

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
Département d'électrotechnique



جامعة باجي مختار – عنابة
كلية التكنولوجيا
قسم الكهروتقني

Thèse

Présentée pour obtenir le diplôme de

Doctorat

Spécialité : Réseaux Électriques

Filière : Electrotechnique

Par :

Badache Bahriya

Thème :

Analyse des effets de l'injection d'une centrale photovoltaïque sur le réseau électrique

Thèse soutenue le 13/01/2026 devant le jury composé de :

N°	Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
01	Omeiri Amar	Prof	Université Badji Mokhtar - Annaba	Président
02	Labar Hocine	Prof	Université Badji Mokhtar - Annaba	Encadreur
03	Adjabi Mohamed	Prof	Université Badji Mokhtar - Annaba	Examineur
04	Lemzadmi Ahcene	Prof	Université 08 Mai 1945 - Guelma	Examineur
05	Djeghader Yacine	Prof	Université Mohamed Cherif Messaadia – Souk Ahras	Examineur

«بسم الله الرحمن الرحيم»

«تحليل آثار حقن محطة كهروضوئية في شبكة الكهرباء»

المخلص

في بداية هذا العمل، يتم تعزيز موثوقية تغذية المساعدات في محطة التوتر العالي من خلال إجراء دراسة لتغذيتها بواسطة مصدر ضوئي، ثم يجب تقييم موثوقية كل نظام تغذية كهربائية لتحسين مئنته. تحدد المواصفة IEEE 1366 لعام 2012 أن معايير جودة الخدمة تُستخدم لنمذجة الموثوقية. تعتمد هذه الموثوقية بشكل كبير على كود الشبكة المستخدم. تمت دراسة بيانات محطة الطاقة الشمسية الجزائرية واد كيريت التي تم جمعها على مدى أربع سنوات (من 2018 إلى 2021).

جزء من بحثي كان مخصصًا لإيجاد حلول لمشكلة حدود النقل لخط 30 كيلوفولط الذي يربط محطة الطاقة الشمسية واد كيريت بالشبكة الكهربائية الجزائرية (المحطة تنتج MW15 ومع ذلك فإن خط 30 كيلوفولط ينقل فقط 12 ميغاواط)، وبالتالي هناك 03 ميغاواط من الطاقة المتاحة غير المنقولة عبر الخط، لذلك، في بحثي، قمت بإبراز ثلاثة خيارات دراسية لزيادة الحد الحراري للخط وضمان نقل كامل الطاقة المنتجة.

أيضًا في بحثي، أظهرت كيف يمكن لوحدة التحكم في الطاقة للعكس أن تؤثر بشكل كبير على الموثوقية من خلال تقنية التحكم المنفصل للطاقة النشطة والتفاعلية على أساس استخراج المعلمات وعلى أساس ترانزستور نوع "موصفات" علاوة على ذلك، عند تشغيل الحماية الكهربائية لمحطة الطاقة كهروضوئية، غالبًا ما تنفصل الأخيرة عن الشبكة، حتى عندما تكون المشكلة خارجية، فقد أثبتت أنه يمكن تجنب العديد من أعطال محطات الطاقة كهروضوئية من خلال تطبيق نهج شبكة معدل جديد

من ناحية أخرى، عندما تعمل حماية كهربائية لمحطة طاقة شمسية، فإنها غالبًا ما تنفصل عن الشبكة، حتى عندما تكون المشكلة خارجية. لقد أثبتت أن العديد من أعطال محطات الطاقة الشمسية يمكن تجنبها من خلال تطبيق رمز شبكة معدل.

في نهاية هذا العمل، قمت بتعميق بحثي حول منحنى ثبات الطاقة، بالنسبة للنطاق الميت يعتمد عرض التردد على أهمية العبور بين الاتصالات المختلفة أو التوصيل البيئي ويخضع لقوة تعاقدية بين الشبكتين المتصلتين، يفيض هذا النطاق الميت أيضًا بطاقة الشبكة (من النوع الثابت ونوع المصدر المتصل) لقد استخدمت نهجًا معدلًا لتنظيم الطاقة النشطة والتفاعلية.

كلمات مفتاحية

الطاقة الشمسية - الطاقة كهروضوئية - الاستهلاك - تكلفة الكهرباء - معايير جودة الخدمة - موثوقية نظام الطاقة كهروضوئية - الطاقات المتجددة - متابعة نقاط القدرة القصوى - منحنى استقرار القدرة - الربط بالشبكة الكهربائية - دراسة بناء الخطوط الكهربائية - دراسة بناء الكابلات الكهربائية تحت الأرض - قانون الشبكة الكهربائية.

« Analyse des effets de l'injection d'une centrale photovoltaïque sur le réseau électrique »

RESUME

Au préalable à ce travail, une étude de fiabilisation de l'alimentation des auxiliaires d'un poste THT par la mise en place d'une étude d'alimentation par une source photovoltaïque, a été proposée. Cela permettra de rendre l'alimentation de la basse tension (mesure, contrôle et commande) du poste électrique indépendante du réseau rendant ainsi la reprise rapide en cas d'un manque de tension générale.

Concernant l'étude objet de cette recherche, il ne fait nul doute que la fiabilité de tout système d'alimentation électrique doit être évaluée afin d'améliorer sa durabilité. La norme IEEE 1366, 2012 précise que les paramètres de qualité de service sont utilisés pour modéliser la fiabilité. Cette dernière dépend fortement du code réseau utilisé. Pour les besoins de cette étude, la collecte des données des quatre dernières années (de 2018 jusqu'à 2021) relatives à la centrale photovoltaïque Algérienne OUED KEBRIT a été nécessaire.

Une partie de ma recherche a été consacrée pour trouver des solutions à la problématique de la limite de transit de la ligne 30kV reliant la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT au réseau électrique Algérien (la centrale produit 15MW néanmoins la ligne 30kV transite uniquement 12MW), donc 03MW de puissance disponible non transitée par la ligne, de ce fait, dans ma recherche j'ai fait ressortir trois variantes d'études pour augmenter la limite thermique de la ligne et assurer le transit de la totalité de la puissance produite.

Aussi, j'ai mis en évidence la capacité du contrôleur de puissance de l'onduleur à influencer considérablement la fiabilité par la technique de contrôle découplé de la puissance active et réactive à base de paramètre d'extraction et à base de transistor MOSFET.

D'un autre côté, lorsqu'une protection électrique d'une centrale photovoltaïque fonctionne, celle-ci se déconnecte souvent du réseau, même si le problème est externe, j'ai prouvé que de nombreuses pannes de centrales photovoltaïques pourraient être évitées par l'application d'un nouveau code de réseau ajusté.

A la fin, ce travail m'a permis d'approfondir ma recherche sur la courbe de statisme de puissance. Ainsi, Pour la bande morte, il est démontré qu'une relation existe entre la largeur de fréquence et l'importance de transit dans les différentes connexions ou interconnexion. Elle est aussi sujette à une puissance contractuelle entre les deux réseaux connectés. D'autres facteurs influent d'une façon significative sur cette bande morte comme la puissance du réseau (de statisme et de type de source engagée). Pour le mettre en évidence, j'ai utilisé une approche modifiée de régulation de la puissance active et réactive.

Mots clés

Energie solaire - Energie photovoltaïque – Consommation - coût de l'électricité – Paramètres de qualité de service - Fiabilité du système d'énergie photovoltaïque - Energies renouvelables - Suivi des points de puissance maximum – PPM – Courbe de statisme de puissance - Raccordement au réseau électrique - Etudes construction ligne aérienne - Etude construction câble électrique souterrain – code de réseau électrique.

« Analysis of the effects of a photovoltaic power plant injection on the electrical grid »

Abstract

Prior to this work, a study of the reliability of the power supply for auxiliaries in an very high voltage station through the implementation of a photovoltaic power supply study was proposed, then the reliability of any electrical power system must be evaluated in order to improve its durability. The IEEE 1366, 2012 standard specifies that quality of service parameters are used to model reliability. This reliability strongly depends on the grid code used. The data from the Algerian photovoltaic power plant OUED KEBRIT collected over four years (from 2018 to 2021) were studied.

