entier ?
Q8	Quelle est la syntaxe correcte pour déclarer un tableau de 10 entiers en langage C ?
Q9	Dans le langage C, quel type de données est utilisé pour contenir des caractères individuels ?
Q10	What is the correct form of the conditional instruction?

Suite à l'inscription, une étude statistique a été effectuée afin d'apprécier les disparités entre les deux groupes. La méthode de covariance (ANCOVA) a été employée pour l'analyse, où les scores pré-test ont agi comme covariable et les scores post-test en tant que variables dépendantes. Cette approche a servi à déterminer l'étendue de l'écart entre les deux groupes et a fourni des renseignements essentiels pour illustrer la différence de niveau de connaissance préalable du sujet entre le groupe A et le groupe B. Les données ont manifestement démontré que les deux cohortes d'étudiants possédaient une quantité semblable de savoir préalable. C'est un élément essentiel à considérer lors de l'appréciation de l'efficacité de l'activité, car il assure que toute variation de performance entre les groupes peut être due à la progression elle-même et non à des divergences dans les connaissances antérieures.

### **3.2.3.3 Post-test pour évaluer les progrès intellectuels de l'élève**

Afin de tester l'apprentissage en ligne, les membres du groupe A ont été formés à des systèmes centrés sur le processus d'enrichissement des données connectées au cours de l'activité éducative. Cette méthode, employant un langage simple, a pour but de lier les annotations à des collections de données éducatives externes. Ils pourraient examiner les commentaires des documents en utilisant le modèle de recherche basée sur la sémantique.

### 3.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes concentrés sur les trois phases essentielles de la mise en place d'une plate-forme d'apprentissage en ligne efficace et avancée, à savoir le développement, l'amélioration et l'évaluation. Nous avons mis en évidence essentiellement la conception, les étapes et les détails des phases.

Dans la première phase, nous avons couvert les éléments analytiques et conceptuels de notre application via le diagramme UML, l'architecture du système, ainsi que le MCD et MLD. Nous avons également discuté de la définition de l'ontologie, du traitement de celle-ci, de la transition du langage naturel à la requête SPARQL et finalement de la formulation du commentaire.

Au cours de la deuxième phase, nous avons travaillé sur l'amélioration et le renforcement de la plateforme en utilisant des outils modernes, l'annotation sémantique et le système de recommandation.

Dans la troisième phase, une expérience réalisée pour évaluer la plateforme est indiquée, montrant que l'incorporation de l'annotation vidéo sémantique perfectionne les méthodes d'apprentissage et les performances au sein des systèmes éducatifs. L'évaluation se base sur une enquête et un questionnaire, ainsi que sur l'approche de pré-test et post-test, effectuée auprès des étudiants et des enseignants qui sont les principaux acteurs et utilisateurs de la plateforme.

Le chapitre suivant exposera les détails de l'expérimentation et du développement, en plus des résultats, de l'évaluation et de la discussion.

# Chapitre 4 Expérimentation et discussion des résultats

## ÉVALUATION DE L'OPÉRATION D'APPRENTISSAGE EN LIGNE

### 4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons l'expérimentation menée afin d'évaluer l'efficacité de la plateforme d'apprentissage en ligne enrichie par l'annotation sémantique. L'objectif est de comparer cette approche innovante avec des méthodes plus classiques basées sur des vidéos sans annotation sémantique. Après avoir défini l'organisation des groupes de participants et décrit les modalités de collecte des données, nous détaillons les étapes clés de l'expérimentation, incluant le pré-test, le post-test ainsi que les questionnaires d'impact. Ces outils visent à mesurer à la fois la progression intellectuelle des étudiants et leur perception qualitative de la méthode proposée. L'analyse statistique des résultats obtenus permet de dégager des tendances significatives concernant la motivation, la compréhension et la réflexion des apprenants. Une attention particulière est également accordée à la perception des enseignants, dont l'évaluation constitue un indicateur complémentaire de la pertinence pédagogique. Ainsi, ce chapitre articule la présentation des résultats quantitatifs et qualitatifs autour d'une discussion critique. Celle-ci permet de mettre en évidence les apports, mais aussi les limites de la méthode, dans une perspective d'amélioration continue. Enfin, les conclusions tirées ouvrent la voie à des pistes de recherche et d'intégration futures dans le domaine de l'apprentissage en ligne.

### 4.2 Organisation du groupe et collecte des données

Les 80 participants ont été répartis aléatoirement en deux groupes. De 40 chacun (Groupe A et Groupe B) en utilisant un générateur de nombres aléatoires. Ce processus de randomisation a assuré que les deux groupes étaient comparables en termes de caractéristiques démographiques, de connaissances de base en programmation, réduisant ainsi le risque de biais de sélection. Les participants étaient impatients d'apprendre le langage de programmation C. Les étudiants du groupe A ont été instruits et dirigés à étudier en utilisant notre vidéo sémantique annotée, tandis que les étudiants du groupe B étaient informés et guidés à apprendre en utilisant des vidéos avec annotation web. Les participants ont été sélectionnés en fonction de leur intérêt et volonté d'apprendre le langage de programmation C, garantissant la motivation et l'engagement tout au long de l'expérience. Les critères de sélection s'alignent avec l'objectif de l'étude d'évaluer l'efficacité des méthodologies d'enseignement pour étudiants véritablement investis dans l'acquisition de compétences en programmation.

### 4.3 Utilisation de la plateforme et pré-test

Cette phase se compose de deux étapes clés : Tout d'abord, les étudiants s'inscrivent pour accéder à la plateforme. Deuxièmement, ils complètent un pré-test conçu pour évaluer leurs connaissances existantes. Administré avant le début du cours, le pré-test établit une référence compréhension du sujet. Dans ce contexte, le pré-test évalue les connaissances préalables des étudiants sur le contenu du cours.