A part of my research was devoted to finding solutions for the resolution of the issue of the transit limit of the 30kV line connecting the photovoltaic power plant OUED KEBRIT to the Algerian electricity grid. (the power plant produces 15MW, however the 30kV line only transit 12MW), so 03MW of available power not transited by the line, therefore, in my research I highlighted three variants of studies to increase the thermal limit of the line and ensure the transit of all the power produced.

Also in my research I highlighted how the power controller of the inverter can significantly influence reliability through the decoupled control technique of active and reactive power based on extraction parameters and based on MOSFET transistors.

On the other hand, when an electrical protection of a photovoltaic power plant is operated, it often disconnects from the grid, even when the problem is external, I proved that many photovoltaic power plant failures could be avoided by applying a new adjusted network code.

At the end of this work, I deepened my research on the power statism curve, for the dead band the frequency width depends on the importance of transit between the different connections or inter-connection and it is subject to a contractual power between the two connected networks, this dead band also overflows with network power (of static and type of engaged source), I used a modified approach to regulation of active and reactive power.

Keywords

Solar energy - Photovoltaic energy – Consumption - cost of electricity – Quality of service parameters - Reliability of the photovoltaic energy system - Renewable energies - Maximum Power Point Tracking (MPPT) – Power statistics curve - Connection electrical line to grid - Study of construction electrical line - Study of construction inderground electrical cable – electrical grid code.

Dédicace

Je dédis le fruit de cette réussite à la mémoire de ma fierté Z.BAD et F.DJEL souhaitant qu'il soit une récompense et une bénédiction pour eux, aussi là où ils sont, qu'ils apprécient ce geste comme preuve de reconnaissance de la part de leur fille qui a réalisé ce que ses parents souhaitaient, et qu'elle y est arrivée. Puisse Dieu, le tout puissant les accueillir dans son vaste paradis. A mon cher mari D.ZAHMOU et mon adorable fille Y.ZAHMA qui m'ont encouragé dans les moments difficiles et qui ont supporté mes absences et mes doutes.

À mes frères M.T.S.BAD et mes sœurs B.B.BAD et à ma famille BAD. ZAHM, DJEL. GASM à mes chers voisins tante SORAYA et oncle FAOUZI.

Comme je le dédie à tous mes amies SAFIA, AÇ.IBTI, BER.NAD, SOUL.SAY, MOUNI.BENTR, et à tous mes collègues de travail.

Remerciements

Je tiens à remercier plus particulièrement, mon directeur et co-directeur de thèse respectivement Professeur Labar Hocine et Professeur Kelaiia Mounia Samira qui m'ont fait partager leurs brillantes intuitions « c'est à vos côtés que j'ai compris ce que rigueur et précision voulaient dire ».

Je leurs remercié pour leurs gentillesse, disponibilité permanente, leur précieux conseils. Cette thèse est le fruit d'une collaboration de plus de six ans avec vous mes chers encadreurs.

J'aimerais profiter de cette occasion pour remercier tout le personnel du département

D'Electrotechnique et du laboratoire d'Electricité d'Annaba « LEA » de

L'Université Badji-Mokhtar Annaba,

Je voudrais dire merci à tous le personnel de la Société Nationale D'électricité Et De

Gaz, en particulier Mr Kherouf Mohamed Ingénieur principal au niveau de l'OS/
DISPATCHING et Mr Benkhedim Mohamed Toufik Chef Service patrimoine pour leurs efforts et la facilité d'acquisition des données et informations au niveau de la Société Nationale D'électricité Et De Gaz ainsi qu'au Mr Mesghiche Samir, directeur général de la centrale OUED KEBRIT pour nous avoir autoriser l'accès en plusieurs reprises à la centrale photovoltaïque et nous avoir fourni de précieuses données et documentations.

Enfin, je dois ma gratitude à tout le personnel de l'université et mes responsables de travail : Mr Bouledroua, R et Mr Dejghab, L

Liste des tableaux

2.1. Caractéristiques Électriques du module photovoltaïque BP SX 150	37
2.2. Principe de l'algorithme P&O.....	48
3.1. Historique des incidents enregistrés au poste EL HADJAR.....	72
3.2 Synthèse des gains pour les variantes d'études.....	73
4.1. Production de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT durant une journée de l'été 2016	88
4.2. Production de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT d'une journée d'hiver à ciel dégagé 2017	89
4.3. Production de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT d'une journée d'hiver nuageuse 2017	90
4.4. Code de réseau appliqué à la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT.....	93
4.5. Les cas des incidents étudiés enregistrés au niveau de la centrale OUED KEBRIT.....	106
4.6. Données des paramètres de qualité de service de la centrale OUED KEBRIT.....	107
4.7. Synthèses du résultat des paramètres de qualité de service de la centrale OUED KEBRIT.....	108
4.8 Analyse des incidents et actions corrective.....	111
4.9. Réglages des seuils des protections électriques au jeu de barres 30 kV.....	112
4.10. Cas de déconnexion obligatoire de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT	113
5.1. Répartition du programme des ENR par filière technologique.....	124
5.2. Programme de développement des énergies renouvelables	125
5.3. Les centrales des énergies renouvelables en Algérie.....	128
5.4. Caractéristiques de la ligne 30kV OUED KEBRIT/EL AOUNET	129
5.5. Résistances pour chaque niveau de tension de ligne électrique.....	136
5.6. Inductances pour chaque niveau de tension de ligne électrique	136
5.7. Caractéristiques des câbles conducteur étude variante N°1.....	140
5.8. Estimation détaillée des coûts et des quantités de la variante N°01.....	146
5.9. Détail du génie civil des poteaux BS.....	151
5.10. Propriétés mécaniques et électriques des chaînes isolateurs d'ancrage.....	153
5.11. Propriétés mécaniques et électriques des chaînes isolateurs suspension.....	153
5.12. Estimation détaillée des coûts et des quantités de la variante N°02.....	157
5.13. Estimation détaillée des coûts et des quantités de la variante N°03.....	167
5.14. Avantages et les inconvénients de la variante d'étude N°1.....	177
5.15. Avantages et les inconvénients de la variante d'étude N°2.....	178
5.16. Avantages et inconvénients de la variante d'étude N°3.....	179
5.17. Comparaison des paramètres électriques des trois variantes d'études.....	180

Liste des figures

1.1. Caractéristique électrique (I-V) d'un module photovoltaïque	29
1.2. Variation temporelle du rayonnement enregistré le 12 Aouts 2021	30
2.1. Modèle métal-isolant-métal	34
2.2. Structure de bandes explicitant les étapes du fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	35
2.3. Caractéristique courant-tension d'un panneau photovoltaïque	35
2.4. Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque	37
2.5. Courbe de puissance d'un panneau photovoltaïque	39
2.6. Influence de la température sur les variations P-V et I-V	40
2.7. Influence de l'éclairement sur les variations P-V et I-V.....	40
2.8. Caractéristique VA et puissance d'un panneau photovoltaïque	43
2.9. Diagramme de performance des cellules photovoltaïque	44
2.10. Caractéristiques P-V et I-V de deux panneaux photovoltaïque identiques raccordés en série.....	45
2.11. Caractéristiques P-V et I-V de deux panneaux photovoltaïque identiques raccordés en parallèle..	45
2.12. Caractéristiques P-V et I-V d'une association mixte des panneaux photovoltaïques.....	46
2.13. Etage d'adaptation d'un générateur photovoltaïque – charge.....	46
2.14. Schéma électrique de convertisseur survolteur	47
2.15. Schéma électrique du convertisseur dévolteur	48
2.16. Schéma électrique du convertisseur dévolteur-survolteur	48
2.17. Conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT avec convertisseur DC-DC ...	49
2.18. Signe variation de puissance par rapport à la tension dans la courbe caractéristique	50
3.1. Poste 220/90/60/30kV EL HADJAR.....	54
3.2. Commande Contrôle Numérique « CCN » étage 220kV au poste 220/90/60/30kV EL HADJAR.....	62
3.3. Commande Contrôle Numérique « CCN » étage 90kV au poste EL HADJAR.....	62
3.4. Commande Contrôle Numérique « CCN » étage 60kV au poste EL HADJAR.....	63
3.5. Commande Contrôle Numérique « CCN » étage 60kV au poste EL HADJAR (suite)	63
3.6. Schéma unifilaire des auxiliaires du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR	64
3.7. Schéma unifilaire des auxiliaires du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR (suite)	65
3.8. Armoire des redresseurs 127Vcc du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR	65
3.9. Armoire des auxiliaires du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR	66
3.10. Raccordement de l'armoire des auxiliaires	66
3.11. Local des auxiliaires du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR	67