Un enseignant expérimenté a élaboré le test basé sur les matériaux pédagogiques, visant spécifiquement les étudiants compréhension du langage de programmation C. Le pré-test comportait dix questions à choix multiples, avec un maximum score de dix. Les participants ont reçu des instructions détaillées par e-mail. En veillant à ce qu'ils respectent le calendrier d'apprentissage et respecté la flexibilité du trimestre d'apprentissage. Le tableau 4 décrit le questionnaire pré-test utilisé pour évaluer les connaissances préalables des étudiants compréhension du langage de programmation C.

**Tableau 4. Questionnaire de Pré-Test pour la Compréhension Préalable des Étudiants**

N	Questions
Q1	When was the C programming language developed?
Q2	What is the keyword used to define a function in the C programming language?
Q3	How do you finish a C program instruction?
Q4	What is the proper syntax for declaring an integer variable in C?
Q5	In C, which function is used to read a string from user input?
Q6	In C, what is the value of the symbolic constant "NULL"?
Q7	In the C programming language, which function is used to convert a string to an integer?
Q8	What is the correct syntax to declare an array of 10 integers in C language?
Q9	In the C language, what type of data is used to hold individual characters?
Q10	What is the correct form of the conditional instruction?

Compréhension du langage de programmation C. Suite à l'abonnement, une analyse statistique a été réalisée pour évaluer les différences entre les deux groupes. L'analyse a utilisé l'approche de covariance (ANCOVA), avec les scores du pré-test servant de covariable et les scores du post-test scores comme variables dépendantes. Cette méthodologie a été employé pour établir l'ampleur de la disparité entre les deux groupes et fournir des informations précieuses pour montrer la différence des connaissances préalables en matière entre le groupe A et le groupe B. Les preuves ont clairement indiqué que les deux groupes d'étudiants avaient une quantité égale de connaissances préalables. C'est un facteur crucial facteur à garder à l'esprit lors de l'évaluation de l'efficacité de l'activité car elle garantit que toute différence de performance entre les groupes peuvent être attribuées à l'amélioration

elle-même et non à des différences de connaissances préexistantes qui sont présentés dans le Tableau 5.

**Tableau 5. Données descriptives et ANCOVA du pré-test résultats [56]**

Group	N	Mean	S.D	Adjusted Mean	Std. Error	F
A	40	16.15	3.71	16.34	0.58	4.43
B	40	16.00	3.69	15.98	0.58	
P<0.01						

#### 4.4 Post-test pour évaluer les progrès intellectuels de l'étudiant

Pour vraiment mettre l'apprentissage en ligne à l'épreuve. Les étudiants du groupe A étaient introduits aux systèmes qui se concentrent sur les données connectées mécanisme d'enrichissement pendant l'activité d'apprentissage. Utiliser vocabulaire couramment utilisé, cette technique vise à connecter annotations aux ensembles de données d'instruction externes. Ils pourraient examiner à travers les annotations dans les documents en utilisant la recherche sémantique paradigme de recherche. Le groupe B a introduit l'apprentissage avec du texte annotation sans utiliser de données liées basées sur l'annotation enrichissement. Lorsque l'activité d'apprentissage sera terminée, le post-test sera réalisé sur les groupes A et B. Le post-test contient vingt questions exprimées en pseudocode avec quatre réponses possibles pour chaque étudiant qui doit en sélectionner une réponse. Ces résultats post-test pour les groupes A et B sont présentés dans le Tableau 6.

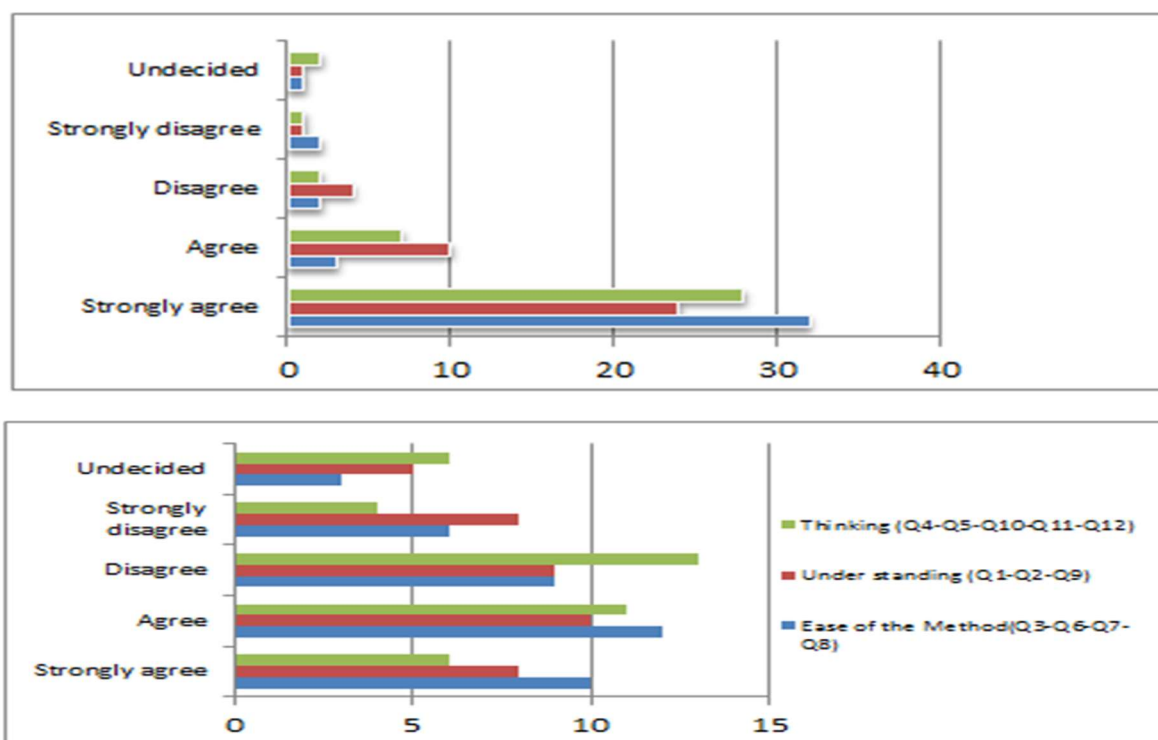
L'évaluation compare deux types d'apprentissage : l'apprentissage sans annotation sémantique et apprentissage avec annotation sémantique annotation, pour établir l'influence des outils de données liées sur apprentissage et motivation des enseignants. L'analyse a révélé une différence significative dans les scores post-test entre le Groupe A et Groupe B ( $F = 3,65, p < 0,01$ ). Le groupe expérimental, qui utilise l'approche d'annotation sémantique, a obtenu des résultats significativement des scores plus élevés par rapport au groupe témoin. Cela suggère que l'approche d'annotation sémantique était plus efficace pour améliorer les résultats d'apprentissage des étudiants que l'approche sans annotation sémantique. Lorsqu'on discute de critères tels que « tout à fait d'accord », « d'accord », « désaccord », « fort désaccord » et « indécis », il est important de comprendre leur rôle dans la collecte et l'interprétation opinions ou retours. Ces catégories permettent aux individus d'exprimer des niveaux variés d'accord ou de désaccord avec un déclaration donnée, offrant une vue nuancée du sentiment collectif sentiment. « Tout à fait d'accord » et « tout à fait pas d'accord » capturent les extrêmes d'une opinion, indiquant un haut niveau de satisfaction. « D'accord » et « Pas d'accord » reflètent des

positions plus modérées positions, indiquant un certain niveau d'acceptation ou désaccord sans intensité extrême. « Indécis » sert comme une option décisive pour ceux qui se sentent neutres ou manquent de suffisamment information pour former une opinion définitive. Ce spectre aide analyser les réponses plus précisément, permettant plus des décisions éclairées à prendre et cela est basé sur les retours d'expérience collecté.

**Tableau 6. Résultats de l'ANCOVA du post-test des deux groupes [56]**

Group	N	Mean	S.D	Adjusted Mean	Std. Error	F
A	40	2.78	1.09	2.75	0.06	3.65***
B	40	2.24	1.15	2.28	0.06	
***P<0.01						

Dans notre étude, nous avons observé que le Groupe A avait une très haute concentration d'individus qui étaient fortement d'accord. Dans contrairement à, les opinions du Groupe B étaient plus diverses, avec réponses partagées entre fortement d'accord, d'accord, désaccord, fortement en désaccord, et indécis. Cela indique que le Groupe A avait un fort consensus sur l'approche proposée, tandis que le Groupe B a montré une plus grande diversité d'opinions et moins d'homogénéité dans leurs réponses sont présentées dans la Figure 38.



**Figure 38 : Résultats de l'évaluation pour les étudiants des groupes A et B[56]**

Après avoir incorporé des annotations vidéo contenant contenu sémantique pour améliorer l'engagement des étudiants dans leur apprentissage, les deux groupes d'étudiants ont été invités à remplir un questionnaire post-formation. Le tableau 4 présente le résultat de l'ANCOVA des les évaluations du post questionnaires donnés par les deux groupes. La moyenne les évaluations pour le groupe A étaient de 2,78 avec un écart type de 1,09, tandis que pour le groupe B, elles étaient de 2,24 avec un écart-type écart type de 1,15. Il a été constaté que les évaluations post-questionnaire les évaluations des deux groupes étaient significativement différentes, avec un valeur p inférieure à 0,01. La moyenne ajustée du groupe A (2,75) était significativement plus élevée que celui du groupe B (2,28). Par conséquent, il peut être conclu que l'annotation vidéo a eu un impact significatif impact sur la facilitation de la collaboration et du partage des connaissances entre les étudiants. [56]

#### 4.5 Impact sur la compréhension et la réflexion des étudiants

En plus du post-test, les étudiants ont rempli un questionnaire d'impact pour évaluer le niveau de gain cognitif. Le questionnaire est présenté dans le Tableau 7.

**Tableau 7. Questionnaire sur l'impact, la compréhension et la réflexion des étudiants.**

Level of Agreement	The Choices
The learning approach (video with semantic annotation) enriched the learning activity	
The learning system was helpful for students	
The provided learning mechanisms smoothed the learning process	
The method is motivational and urges students to complete the educational course.	
The learning method is more effective than traditional computer-assisted learning methods	
Students are more interested in the data derived by annotated semantic video than in ordinary video	

The educational method leaves the student more positive and creates for him the goal of deepening and continuing learning	Strongly agree
	Agree
The students' enthusiasm in this manner pushed the instructors to deliver more lectures and courses on this curriculum	Undecided
	Disagree
	Strongly disagree

#### 4.6 Impact pour les enseignants

Questionnaire pour les enseignants : Le questionnaire a été rempli par neuf professeurs. Ils avaient fourni des cours à distance des cours utilisant l'approche de la plateforme universitaire, et ils étaient permis d'évaluer le succès de la méthode et son impact sur l'apprentissage et la réflexion des étudiants. Le résultat du questionnaire montrait que tous les enseignants étaient fortement d'accord pour utiliser cette méthode. Un questionnaire pour les enseignants est présenté dans le tableau 8.