3.12. Plaque signalétique du TSA du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR	67
3.13. Schéma unifilaire du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR de l'étage 220kV	68
3.14. Schéma unifilaire du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR de l'étage 90kV	68
3.15. Schéma unifilaire du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR de l'étage 60kV	69
3.16. Schéma unifilaire du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR étage 60kV (la suite)	69
3.17. Schéma d'alimentation des auxiliaires au poste 220/90/60/30kV EL HADJAR.....	70
3.18. Bâtiment de Commande poste 220/90/60/30kV EL HADJAR.....	71
3.19. Répartition des manques à gagner des incidents survenus au poste EL HADJAR.....	72
3.20. Gain enregistré de chaque Var d'alimentation des auxiliaires au poste EL HADJAR.....	73
3.21. Consommation des auxiliaires du poste EL HADJAR durant l'année 2018	73
3.22. Simulation de l'alimentation des auxiliaires du poste EL HADJAR avec une source photovoltaïque.....	74
3.23. Tension mesurée à la sortie du panneau photovoltaïque	75
3.24. Tension mesurée à la sortie de l'hacheur.....	75
3.25. Tension au niveau de la charge	75
3.26. Courant au niveau de la charge	76
4.1. Localisation de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT	78
4.2. Plan de masse la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT	79
4.3. Les panneaux photovoltaïque de la centrale OUED KEBRIT.....	80
4.4. Plaque signalétique du panneau photovoltaïque de la centrale OUED KEBRIT	80
4.5. Caractéristique géométrique du panneau photovoltaïque de la centrale OUED KEBRIT	81
4.6. Caractéristique des boites parallèles niveau 1	81
4.7. Plaque signalétique de la boite parallèle niveau 1.....	82
4.8. Schéma de raccordement de la boite parallèle niveau 1	82
4.9. Caractéristique des boite parallèle niveau 2.....	83
4.10. Plaque signalétique de la boite parallèle niveau 2.....	83
4.11. Schéma de raccordement de la boite parallèle niveau 2.....	84
4.12. Schéma signal optique de la photovoltaïque OUED KEBRIT	85
4.13. Le schéma unifilaire de l'étage 30kV au poste 90/30kV EL AOUNET	85
4.14. Schéma de raccordement de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT	86
4.15. Schéma unifilaire de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT.....	87
4.16. Courbe d'éclairement « journée été 2016 à OUED KEBRIT »	88
4.17. Courbe de production à OUED KEBRIT « journée hiver 2017 à ciel dégagé »	89

4.18. Courbe de production à OUED KEBRIT « journée hiver 2017 à ciel nuageux ».....	89
4.19. Variation des END en fonction des manques à gagner.....	91
4.20. Courbe de statistique de la puissance active à fréquence générique f/P selon les codes de réseau...	92
4.21. Courbe de statistique de fréquence appliqué sous le mode MPPT.....	92
4.22. Graphique de la puissance active et réactive de l'onduleur.....	93
4.23. Carte de production d'Énergie électrique au Nord / Est Algérie.....	94
4.24. Représentation du réseau d'électricité THT et HT au Nord / Est Algérie.....	95
4.25. Connection de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT au réseau.....	96
4.26. Surveillance du fonctionnement des onduleurs.....	97
4.27. Mesure de la puissance au niveau de l'onduleur.	98
4.28. Mesure de la puissance au niveau du point de couplage commun (PCC).....	98
4.29. Connexion des onduleurs au niveau de l'étage A et B	99
4.30. Afficheur d'un onduleur au niveau de la centrale OUED KEBRIT	100
4.31. Station météorologique de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT	100
4.32. Surveillance météorologique de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT.....	101
4.33. Cellule de protections électriques de disjoncteur de la centrale OUED KEBRIT	109
4.34. Logiciel de limitation de puissance et MPPT.....	110
4.35. Fréquences enregistrées avant et après la modification de code de réseau.....	115
4.36. Tension enregistrées avant et après la modification de code de réseau	115
4.37. Puissance enregistrées avant et après la modification de code de réseau	116
4.38. Éclairage enregistrés avant et après la modification de code de réseau	116
4.39. Courant enregistrés avant et après la modification de code de réseau	117
4.40. Incident enregistrés le 06/06/2018	117
4.41. Incident enregistrés le 20/08/2018.....	118
4.42. Incident enregistrés le 11/12/2018.....	118
4.43. Incident enregistrés le 08/11/2018	119
4.44. Incident enregistrés le 15/11/2020	119
4.45. Incident enregistrés le 01/12/2020	120
4.46. Comportement de la centrale OUED KEBRIT selon le nouveau code de réseau appliqué.....	120
5.1. Répartition des énergies renouvelables sur le territoire Algérien	123
5.2. Programme Algérien des énergies renouvelables à l'horizon de 2030	124
5.3. Graphique présente le programme Algérien des énergies renouvelables en Algérie	125
5.4. Évolution objectifs du programme Algérien des énergies renouvelables	126

5.5. Boucle des énergies renouvelables au Sud de l'Algérie.....	128
5.6. Les types des supports de la ligne 30kV OUED KEBRIT / EL AOUINET	130
5.7. Caractéristiques d'isolateur de la ligne 30kV OUED KEBRIT / EL AOUINET	131
5.8. Raccordement de la centrale OUED KEBRIT vers le poste EL AOUINET	132
5.9. Modèle en Pi d'une ligne électrique	132
5.10. Impédances d'une ligne électrique du modélisé en Pi	133
5.11. Faisceaux de conducteur de 2, 3 ou 4 conducteurs	135
5.12. Distance entre les faisceaux de conducteur sur un pylône	135
5.13. Tracé et profil en long de la ligne électrique (Etude variante N°1)	139
5.14. Grandeurs géométriques sur une ligne électrique	141
5.15. Données d'entrées tableau de traversée (Etude variante N°1)	143
5.16. Résultat tableau de traversée sur logiciel NC (Etude variante N°1)	143
5.17. Données d'entrées du tableau de pose sur logiciel NC (Etude variante N°1)	144
5.18. Résultat du tableau de pose sur logiciel NC (Etude variante N°1)	144
5.19. Profil on long de la ligne 30kV sur AUTOCAD (Etude variante N°1)	145
5.20. Tracé de la ligne sur le logiciel Google Earth (Etude variante N°2)	148
5.21. Silhouette des supports type BS avec le détail de la fondation	149
5.22. Detail du surmassifs du génie civil du support BS	150
5.23. Caractéristiques des isolateurs anti-pollution	152
5.24. Profil on long de la ligne 30kV sur AUTOCAD (Etude variante N°2)	154
5.25. Données d'entrées de la traversée sur logiciel NC (Etude variante N°2)	155
5.26. Résultat des traversées sur logiciel NC (Etude variante N°2)	155
5.27. Données d'entrées Tableau de Pose (Etude variante N°2)	156
5.28. Résultat des Tableaux de Pose (Etude variante N°2)	156
5.29. Profil en long et disposition de la ligne sur Google Earth (Etude variante N°3)	161
5.30. Coupe transversale de la disposition du câble (Etude variante N°3)	163
5.31. Travaux de génie civil du câble électrique sous terrain	165
5.32. Travaux de confection des boites de jonction des câbles électriques.....	166
5.33. Simulation de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT sur le logiciel MATLAB	170
5.34. Simulation du réseau électrique raccordée à la centrale OUED KEBRIT sur MATLAB.....	171
5.35. Résultats de la tension et de la puissance à la sortie de l'hacheur (Etude de la variante N°01).....	172
5.36. Résultat de courant à la sortie de l'onduleur (Etude de la variante N°01).....	173
5.37. Résultat de la tension à la sortie de l'onduleur (Etude de la variante N°01).....	174

5.38. Résultat de courant à la sortie du transformateur (Etude de la variante N°01).....	175
5.39. Résultat de la tension à la sortie du transformateur (Etude de la variante N°01).....	176
5.40. Comparaison technico-économique des trois variantes d'étude.....	181