**Table 8. Questionnaire pour les enseignants**

<b>The Method's Simplicity, Comprehension, and Thought</b>	<b>The Choices</b>
Q1-The learning approach enriched the learning activity	
Q2-The learning system was helpful to me in acquiring new knowledge	
Q3-The provided learning mechanisms smoothed the learning process	
Q4-When I required information, the learning system assisted me in obtaining it.	
Q5-The learning method assisted me in learning more effectively	
Q6-The learning method is more effective than traditional learning methods.	
Q7-It is not difficult for me to learn to operate the learning system	
Q8-It only took me a short time to fully know how to use the	

learning system	
Q9- Did you fully understand the content of the lesson?	
Q10- The method encourages understanding by thinking and asking about what is not understood	
Q11-The educational method leaves the student more positive and creates for him the goal of deepening and continuing learning	
Q12- I can remain cool in the face of difficulty because I am confident in my ability to adjust and profit from the helpful coaching method	
	Strongly agree
	Agree
	Undecided
	Disagree
	Strongly disagree

#### 4.7 résultats et discussion résultats et discussion

Selon les résultats de notre étude, les annotations vidéo avec un contenu sémantique et l'engagement des étudiants dans l'apprentissage étaient associés positivement. Seulement deux étudiants ont obtenu moins de 40 % comme score au post-test, tandis que 22 ont obtenu plus de 70 %.

Pour les étudiants qui ont appris en utilisant des vidéos conventionnelles annotation sans sémantique, 11 étudiants ont obtenu 70 %, 19 étudiants ont obtenu 50 %, et 10 étudiants ont obtenu moins de 50 %.

Sur la base des résultats du post-test et des questionnaires d'impact des étudiants questionnaires, nous avons déterminé que, en général, les étudiants avaient une attitude positive et satisfaction d'apprentissage avec l'utilisation de la plateforme et matériel d'apprentissage d'annotation vidéo sémantique.

Selon les résultats, 80 % des étudiants du groupe "A" croient fermement que la méthode est la plus facile. 60 % des étudiants croient fermement que la méthode les aide à mieux comprendre, et 70 % sont tout à fait d'accord pour dire que la méthode les aide à penser plus efficacement. Puisqu'il s'agit d'une mesure de l'expérience académique totale et réussite, la satisfaction des étudiants est essentielle dans cette situation. L'approche d'apprentissage visuel a été découverte comme ayant la plus grande influence sur l'engagement des étudiants. [56]

La vidéo avec annotation sémantique a été saluée comme un outil pédagogique remarquable en raison de sa capacité à créer un environnement d'apprentissage visuel riche. Dans cette étude, nous avons découvert que les étudiants ont généralement une attitude favorable et la satisfaction d'apprentissage concernant l'utilisation de la plateforme et matériel d'apprentissage d'annotation vidéo basé sur les résultats des tests postérieurs et des questionnaires d'impact pour les étudiants. La satisfaction des étudiants est cruciale dans ce contexte, car il est un indicateur de l'ensemble expériences et réalisations académiques.

Le questionnaire d'impact proposé pour les étudiants vise à montrer l'utilité de l'approche pour les étudiants et indiquer les points suivants :

- Il y a une amélioration dans la méthode d'enseignement et apprentissage.
- Facile à annoter ; le processus est-il simple pour les étudiants ? Il y a une fourniture d'informations par le système si demandé.
- La méthode est reconnue et utilisée en peu de temps.
- Simplicité de l'interface
- Pour réussir ce cours, vous devez comprendre le contenu. La stratégie favorise la compréhension en posant des questions. À propos de ce qui n'est pas compris ?
- Le style d'enseignement rend l'élève plus positif. Et l'inspire à poursuivre des études plus approfondies et continues.
- L'approche d'apprentissage visuel a été découverte comme ayant la plus grande influence sur l'engagement des étudiants.

Selon les résultats du questionnaire du groupe B, 32% des répondants ne sont pas d'accord avec la méthode traditionnelle selon laquelle elle augmente la réflexion, tandis que 22,5% ne sont pas d'accord pour dire que l'utilisation du web annotation sans contexte sémantique améliore la compréhension. [56]

Les instructeurs impliqués dans le développement de la plateforme et ses utilisateurs, ainsi que ceux impliqués dans l'évaluation des étudiants procédure et le questionnaire d'opinion, croient tous que les annotations sur les vidéos peuvent aider les étudiants à apprendre. C'était découvert pour aider les processus de réflexion et de retour d'information des étudiants, améliorer leur compréhension du contenu vidéo, encourager la satisfaction des étudiants en matière d'apprentissage et leur attitude positive, et était également perçu comme une plateforme d'apprentissage pratique et facile à utiliser.

Les enseignants ont soulevé les points suivants :

- Le temps passé sur l'annotation et les notes de cours pour l'apprentissage avec l'annotation sémantique est supérieur au temps passé sur apprentissage avec une méthode vidéo simple parce que notre approche fournit une collaboration entre l'apprenant et le système via annotation vidéo, qui permet l'interaction avec le système. Cela prend du temps, contrairement à la méthode sans interaction, parce que l'étudiant termine la leçon sans interaction et sans recevoir de réponse du système, et il est possible qu'il ne termine pas la leçon parce qu'il n'a pas compris ou parce qu'il n'a pas trouvé un moyen de le motiver lui pour qu'il termine la leçon et essaie de l'absorber.
- La facilité d'utilisation de l'interface
- La méthode améliore la compréhension en interrogeant étudiant sur ce qui n'est pas compris.

Les étudiants s'intéressent davantage aux données dérivées de vidéo sémantique annotée que dans une vidéo ordinaire. L'enthousiasme des étudiants de cette manière a poussé les instructeurs à donner plus de cours et de conférences sur ce curriculum, ainsi que d'essayer de renforcer le système avec annotation via images et annotation via audio vidéo.

Les enseignants soulignent également le fait que le web sémantique le système d'ontologie est un nouveau développement passionnant pour améliorer l'environnement d'apprentissage électronique car il s'adapte objectifs éducatifs de base tels que la rapidité, l'efficacité et pertinence.

Les points suivants servent d'aperçu de la plateforme signification et les résultats souhaités de son utilisation :

- La plateforme a l'intention de fournir un grand nombre de cours en ligne des cours ainsi qu'une collection complète d'outils pour compléter le contenu de ces cours.
- La plateforme propose une formation 100 % en ligne, et le contenu est amélioré avec des outils de données liées.

- L'enseignant crée le contenu en ligne, et l'apprenant interagit uniquement par le biais de l'annotation vidéo, ce qui signifie sans la présence de l'enseignant.
- Le pré-test et le post-test sont utilisés pour évaluer continuellement le niveau de l'étudiant et ce qu'il a acquis grâce à la formation.
- L'évaluation vise à comparer les deux modes d'apprentissage, apprentissage traditionnel et apprentissage des données liées, afin pour déterminer l'impact de l'ontologie sémantique sur le degré d'apprentissage et motivation des enseignants.

Bien que l'étude mette en évidence les avantages de l'annotation sémantique annotation et les technologies de données liées dans l'amélioration de l'apprentissage en ligne apprentissage, certaines limitations doivent être reconnues. Ces incluent les défis liés à la mise à l'échelle de la plateforme pour gérer de grands ensembles de données et bases d'utilisateurs, ainsi que la dépendance à des ontologies cohérentes et de haute qualité pour garantir des annotations précises.

De plus, l'investissement en temps pour créer des annotations contenues et la courbe d'apprentissage pour les éducateurs non familiers avec ces technologies peuvent freiner l'adoption généralisée. Aborder ces limitations par l'optimisation, des solutions évolutives solutions et outils d'annotation automatisés seront cruciaux pour élargir l'applicabilité et l'efficacité de cette approche dans divers contextes éducatifs.

## 4.8 CONCLUSION

Cette étude a réussi à développer une plateforme d'apprentissage en ligne plateforme améliorée avec une ontologie du web sémantique, incorporant des fonctionnalités essentielles des systèmes d'apprentissage en ligne existants. L'intégration améliore considérablement l'apprentissage en ligne. Expérience en répondant aux préférences des apprenants pour une éducation adaptable et une éducation personnalisée, en fournissant des résultats de recherche adaptés à des demandes académiques. La personnalisation des matériaux d'apprentissage est réalisée grâce à une ontologie sur mesure, permettant au système de fournir des ressources pertinentes aux apprenants individuels. La plateforme est hautement évolutive, prenant en charge divers cours et favorisant interactions productives entre les apprenants et les instructeurs.

L'analyse comparative met clairement en évidence que la plateforme UCBEET occupe une place singulière parmi les environnements d'apprentissage numérique. Elle ne cherche pas à concurrencer les LMS traditionnels sur la gestion administrative des cours, mais apporte un niveau d'intelligence pédagogique que ne possèdent aucune des solutions open source actuelles.

En intégrant l'ontologie, la sémantique, les annotations vidéo intelligentes et SPARQL, UCBET franchit un cap vers la prochaine génération de plateformes éducatives : les écosystèmes d'apprentissage intelligents, où les ressources ne sont plus seulement consommées mais comprises, interconnectées et contextualisées par la machine.

Les enseignants ont répondu positivement à la proposition approche, reconnaissant le système d'ontologie du web sémantique comme une solution innovante qui s'aligne avec les objectifs éducatifs fondamentaux et enrichit l'environnement d'apprentissage en ligne. L'apprentissage automatique et l'informatique intelligente ont émergé comme des outils cruciaux pour s'attaquer aux défis de l'apprentissage en ligne.

Les travaux futurs se concentreront sur l'intégration de systèmes de recommandation de contenu de cours et intégrer l'apprentissage automatique avec des ontologies sémantiques pour améliorer davantage les capacités de la plateforme. S'appuyant sur cela, les recherches futures exploreront la combinaison annotation sémantique avec recommandation personnalisée algorithmes pour créer un apprentissage plus personnalisé et adaptatif expériences. En intégrant les préférences des utilisateurs et les comportements d'apprentissage comportements, ces approches peuvent améliorer l'apprentissage en ligne, menant à des expériences étudiantes plus engageantes et efficaces. De plus, l'intégration de techniques avancées de traitement du langage naturel traitement (NLP) techniques avec des cadres sémantiques pourraient améliorer la compréhension des requêtes des utilisateurs et du contenu classification, affiner le processus de recommandation. Ces les développements non seulement amélioreront la personnalisation mais aussi contribuer à un e-learning plus dynamique et centré sur l'étudiant écosystème

## Conclusion générale et Perspectives

L'ensemble de cette étude a permis de mettre en évidence le potentiel significatif qu'offrent les ontologies du web sémantique pour transformer l'environnement d'apprentissage en ligne. La plateforme développée, intégrant ces technologies, a montré une capacité accrue à offrir une expérience éducative personnalisée, adaptative et interactive. En facilitant la recommandation pertinente de ressources dans un parcours d'apprentissage individualisé, elle répond au besoin croissant d'expériences éducatives plus engageantes, efficaces et centrées sur l'apprenant. L'implication positive des enseignants confirme que l'approche innovante basée sur les ontologies sémantiques constitue une étape majeure vers la modernisation des systèmes éducatifs numériques.