Liste des symboles et abréviation

I : courant électrique (Ampère).
 V : Tension (Volt).
PPM : Point de Puissance Maximal (Point of Maximum Power)
MPPT : Point Maximum de Puissance Atteinte (Maximum Power Point Tracking)
P-N : jonction de deux semi-conducteurs de dopage P et N
ITO : Les substrats d'oxyde d'indium dopé à l'étain.
CTT : Couche de Transport des Trous.
 I_{cc} : Courant de court-circuit.
 V_{co} : Tension de circuit ouvert.
 W_c : Watt crête.
 h_ν : Energie du photons.
 E_g : Energie de bande de gap.
 I : Courant délivré par le module.
 I_{ph} : Photo courant.
 I_d : Courant de diode.
 I_{sh} : Courant shunt.
 I_{cc} : Courant de court-circuit.
 I_{rs} : le courant de saturation inverse des cellules.
 V : la tension de sortie de cellule (V).
 A : la constante d'idéalité de la diode.
 T : la température de fonctionnement de la cellule de référence.
 q : la charge d'électrons ($1,60217646 \times 10^{-19}$ C).
 k : la constante de Boltzmann ($1,3806503 \times 10^{-23}$ J / K).
 R_s et R_p : sont les résistances série et shunt de la cellule respectivement.
 G : est l'irradiation solaire en W / m^2 .
 A : Surface du panneau photovoltaïque .
 T_r : la température de référence de la cellule.
 T_c : la température de la cellule.
 k_i : le coefficient de température du courant de court-circuit.
 P_{max} : Puissance maximale.
PQS : Paramètres de qualité de Service
 V_{mp} : Tension à Pmax.
 I_{mp} : Courant à Pmax.
 a : Coefficient de température de I_{cc} .
P-V : Puissance - tension.
I – V : Courant – tension.
V-A : Tension – Courant.
 V_t : Tension thermique de jonction.
 G : Irradiation solaire (éclairage).
 ρ : Facteur de remplissage des cellules.
 α_c : Absorptivité de la lumière par la cellule.

τ_f : La teneur en fer.
 η_e : Le rendement Électrique de la cellule.
 $^{\circ}\text{C}$: Degré Celsius.
 T_0 : Température à 25°C .
 E_c : Energie absorbée par la cellule.
 η_e : Efficacité de l'éclairement solaire incident.
 STC : Conditions de test standard.
 β : est le coefficient de température de la cellule en silicium ($\beta = 0,0045^{\circ}\text{C}^{-1}$).
 E_{ce} : Insolation absorbée par la cellule.
 YF : Facteur de rendement.
 PR : Rapport de performance.
 E_p : Electricité produite.
 EDG : Electricité qui aurait été générée.
 I_{sc} , V_{sc} : caractéristiques résultantes obtenues en associant en série.
 I_{pc} , V_{pc} : caractéristiques résultantes obtenues en associant en parallèle.
 n_p : nombre des modules en parallèle.
 n_s : nombre des modules en série.
 V_0 : Rapport cyclique d'hacheur survolteur.
 P&O : Perturbation et l'observation.
 IC : Conductance incrémentielle.
 THT : Très Haute Tension (les games de tension supérieure à 220kV).
 HTB : Haute Tension (les games de tension entre 60kV et 400kV).
 HTA : Haute Tension (les games de tension inférieure à 50 kV).
 HT : Haute Tension (les games de tension supérieure à 50 kV).
 MT : Moyenne tension (les games de tension entre 5kV et 30kV).
 BT : Basse tension (les games de tension entre 220V kV et 380V).
 OS : Opérateur Système.
 SONELGAZ : Société Nationale d'Electricité et de Gaz.
 GRTE : Gestionnaire du Réseau de Transport Électrique.
 CNC : Centre National de Conduite.
 CRC : Centre Régional de Conduite.
 Φ : Diamètre de cable conducteur ou de jeu de barre.
 I_{eff} : Valeur efficace du courant.
 I_n : Courant nominal.
 CCN : Commande Contrôle Numérique.
 TSA : Transformateur Source Auxiliaires.
 END : Energie Non Distribué.
 THD : Taux de Distorsion Harmonique.
 PCC : Point de Couplage Commun.
 P_{disp} : Puissance disponible obtenue à partir des mesures réelles.
 P_{mo} : Puissance active de la bande morte.
 P_{min} : Puissance active minimale.
 P_{PCC} : Pissance active au point de commun couplage.

P_{GRTE} : Puissance transmise par GRTE.
 P_{PCC}^* : Puissance active au point de consigne de couplage commun.
 U_n : Tension nominale.
 f_n : fréquence nominale.
 CC : Courant Continu.
 CA : Courant Alternatif.
 TIM : Temps d'Interruption Moyen.
 SAIFI : La moyenne de fréquence de coupure du système Électrique (System Average Interruption Frequency Index).
 SAIDI : La moyenne de la durée de coupure du système Électrique (System Average Interruption Duration Index).
 CAIDI : La moyenne de durée de coupure des clients (Customer Average Interruption Duration Index).
 CIC : Le coût de coupure des clients (Customer Interruption Cost).
 CHI : Nombre d'heure de coupure de l'alimentation des clients (Customer Hours Interruption).
 ASAI : La moyenne de disponibilité de service (Average Service Availability Index).
 N_i : Nombre d'heures pour entretiens fortuits suite incidents.
 U_i : Nombre d'heures pour entretiens programmés.
 i : Nombre des clients connectés au réseau.
 INC/100 km : représente le paramètre incident ligne enregistré chaque 100Km.
 MFD : Mauvais Fonctionnement Disjoncteur.
 MFP : Mauvais Fonctionnement Protection.
 Z : Impédance du câble conducteur (ohms).
 Z_0 : Impédance linéaire du câble conducteur (ohms)
 \mathcal{R} : La résistance linéaire d'un conducteur à 20 °C.
 R_0 : résistance linéaire du câble conducteur (ohms).
 d_{moy} : Diamètre moyen du câble conducteur (mm).
 X_0 : Réactance linéaire du câble conducteur.
 b_0 : susceptance linéaire du câble conducteur.
 F50-F51 : Protection à maximum de courant côté primaire.
 BPN : Bobine Point Neutre.
 F51N : Protection à maximum de courant Neutre 30kV ou Neutre BPN 10 kV.
 67N : Protection à maximum de courant de terre directionnelle à temps inverse.
 81H/81 L : Relai maximum de fréquence / relai minimum de fréquence.
 27/59 : Protection minimum de tension/ Protection maximum de tension.
 CSP : Concentration de la puissance solaire (Concentrated Solar Power).
 TVA : Taux sur la Valeur ajoutée.
 Γ : impédance de la ligne.
 Z' : Admittance linéique de la ligne.
 Y' : Admittance linéique de la ligne.
 r_{equi} : Rayon équivalent du faisceau.
 r_c : Rayon des conducteurs.
 r_T : Rayon du cercle formé par le faisceau.

n : Nombre de conducteurs par faisceau.

s : La section du câble.

ρ : La résistivité du matériau du conducteur ($1,8 \times 10^{-8}\Omega\cdot m$ pour le cuivre, $3 \times 10^{-8}\Omega\cdot m$ pour l'aluminium).

τ : Le coefficient de température est la différence en kelvins entre la température et $20\text{ }^\circ\text{C}$.

BS : Poteau à bouts soudés.

TVC : Tout Venant de Carrière.

CPA : Ciment Portland Artificiel).

Table de matière

Liste des tableaux.....	7
Liste des figures.....	8
Liste des symboles et abréviations.....	13
Table de matière	17
Liste des publications.....	22
Introduction générale	23
Plan de la thèse.....	23
CHAPITRE N°1 : Introduction aux sources d'énergie électrique.....	26
1.1. Introduction.....	27
1.2. Les sources conventionnelles des énergies électriques dans le monde	27
1.3. Les Energies renouvelables dans le monde	27
1.4. Energie éolienne	28
1.5. Bio-énergie	28
1.6. Energie géothermique	28
1.7. Energie hydroélectrique.....	28
1.8. Energie nucléaire	28
1.9. Energie photovoltaïque	29
1.10. L'énergie photovoltaïque dans le monde	30
1.11. L'énergie photovoltaïque en Algérie	31
1.12. Conclusion	31
CHAPITRE N°2 : Les systèmes photovoltaïques	32
2.1. Introduction.....	33
2.2. Historique de la technologie photovoltaïque	33
2.3. Effet photovoltaïque	33
2.4. Constitution d'un générateur photovoltaïque	34
2.5. Panneau photovoltaïque	35
2.6. Générateur photovoltaïque	36
2.7. Cellule photovoltaïque (solaire)	36
2.8. Matériaux.....	36
2.9. Phénomène à l'intérieur de la cellule photovoltaïque	36
2.10. Paramètres d'identification des panneaux photovoltaïque	37
2.11. Modélisation du générateur photovoltaïque	37
2.12. Modèle à une seule diode	37
2.13. Influence des différents paramètres sur la caractéristique du photovoltaïque	38
2.14. Influence de la température sur les modules	39
2.15. Influence du rayonnement sur les modules photovoltaïque	40
2.16. Energie totale absorbée par un panneau photovoltaïque	41
2.17. Rendement d'un panneau photovoltaïque	42
2.18. Indices de performance des panneaux photovoltaïque	42
2.19. Evaluation des performances des panneaux photovoltaïque	44
2.20. Association des modules photovoltaïque	44
2.21. Association en série	44

2.22. Association en parallèle	45
2.23. Association hybride (en série et en parallèle)	45
2.24. Etage d'adaptation	46
2.25. Convertisseur Continu-Continu (Hacheurs)	47
2.26. Hacheur survolteur (Boost).....	47
2.27. Hacheur dévolteur (Buck).....	47
2.28. Hacheur dévolteur-survolteur (buck-boost).....	48
2.29. Commande MPPT.....	48
2.30. Les méthodes MPPT.....	49
2.31. Technique de la perturbation puis observation (P&O)	49
2.32. Avantages de l'énergie photovoltaïque	50
2.33. Inconvénients de l'énergie photovoltaïque	51
2.34. Conclusion.....	51
CHAPITRE N°3 : Intégration des panneaux photovoltaïque pour alimenter les auxiliaires d'un poste	
THT.....	52
3.1. Introduction.....	53
3.2. Identification et fonctionnement du réseau HTB	54
3.3. Identification des équipements poste	55
3.4. Equipements haute tension.....	55
3.5. Equipements basse tension.....	55
3.6. Situation normale.....	56
3.7. Manœuvre suite incident	56
3.8. Les organes de coupure	57
3.9. Sectionneur.....	57
3.10. Disjoncteur	57
3.11. Classification des disjoncteurs	57
3.12. Description d'un disjoncteur	58
3.13. Constitution d'un pôle de disjoncteur	58
3.14. Type des Commandes de disjoncteur	58
3.15. Identification et description des auxiliaires du poste.....	58
3.16. Services auxiliaires à courant alternatif normaux.....	58
3.17. Service auxiliaire à courant alternatif de secours.....	59
3.18. Services auxiliaires à courant continu.....	59
3.19. Protections.....	59
3.20. Identification des protections lignes de transports (220kV)	60
3.21. Identification des protections lignes de répartitions (90kV et 60 kV).....	60
3.22. Identification des protections transformations.....	60
3.23. Protections externes.....	60
3.24. Protections internes.....	61
3.25. Mesures.....	61
3.26. Comptage.....	61
3.27. Enregistreurs de puissance active et réactive	61
3.28. Enregistreurs des défauts.....	61

3.29. Enregistreur de manœuvre et de signalisation.....	61
3.30. Amélioration de la fiabilité des auxiliaires du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR.....	64
3.31. Les auxiliaires du poste EL HADJAR.....	65
3.32. Les schémas unifilaires du poste EL HADJAR.....	68
3.33. Historique des incidents enregistrés au poste EL HADJAR.....	71
3.34. Résultats des simulations	74
3.35. Résultats et graphes.....	74
3.36. Discussion des résultats.....	76
3.37. Conclusion.....	76
CHAPITRE N°4 : Fonctionnement de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT et études pour l'amélioration des paramètres de qualité de service.....	77
4.1. Introduction.....	78
4.2. Présentation générale de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT.....	78
4.3. Description de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT.....	79
4.4. Caractéristiques des panneaux photovoltaïque de la centrale OUED KEBRIT.....	80
4.5. Caractéristique des onduleurs de la centrale OUED KEBRIT	84
4.6. Schéma signe optique de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT.....	84
4.7. Parc des énergies renouvelables en Algérie	87
4.8. Données météorologiques de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT.....	88
4.9. Analyse du taux de distorsion harmonique (THD).....	90
4.10. Code de réseau	90
4.11. Historique des incidents enregistrés à centrale photovoltaïque OUED KEBRIT	91
4.12. Causes des coupures d'électricité lors des incidents enregistrés sur le réseau.....	91
4.13. Contrôle de la centrale selon le code de réseau	91
4.14. Mesures des différentes grandeurs électriques	96
4.15. Mesures des puissances.....	97
4.16. Connexion des onduleurs étage A et B	99
4.17. Mesure des grandeurs météorologiques	100
4.18. Surveillance météorologique.....	101
4.19. Incident et fiabilité de fonctionnement des centrales photovoltaïque.....	101
4.20. Les paramètres de qualité de service (PQS).....	102
4.21. Le paramètre Energie Non Distribuée (END).....	102
4.22. Le paramètre taux d'END	102
4.23. Le paramètre TIM	102
4.24. Le paramètre SAIFI	102
4.25. Le paramètre SAIDI	103
4.26. Le paramètre CAIDI	103
4.27. Le paramètre CIC	103
4.28. Le paramètre ASAI	103
4.29. Le paramètre Pertes réseau	104
4.30. Le paramètre INC/100 km	104
4.31. Le paramètre MFD	104
4.32. Le paramètre MFP.....	104

4.33. Les paramètres Électriques de la ligne 90kV EL AOUNET /OUED KEBRIT.....	104
4.34. Plan de protections au niveau de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT.....	108
4.35. Protections pour la barre 30kV.....	108
4.36. Protections pour les transformateurs principaux.....	108
4.37. Protections pour le départ ligne	108
4.38. Stratégie de contrôle modifiée appliquée à la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT.....	109
4.39. Conclusion.....	113
CHAPITRE N°5 : Etude d'amélioration de l'intégration de l'énergie solaire.....	121
5.1. Introduction.....	122
5.2. Intégration des energies renouvelables en Algérie	122
5.3. Objectifs du programme des enrgies renouvelables en Algérie à l'horizon de 2030.....	122
5.4. Le cadre réglementaire et incitatif des des enrgies renouvelables.....	126
5.5. Loi n° 11-11 du 18 juillet 201.....	126
5.6. Décret exécutif n°11-423 du 08 décembre 2011.....	126
5.7. Décret exécutif n°13-218 du juin 2013.....	126
5.8. Décret exécutif n°13-424 du 18 décembre 2013	126
5.9. Arrêtés ministériels du 02 février 2014.....	127
5.10. Loi n° 11-11 du 18 juillet 2011.....	127
5.11. Les centrales des enrgies renouvelables en Algérie sont les suivantes.....	128
5.12. Problématique de la centrale OUED KEBRIT.....	129
5.13. Caractéristique de la ligne 30kV OUED KEBRIT / EL AOUNET	129
5.14. Modélisation des lignes électriques	132
5.15. Modélisation en Pi des lignes électriques	132
5.16. Modélisation d'une ligne électrique longue	132
5.17. Modélisation d'une ligne électrique sans perte.....	134
5.18. Modélisation d'une ligne électrique courte.....	134
5.19. Nombre de Pi à utiliser	134
5.20. Conducteur équivalen t.....	135
5.21. Etudes des solutions pour la problématique.....	136
5.22. Etude variante N°01.....	136
5.23. Remplacement des câbles conducteurs.....	138
5.24. Déroulage des câbles conducteurs.....	140
5.25. Plan de déroulage.....	141
5.26. Dispositions préliminaires durant d'haubanage des pylons.....	142
5.27. Confection des manchons.....	142
5.28. Réglage des cables.....	142
5.29. Mise sur pince des câbles électriques.....	145
5.30. Travaux de dépose des câbles.....	145
5.31. Estimation quantitative de l'étude de la variante N°01.....	146
5.32. Etude de la variante N°02.....	148
5.33. Pylônes choisis dans l'étude de la variante N°2.....	149
5.34. Surmassifs du génie civil du poteau BS.....	150
5.35. Détail du génie civil du poteau BS.....	150