Cependant, cette étape n'est que le début d'un vaste horizon de possibilités innovantes. Les avancées dans le domaine de l'intelligence artificielle, notamment le machine Learning et le traitement avancé du langage naturel, offrent un contexte propice à l'émergence de systèmes encore plus sophistiqués. En intégrant ces technologies, il sera possible d'améliorer la compréhension sémantique des requêtes, d'affiner la classification des contenus et d'adapter dynamiquement l'offre éducative en fonction des comportements et des préférences des apprenants. La combinaison de ces approches permettra de répondre à une vision d'un apprentissage véritablement personnalisé, réactif aux besoins spécifiques, à tout moment et en tout lieu.

Par ailleurs, la réalité augmentée et la réalité virtuelle apparaissent comme des évolutions prometteuses pour immerger les apprenants dans des environnements d'apprentissage plus riches et interactifs. La fusion des technologies immersives avec les ontologies sémantiques pourrait créer des expériences éducatives engageantes, allant au-delà de la simple lecture ou visualisation pour offrir un apprentissage expérientiel et pratique. La mise en réseau mondiale d'apprenants, favorisée par des communautés virtuelles alimentées par des recommandations intelligentes, peut aussi révolutionner la collaboration et l'échange de connaissances dans un cadre plus inclusif et dynamique.

Dans le domaine de la recherche appliquée, plusieurs défis restent à relever, notamment en ce qui concerne l'interopérabilité des systèmes, la gestion éthique des données, la protection de la vie privée et la transparence des algorithmes. La mise en place de standards globaux, ainsi que des politiques de gouvernance responsables, seront essentielles pour garantir un déploiement sécurisé et équitable de ces technologies. L'investissement dans la formation des acteurs éducatifs à l'utilisation de ces outils innovants est également crucial pour assurer une adoption efficace et une utilisation optimale.

En synthèse, l'avenir de l'e-learning s'inscrit dans une convergence technologique où les ontologies sémantiques, l'intelligence artificielle et les environnements immersifs joueront un rôle central pour repenser la pédagogie. La recherche et l'expérimentation doivent continuer à explorer ces synergies pour concevoir des systèmes d'apprentissage toujours plus intelligents, adaptatifs et accessibles, capables d'accompagner chaque étudiant dans son parcours unique. L'éducation de demain sera sans doute celle qui saura évoluer avec ces innovations, en plaçant l'étudiant au centre d'un écosystème éducatif dynamique, inclusif et performant.

## Références bibliographiques :

- [1] Birenbaum, M. (2003). New insights into learning and teaching and their implications for assessment. In *Optimising new modes of assessment: In search of qualities and standards* (pp. 13-36). Dordrecht: Springer Netherlands.
- [2] Q. Li, 'The Role of Video-Call Technology in L2 Speaking Education: Research Trend and the Lens From Test-Takers and Teachers', PhD Thesis, University of Macau, 2024. Accessed: May 23, 2025. [Online]. Available: <https://search.proquest.com/openview/16060f0b10687cdda6d995cfed28bcce/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- [3] H. N. Le *et al.*, 'Investigating the predictors of adolescent learners' continuance intention to engage with a gamified e-learning platform about traffic safety in Vietnam', *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 109, pp. 1229–1245, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.trf.2025.01.032.
- [4] J. Gold, 'Design and Use of E-Learning to Accelerate Progress Towards Sustainable Development. A Case Study', 2005, Accessed: May 25, 2025. [Online]. Available: <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/1327072>
- [5] M. Chaib, 'The future of E-LEARNING: How technology is transforming education in the 21st century', Thesis, Université KASDI MERBAH-OUARGLA, 2024. Accessed: May 25, 2025. [Online]. Available: <http://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/37053>
- [6] M. K. Chong, 'E-Learning Platform For Collaborative Coding Assignments', other, UTAR, 2021. Accessed: May 25, 2025. [Online]. Available: <http://eprints.utar.edu.my/4088/>
- [7] E. Brits, 'Factors that influence a group of MBChB lecturers to use blended learning in their teaching', Stellenbosch: Stellenbosch University, 2021. Accessed: May 25, 2025. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10019.1/110268>
- [8] Y. Alyafaei and B. A. Mudhsh, 'A Review Study on the Impact of Online Collaborative Learning on EFL Students' Writing Skills', *Int. J. Linguist. Stud.*, vol. 3, p. 12, Sep. 2023, doi: 10.32996/ijls.2023.3.3.2.
- [9] F. Hamad, A. Shehata, and N. Al Hosni, 'Predictors of blended learning adoption in higher education institutions in Oman: theory of planned behavior', *Int. J. Educ. Technol. High. Educ.*, vol. 21, no. 1, p. 13, Feb. 2024, doi: 10.1186/s41239-024-00443-8.