5.36. Isolateurs utilisés dans l'étude de la variante N°2.....	151
5.37. Caractéristiques des chaînes isolateurs type d'ancrage double.....	152
5.38. Caractéristiques des chaînes de suspension simple.....	153
5.39. Etude variante N°2.....	154
5.40. Profil en long de l'étude de la variante N°2.....	154
5.41. Simulation de l'étude de la variante N°2.....	155
5.42. Simulation traversée de l'étude de la variante N°2.....	155
5.43. Simulation flèche de l'étude de la variante N°2.....	156
5.44. Estimation quantitative de l'étude de la variante N°02.....	157
5.45. Etude variante N°3.....	161
5.46. Donnée de la variante N°3.....	162
5.47. Travaux de génie civil.....	162
5.48. Travaux de terrassement.....	162
5.50. Réalisation des caniveaux	162
5.51. Mise en place de tout venant de carrière (TVC)	162
5.52. Mise en place des coffrages	182
5.53. Mise en place du ferrailage.....	163
5.54. Mise en œuvre du béton	163
5.55. Préparation du béton	164
5.56. Mise en place du béton	164
5.57. Description technique des matériaux.....	164
5.58. Gravier.....	164
5.59. Sable	164
5.60. Ciment	164
5.61. Eau de gâchage	165
5.62. Acier	165
5.63. Confection des boîtes de jonction	165
5.64. Remise en état des lieux	166
5.65. Estimation quantitative de l'étude de la variante N°03	166
5.66. Les simulations des études	170
5.67. Simulation de la centrale photovoltaïque raccordée au réseau.....	170
5.68. Simulation du réseau connecté à la centrale photovoltaïque d'OUED KEBRIT.....	171
5.69. Résultat des simulations de l'étude de la variante N°01.....	172
5.70. Comparaison des avantages et des inconvénients des trois variantes d'études.....	177
5.71. Avantages et inconvénients de la variante d'étude N°1.....	177
5.72. Avantages et inconvénients de la variante d'étude N°2.....	178
5.73. Avantages et inconvénients de la variante d'étude N°3.....	179
5.74. Comparaison des paramètres électriques des trois variantes d'études.....	180
5.75. Conclusion.....	182
6.1. Conclusion générale.....	183
6.2. Perspectives.....	184
6.3. Bibliographie.....	185

Liste des publications :

1. Badache.Bahriya, Labar.Hocine, Kelaiaia.Mounia Samira, “Study to Improve the Technical Parameters for the Optimising the Injection of the photovoltaïque Energie y into an Electrical Network via a Line 30 kV”. In Proc. Int Conf on Electrical Engineering and Control Applications. 4th ICEECA. In Constantine, Algeria, 2019, vol 682. ISBN 978-981-15-6403-1, doi: 10.1007/978-981-15-6403-1-38
2. Badache. Bahriya, Labar. Hocine, Kelaiaia. Mounia Samira, “Reliability improvement of the auxiliary equipment at high voltage transformer by solar power energie y supply”. In Proc. Int Conf. EEEIC20, 04th I/CPF Europe in Madrid, Spain, 2020, pp. 311-315, ISBN 978-1-7281-7453-2.
3. Badache.Bahriya, Labar.Hocine, Kelaiaia.Mounia Samira, “Reliability indices improvement according to grid code compliance applied to photovoltaïque power plants (Algerian grid code case study)”, International Journal of Emerging Electric Power Systems, <https://doi.org/10.1515/ijeeps-20230242>, June 2024.

Introduction générale :

Il est désormais essentiel d'examiner l'équilibre futur entre l'offre et la demande d'énergie dans le cadre de la crise mondiale actuelle, résultant des choix de développement de l'humanité. La crise pétrolière des années soixante-dix (70) a été un premier signal concernant notre dépendance à une Energie facilement accessible et les limites d'un modèle basé sur l'exploitation illimitée (sans retenue) des ressources naturelles, tout en croyant en une énergie inépuisable dans un monde fini. Malgré cela, les choix fondamentaux n'ont pas changé. Aujourd'hui, nous constatons que, sans renoncer aux défis liés à l'approvisionnement énergétique d'une population croissante et à l'amélioration de ses conditions de vie, il est crucial de transformer le modèle actuel. Les impacts de ce dernier deviennent de plus en plus évidents et inquiétants, notamment en ce qui concerne l'environnement, avec des problématiques telles que le changement climatique et la perte de biodiversité, mais aussi l'épuisement des ressources et la multiplication des risques technologiques. Sur le plan humain, les inégalités se creusent, les populations se déplacent et les tensions augmentent. Cette situation critique ne garantit pas une résolution pacifique de la crise, et bien que des signes positifs existent, les résistances aux changements demeurent fortes. Il est donc nécessaire d'envisager un monde qui s'engage vers la neutralité climatique d'ici 2050, visant un bilan zéro émission nette pour tous les gaz à effet de serre [1]. L'objectif de limiter le réchauffement climatique représente une occasion de développer les sources d'énergie décarbonées, telles que le nucléaire et les ENR. Une baisse des coûts des ENR, notamment éolienne et solaire, favorise une décarbonation profonde de la production électrique, complémentaire aux sources traditionnelles [2]. Avant de mettre en œuvre le projet des ENR dans l'industrie et le marché, des études théoriques sont mises en place dans les organisations industrielles et les centres de recherche, utilisant ainsi des logiciels permettant une validation des simulations. En effet dans le cadre de cette thèse cinq logiciels ont été utilisés à savoir : l'environnement MATLAB/Simulink, l'Autocad, PLS-CADD, PLS-POLE et NC Etuding line.

Plan de la thèse :

Cette thèse comprend cinq chapitres, tout d'abord une introduction aux sources d'énergie électrique, les sources conventionnelles des énergies électriques mondialement, tandis qu'une présentation des Energies renouvelables à travers le monde est évoquée dans le premier chapitre.

D'abord dans le second chapitre, décrit les systèmes photovoltaïques, l'historiquement de cette technologie, ensuite explique le fait naturel à l'intérieur des cellules photovoltaïques, de plus la modélisation de générateur photovoltaïque, influence des différents paramètres sur la caractéristique du panneau photovoltaïque : Energie totale absorbée par un panneau photovoltaïque, indices de performance des panneaux photovoltaïques, puis évaluation des performances des panneaux photovoltaïques, enfin comparaison des avantages et desavantages de l'énergie photovoltaïque

Le troisième chapitre, présente une étude technico-économique de l'intégration des panneaux photovoltaïque pour l'alimentation des auxiliaires d'un poste THT (étude de cas réel du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR), les points importants discutés dans ce chapitre : l'identification et le fonctionnement du réseau HT, identification des équipements poste et description de ses auxiliaires et protections, une étude technico- économique sur les incidents enregistrés au poste EL HADJAR avec des simulations sur logiciel MATLAB avec analyse des résultats.

Le quatrième chapitre, est consacré au fonctionnement de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT, puis sa présentation détaillée, (sa description à savoir : ses équipements, spécification des panneaux photovoltaïques, et caractéristiques des onduleurs), ensuite une présentation du parc des énergies renouvelables en Algérie, des données météorologiques, ensuite historique des incidents enregistrés au niveau de la dite centrale photovoltaïque , explication du code réseau appliqué et des paramètres de qualité de service (PQS), en suite détail du plan de protection au niveau de la centrale photovoltaïque oued kebrit (Protections des transformateurs, Protections de la barre 30kV, Protections de départ ligne) et à la fin dite chapitre une proposition d'une stratégie de contrôle modifiée appliquée à la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT pour l'amélioration des paramètres de qualité de services.

Le cinquième chapitre est dédié à une étude d'amélioration de l'intégration de l'énergie solaire, intégration des énergies renouvelables (ENR) en Algérie avec leur objectif à l'horizon de 2030, détail du cadre réglementaire (Loi, Décret exécutif et arrêtés ministériels), dans ce chapitre des solutions de la problématique de la centrale OUED KEBRIT sont proposées, que son investissement est prévu pour produire une capacité de 15MWhc, cependant sa production est limitée à 12MWhc, c'est pour cette raison qu'une étude de fiabilisation de la ligne est nécessaire. Dans ce chapitre élaboration de trois variantes d'études pour l'amélioration des paramètres de qualité de service à savoir : Variante N°01 (étude pour le remplacement des câbles conducteurs de la ligne existante). Variante N°02 (Etude pour la construction d'une nouvelle ligne 30kV). Variante N°3 (Etude de construction d'une liaison souterraine avec un câble sous-terrain), ces

études consistent à améliorer des paramètres techniques pour l'optimisation de l'injection de l'énergie photovoltaïque de la centrale dans un réseau électrique à la fin de ce chapitre une simulation des trois variantes d'études avec comparaison des paramètres : Technico-économiques, électriques ainsi que les avantages et inconvénients des trois variantes d'études.

CHAPITRE N°1 :

Introduction aux sources d'énergie électrique

1.1. Introduction :

Les énergies renouvelables sont des énergies naturelles et inépuisables et qui se renouvellent rapidement à l'opposé des énergies fossiles à titre d'exemple le gaz, le pétrole et le charbon.

Ces énergies renouvelables présentent un impact environnemental minimal, autrement dit qu'elles ne génèrent pas de déchets toxiques ni de gaz à effet de serre à grande échelle. L'utilisation des énergies renouvelables est recommandée pour limiter les effets de serre à un niveau considéré également tolérable, autrement dit envisageant la trajectoire de plus de 1,5°C aux horizons de l'année 2100. Cependant pour atteindre l'objectif « faible carbone » ce monde est dans l'obligation d'être économe en ressources fossiles, le même principe s'applique à chaque pays comme à l'échelle mondiale [1]. L'usage intense d'énergies polluantes pour la production d'électricité mondialement est remis en question par les efforts de lutte contre le changement climatique. Cependant les énergies renouvelables offrent des bénéfices à long terme [2].

1.2. Les sources conventionnelles des énergies électriques dans le monde :

Actuellement, le mix électrique mondial est principalement dominé par les énergies fossiles (charbon, fioul et gaz), qui représentent deux tiers de la production d'électricité. Le reste provient du nucléaire (10 %) et des énergies renouvelables (26 %), réparties comme suit : énergie hydraulique (16 %), énergie éolienne (5 %), énergie biomasse (3 %) et énergie solaire (2 %).

Le contenu en CO₂ de l'électricité produite est d'environ 500 g/kWh, avec les centrales à charbon contribuant à hauteur de 30 % des émissions globales. Parmi les dix pays producteurs d'électricité, la Chine et l'Inde affichent un mix très carboné, tandis que la France bénéficie d'un avantage avec un mix nucléaire et renouvelable largement décarboné (~ 50 g/kWh) [2].

1.3. Les énergies renouvelables dans le monde :

A l'échelle mondiale, la capacité installée d'électricité renouvelable atteint 2 179 GW, représentant près de 6 000 TWh, soit environ 23 % de la production mondiale d'électricité. En 2017, 167 GW supplémentaires d'énergies renouvelables ont été installés, représentant 70 % de la nouvelle capacité, soit plus du double des combustibles fossiles. L'analyse de rentabilité des énergies renouvelables devient de plus en plus favorable, avec une chute de 73 % du coût moyen de l'électricité des panneaux solaires depuis 2010, et une baisse de 23 % pour les éoliennes terrestres [3]. Ces technologies matures et compétitives se développent rapidement, avec environ 100 GW de solaire et 60 GW d'éolien installés chaque année. Ce développement s'accompagne d'un

ralentissement des nouvelles centrales au charbon 50 GW en 2018 et d'une accélération des fermetures de capacités existantes 30 GW [2].

1.4. Energie éolienne :

L'énergie éolienne, dérivée de l'énergie solaire, résulte d'un réchauffement inégal de la surface terrestre par le soleil, qui génère des vents. Une turbine éolienne convertit l'énergie cinétique du vent en énergie de rotation, puis en électricité. Le potentiel éolien par unité de surface est facilement estimable, avec des rendements autour de 50 %. Malheureusement, placer une éolienne dans l'immédiate proximité d'une autre engendre des perturbations, le sillage de l'une influençant fortement le fonctionnement de l'autre et conduisant à une chute de leurs rendements respectifs. Cependant, la proximité des éoliennes peut réduire leur efficacité à cause des perturbations engendrées par une diminution de la vitesse des courants d'air. [2] [4].

1.5. Bio-énergie :

La photosynthèse, sous l'effet du soleil, permet de synthétiser des substances organiques essentielles à partir de l'eau, du dioxyde de carbone et quelques minéraux. Les bio-énergies représentent une forme de stockage de l'énergie solaire, libérable par dégradation des produits de photosynthèse. Ces substances photosynthétisées possèdent des potentiels énergétiques supérieurs aux substances d'origine. Les combustibles fossiles, que nous cherchons à remplacer, proviennent également de bio-énergies accumulées sur des millions d'années. Toutefois, la photosynthèse a un rendement faible, atteignant 3 % dans les conditions naturelles [4].

1.6. Energie géothermique :

L'énergie géothermique provient principalement de la désintégration radioactive de certains éléments tels que l'uranium 235 et 238, le thorium 232 et dans une moindre mesure de l'isotope potassium 40. Cette énergie peut être estimée par la loi de Fourier, avec un flux moyen d'environ 0,06 W/m². Ce potentiel peut augmenter près des aquifères ou sur des dorsales [4].

1.7. Energie hydroélectrique :

L'énergie hydroélectrique est d'origine solaire, où la chaleur du soleil transforme l'eau en vapeur, qui retombe sous forme de pluie. Le potentiel hydroélectrique d'un pays dépend des précipitations et du relief, les régions montagneuses contribuant le plus en raison de l'altitude et de la pluviométrie [4].

1.8. Energie nucléaire :

L'énergie nucléaire est générée par la chaleur libérée lors de réactions nucléaires dans les centrales nucléaires. Ce processus est dû à la fission, qui consiste en la division du noyau d'un atome. Il est important de noter qu'une centrale nucléaire fonctionne de manière similaire à une centrale thermique, à la différence près que la chaudière utilisant des combustibles fossiles est remplacée par un réacteur contenant du combustible nucléaire. À l'intérieur du réacteur, des réactions de fission se produisent (exemple l'uranium 235), libérant ainsi une grande quantité de chaleur utilisée pour produire de la vapeur analogue à une centrale thermique classique et, par conséquent, de l'électricité [2] [5].

1.9. Energie photovoltaïque :

L'énergie solaire, ou photovoltaïque, est produite par la conversion directe de la lumière en électricité via des cellules photovoltaïques. Au niveau des systèmes photovoltaïques existe les modules photovoltaïque ces derniers produisent un rendement qui dépend principalement du niveau de rayonnement. Ils sont reliés aux conditions extérieures données qui est caractérisé par une courbe I-V présentée dans la figure 1.1. La puissance du module photovoltaïque dépend essentiellement du Point de fonctionnement à Puissance Maximale (PPM) [6] [7], (plus d'informations à ce sujet seront détaillées dans le chapitre N°2).

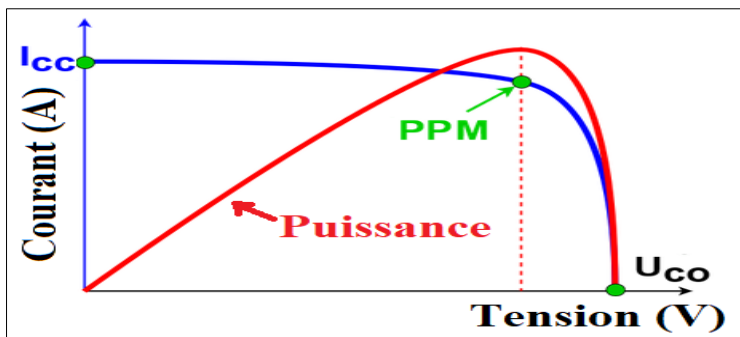


Figure 1.1. Caractéristique électrique (I-V) d'un module photovoltaïque

La constante solaire qui représente l'intensité moyenne de la lumière hors atmosphère est d'environ 1353 W/m² [6] [8], à titre d'exemple comme illustré dans la figure 1.2 la variation temporelle du rayonnement durant une journée d'été enregistré au niveau de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT dans la wilaya de SOUK AHRAS (le 12 Aouts 2021).