- [10] S. PHOSA, ส. โพรธีสระ, S. Patamadilok, ส. ปัทมดิลก, and N. U. F. of Education, 'A STUDY OF ENGLISH WRITING SKILLS OF L2 STUDENTS WITH BLENDED LEARNING APPROACH', Thesis, Naresuan University, 2020. Accessed: May 26, 2025. [Online]. Available: <http://nuir.lib.nu.ac.th/dspace/handle/123456789/1551>
- [11] E. H. Saad, M. A. A. Abd Al Fattah, A. M. Fakhry, and M. A. Pessa, 'Comparing undergraduate Nursing student academic engagement and achievement in traditional versus Blended Learning Models', *Pak. J. Med. Health Sci.*, vol. 15, no. 4, pp. 989–993, 2021.
- [12] N. Chagnon-Lessard *et al.*, 'Smart Campuses: Extensive Review of the Last Decade of Research and Current Challenges', *IEEE Access*, vol. 9, pp. 124200–124234, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3109516.
- [13] A. M. Al-Rahmi, W. M. Al-Rahmi, U. Alturki, A. Aldraiweesh, S. Almutairy, and A. S. Al-Adwan, 'Acceptance of mobile technologies and M-learning by university students: An empirical investigation in higher education', *Educ. Inf. Technol.*, vol. 27, no. 6, pp. 7805–7826, Jul. 2022, doi: 10.1007/s10639-022-10934-8.
- [14] S. N. W. Safri, 'Investigating Malaysian students' e-learning experiences with Massive Open Online Courses (MOOCs) / Safwana Nur Widad Safri', phd, Universiti Teknologi MARA (Kampus Puncak Alam), 2023. Accessed: May 27, 2025. [Online]. Available: <https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/79319/>
- [15] X. Wei, N. Saab, and W. Admiraal, 'Do learners share the same perceived learning outcomes in MOOCs? Identifying the role of motivation, perceived learning support, learning engagement, and self-regulated learning strategies', *Internet High. Educ.*, vol. 56, p. 100880, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.iheduc.2022.100880.
- [16] D. Tessaro and J.-P. Restoule, 'Indigenous pedagogies and online learning environments: a massive open online course case study', *Altern. Int. J. Indig. Peoples*, vol. 18, no. 1, pp. 182–191, Mar. 2022, doi: 10.1177/11771801221089685.
- [17] P. Barker and K. Manji, 'Computer-based training: an institutional approach', *Educ. Comput.*, vol. 8, no. 3, pp. 229–237, Jul. 1992, doi: 10.1016/0167-9287(92)92766-S.
- [18] R. N. Wright, R. A. Adcock, and K. S. LaBar, 'Learning emotion regulation: An integrative framework', *Psychol. Rev.*, vol. 132, no. 1, pp. 173–203, 2025, doi: 10.1037/rev0000506.
- [19] R. Silva, C. Farias, and I. Mesquita, 'Cooperative Learning Contribution to Student Social Learning and Active Role in the Class', *Sustainability*, vol. 13, no. 15, Art. no. 15, Jan. 2021, doi: 10.3390/su13158644.
- [20] A. M. Al-Ansi, 'Reinforcement of student-centered learning through social e-learning and e-assessment', *SN Soc. Sci.*, vol. 2, no. 9, p. 194, Sep. 2022, doi: 10.1007/s43545-022-00502-9.
- [21] I. F. Rahmadi, Lavicza ,Zsolt, Kocadere ,Selay Arkün, Sri Padmi ,Russasmita, and T. and Houghton, 'User-generated microgames for facilitating learning in various scenarios: perspectives and preferences for elementary school teachers', *Interact. Learn. Environ.*, vol. 31, no. 9, pp. 5538–5550, Dec. 2023, doi: 10.1080/10494820.2021.2010221.

- [22] B.-J. Kim, F. Ke, J. Moon, and L. West, ‘Designing Dynamic Learning Supports for Game and Simulation-Based Learning in STEM Education’, in *Game-based Learning Across the Disciplines*, C. Aprea and D. Ifenthaler, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 189–212. doi: 10.1007/978-3-030-75142-5\_8.
- [23] V. M. Bradley, ‘Learning Management System (LMS) Use with Online Instruction’, *Int. J. Technol. Educ.*, vol. 4, no. 1, pp. 68–92, 2021.
- [24] I. C. Tochukwu and O. F. Nonyelum, ‘Effectiveness of Electronic Meeting and Video Conferencing Tools and Techniques’, *IUP J. Comput. Sci.*, vol. 18, no. 4, pp. 29–55, 2024.
- [25] R. Kannusamy, ‘Digital Tools for Interactive E-Content Development’, in *Redefining Virtual Teaching Learning Pedagogy*, 2023, pp. 203–230. doi: 10.1002/9781119867647.ch12.
- [26] R. Tiwari, ‘The integration of AI and machine learning in education and its potential to personalize and improve student learning experiences’, *Int. J. Sci. Res. Eng. Manag.*, vol. 7, no. 2, 2023, Accessed: Jun. 02, 2025. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Rudra-Tiwari-2/publication/367964773\\_The\\_Integration\\_of\\_AI\\_and\\_Machine\\_Learning\\_in\\_Education\\_and\\_its\\_Potential\\_to\\_Personalize\\_and\\_Improve\\_Student\\_Learning\\_Experiences/links/63db62ed64fc86063807aa06/The-Integration-of-AI-and-Machine-Learning-in-Education-and-its-Potential-to-Personalize-and-Improve-Student-Learning-Experiences.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rudra-Tiwari-2/publication/367964773_The_Integration_of_AI_and_Machine_Learning_in_Education_and_its_Potential_to_Personalize_and_Improve_Student_Learning_Experiences/links/63db62ed64fc86063807aa06/The-Integration-of-AI-and-Machine-Learning-in-Education-and-its-Potential-to-Personalize-and-Improve-Student-Learning-Experiences.pdf)
- [27] K. Palshkov, N. Shetelya, N. Khilus, I. Vakulyk, and I. Khyzhniak, ‘Impact of mobile apps in higher education: Evidence on learning’, *Amazon. Investiga*, vol. 13, no. 74, Art. no. 74, Feb. 2024, doi: 10.34069/AI/2024.74.02.10.
- [28] D. K. A.-R. Al-Malah, I. A. Aljazaery, H. T. S. Alrikabi, and H. A. Mutar, ‘Cloud Computing and its Impact on Online Education’, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1094, no. 1, p. 012024, Feb. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1094/1/012024.
- [29] A. M. Al-Ansi, M. Jaboob, A. Garad, and A. Al-Ansi, ‘Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education’, *Soc. Sci. Humanit. Open*, vol. 8, no. 1, p. 100532, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.ssaho.2023.100532.
- [30] Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2001). The Semantic Web. *Scientific American*, 284(5), 34–43.
- [31] N. F. Noy and D. L. McGuinness, *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*, Tech. Rep. KSL-01-05, 2001.
- [32] T. Berners-Lee, “Enabling Standards & Technologies — Layer Cake,” *W3C talk: The Semantic Web*, Apr. 2002, slide 12. [Online]. Available: <https://www.w3.org/2002/Talks/04-sweb/slide12-0.html>. Accessed: Sep. 29, 2025
- [33] T. Berners-Lee, “Linked Data—Design Issues,” *World Wide Web Consortium (W3C) Note*, 2006.
- [34] N. Shadbolt, T. Berners-Lee, and W. Hall, “The Semantic Web Revisited,” *IEEE Intelligent Systems*, vol. 21, no. 3, pp. 96–101, 2006, doi: 10.1109/MIS.2006.62.

- [35] T. Bray, D. Hollander, A. Layman, and R. Tobin, “Namespaces in XML 1.0 (Third Edition),” W3C Recommendation, Dec. 8, 2009.
- [36] T. Bray, D. Hollander, A. Layman, and R. Tobin, “Namespaces in XML 1.0 (Third Edition),” W3C Recommendation, Dec. 8, 2009. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/xml-names/>
- [37] R. Cyganiak, D. Wood, and M. Lanthaler, “RDF 1.1 Concepts and Abstract Syntax,” W3C Recommendation, Feb. 25, 2014.
- [38] S. Harris, A. Seaborne, and E. Prud’hommeaux, “SPARQL 1.1 Query Language,” W3C Recommendation, Mar. 21, 2013.
- [39] P. F. Patel-Schneider, B. Motik, and B. Parsia, “OWL 2 Web Ontology Language RDF-Based Semantics (Second Edition),” W3C Recommendation, Dec. 11, 2012.
- [40] Valery., P. (2004). "Proposition d'une méthode d'ingénierie ontologique pour les EIAH : application aux systèmes auteurs". Programme de doctorat en informatique, Mai 2004 Université du Québec à Montréal Canada.
- [41] Gruber., T.R. (1995). “Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing”. International Journal of Human Computer Studies.
- [42] Guarino., N. et Giaretta., P. (1995). "Ontologies and knowledge bases: Towards a terminological clarification". In N MARS, réd., Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing, pp. 25–32. IOS Press.
- [43] Uschold., M. et Grüninger., M. (1996). "Ontologies: principles, methods, and applications". Knowledge Engineering Review, Vol.11, N°2, pp. 93–155.
- [44] Roche., C. (2005). " Terminologie et Ontologie". Revue Langages, N° 157, pp. 48– 62, Editions Larousse.
- [45] Oberle., D. (2006). "Semantic Management of Middleware ". Semantic Web And Beyond Computing for Human Experience: Springer US.
- [46] Paquette., G. (2007). "Graphical Ontology Modeling Language for Learning Environments". Technology, Instruction., Cognition and Learning, Vol. 5, pp. 133– 168.
- [47] Guarino., N. et Giaretta., P. (1995). "Ontologies and knowledge bases: Towards a terminological clarification". In N MARS, réd., Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing, pp. 25–32. IOS Press.
- [48] Nguoi, Catherine & Habil, Hadina. (2021). The Use of Video Annotation in Education: A Review. Asian Journal of University Education. 17. 84. 10.24191/ajue.v17i4.16208.
- [49] *Vrochidis, Stefanos & Patras, Ioannis & Kompatsiaris, Ioannis. (2017). Gaze movement-driven random forests for query clustering in automatic video annotation. Multimedia Tools and Applications. 76. 10.1007/s11042-015-3221-1.*
- [50] *Video annotation: what is it, and how does it work?* (2023, June 19). Retrieved June 4, 2024, from <https://www.springbord.com/blog/video-annotation-what-is-it-and-how-does-it-work/>
- [51] Hansch, Anna & Hillers, Lisa & McConachie, Katherine & Newman, Christopher & Schildhauer, Thomas & Schmidt, Philipp. (2015). Video and Online Learning: Critical Reflections and Findings from the Field. SSRN Electronic Journal. 10.2139/ssrn.2577882.

- [52] Kim, J., Gwon, R., Park, J., Kim, H., & Kim, Y. (2013). A Semi-Automatic Video Annotation Tool to Generate Ground Truth for Intelligent Video Surveillance Systems. *Advances in Mobile Multimedia*.
- [53] Liao, H., Chen, L., Song, Y., & Ming, H. (2016). Visualization-Based Active Learning for Video Annotation. *IEEE Transactions on Multimedia*, 18, 2196-2205.
- [54] Adhikari, B., Peltomäki, J., Puura, J., & Huttunen, H. (2018). Faster Bounding Box Annotation for Object Detection in Indoor Scenes. *2018 7th European Workshop on Visual Information Processing (EUVIP)*, 1-6.
- [55] *Video annotation: what is it, and how does it work?* (2023, June 19). Retrieved June 3, 2024, from <https://www.springbord.com/blog/video-annotation-what-is-it-and-how-does-it-work/>
- [56] Chemam, C., Zarzour, H. and Toufik, S., 2025. Linked Data in E-Learning Platforms: Enhancement and Impact on Students Learning and Thinking. *Ingénierie des Systèmes d'Information*, 30(4).