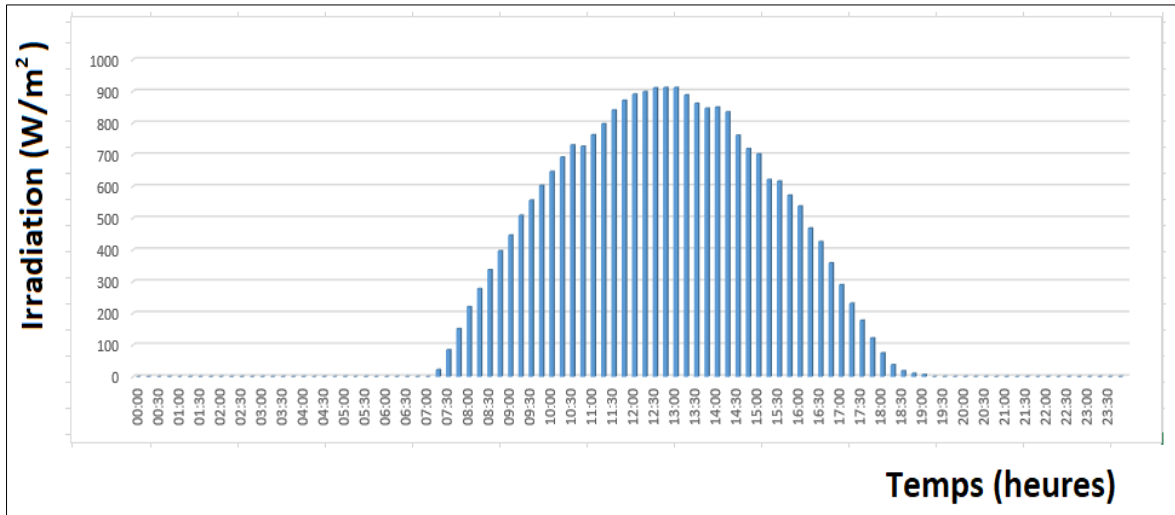


Figure 1.2. Variation temporelle du rayonnement enregistré le 12 Aouts 2021

Au niveau de la centrale Photovoltaïque d'OUED KEBRIT à Souk Ahras.

Sur une période de 24 heures, sur la terre complète, la densité énergétique moyenne est de 0,2 kW/m², puisque cette densité énergétique globale est relativement faible, cela nécessite de grandes surfaces qui seront indispensables pour une production énergétique importante, à titre d'exemple, pour produire 01 GW de puissance, pour un rendement de conversion de 20 % cela nécessite une surface d'environ de 5 km [6] [9].

1.10. L'énergie photovoltaïque dans le monde :

L'énergie générée par le soleil est d'environ $1,6 \times 10^{23}$ kW·s, dont $8,0 \times 10^{13}$ kW atteignent la surface de la terre, ce qui équivaut à $6,0 \times 10^9$ t de charbon. Selon au calcul, l'énergie annuelle générée totale par l'ensoleillement atteignant la surface de la terre est égal à $1,89 \times 10^{13}$ milliards de tonnes de charbon. C'est environ 10 000 fois le courant principal en- réserves d'énergie à l'échelle mondiale. L'énergie solaire est donc une quantité infinie source d'énergie renouvelable très utilisée. D'autre part, l'écart entre la demande et l'offre de ce pouvoir est actuellement étendu dans le monde entier. Selon les États-Unis rapport des Nations Unies (ONU), il y a un déficit de 21 à 85 % de plusieurs pays qui augmente de 7 à 15 % chaque année [10].

Les premières applications remontent aux années 60, avec l'équipement de satellites spatiaux. A partir de 1970, les premières utilisations terrestres ont été orientées vers l'électrification de sites isolés. La conversion photovoltaïque de l'énergie solaire peut répondre à une demande croissante des énergies renouvelables et est considérée comme un acteur clé dans l'approvisionnement énergétique mondial. Plus cette technologie sera développée et plus des méthodes de production

d'électricité solaire à moindre coût seront mises en œuvre, plus sa part dans le mix énergétique mondial augmentera [7].

1.11. L'énergie photovoltaïque en Algérie :

L'Algérie bénéficie d'un ensoleillement moyen quotidien de 3 kWh par mètre carré, avec certaines zones désertiques atteignant jusqu'à 7 kWh. Ainsi, il n'existe pas de contrainte en termes de ressources pour cette source d'énergie. Les régions désertiques du grand Sahara reçoivent jusqu'à 2900 kWh/m² par an, représentant un potentiel considérable pour le développement de l'énergie photovoltaïque.

1.12. Conclusion :

Les énergies renouvelables, sous toutes ses formes, représente une opportunité incontournable pour répondre aux défis énergétiques mondiaux et environnementaux. En intégrant des technologies comme l'énergie photovoltaïque, les pays, y compris l'Algérie, peuvent exploiter leurs ressources naturelles pour garantir un approvisionnement énergétique durable tout en réduisant leur empreinte carbone. Le développement de ces sources d'énergie est non seulement crucial pour la transition énergétique, mais aussi pour la création d'emplois et la stimulation de l'économie locale.

CHAPITRE N°2 :

Les systèmes photovoltaïques

2.1. Introduction :

L'énergie photovoltaïque dépend du soleil. Cette énergie génère l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques, grâce à la lumière solaire captée par les panneaux solaires. L'énergie solaire est propre, n'émet aucun gaz à effet de serre en plus sa matière première est gratuite. Le photovoltaïque devient important en tant que source renouvelable, il est inépuisable et ultime comme source d'énergie, le système photovoltaïque peut être utilisé dans le stockage (batterie, condensateur ou bobine ... etc.), véhicule, réseau connecté avec un système photovoltaïque avec pompage d'eau sans bruit et installation simple, c'est aussi une source disponible et propre.

Un générateur photovoltaïque est composé d'un ensemble de cellules photovoltaïques montées d'une façon en série et ou bien en parallèle pour l'obtention des objectifs des caractéristiques Électriques admissibles à titre d'exemple le courant de court-circuit, la puissance, la tension en circuit ouvert.

Les sorties photovoltaïques ont des caractéristiques non linéaires, il est donc nécessaire de fonctionner au point de puissance maximale du panneau solaire, ce point change avec l'irradiation et la température. De nombreux algorithmes MPPT ont été développés et implémentés, dans lesquels chacune de ces méthodes a ses avantages et ses inconvénients [7].

2.2. Historique de la technologie photovoltaïque :

La découverte des cellules photovoltaïques a été en 1839 par le physicien Français Becquerel Antoine, le terme « photovoltaïque » est d'origine Grec "photos" veut dire « lumière » tandis que le terme « voltaïque » du physicien "Alessandro volta" d'origine Italien [8]. Cette conversion appelée effet photovoltaïque est utilisée au niveau des cellules en énergie électrique à travers la production aussi le transport des charges électriques sous le phénomène de transformation de la lumière dans un matériau semi-conducteur. L'énergie photovoltaïque représente l'électricité produite par l'effet de la transformation partielle du rayonnement du soleil à travers une cellule photovoltaïque [6].

2.3. Effet photovoltaïque :

La production d'énergie photovoltaïque est une technologie qui utilise la transformation directe de l'énergie parvenue du soleil autrement dit la lumineuse en électrique sous l'effet photovoltaïque de l'interface des semi-conducteurs [6] [8]. Pour générer un courant électrique continu, il est nécessaire de créer une différence de potentiel entre les bornes de la cellule cela consiste à utiliser les photons pour libérer les électrons. L'énergie solaire est gratuite et disponible mondialement sur la terre cela l'a rendue avantageuse par rapport aux autres énergies renouvelables, [8].

Les cellules solaires constituent l'élément clé le plus important de cette technologie. Après une série de protection encapsulée de cellules solaires, elle pourrait former un module de cellules solaires de grande surface, couplé au contrôleur d'alimentation et à d'autres composants pour former un dispositif du système photovoltaïque.

Une cellule photovoltaïque est concrétisée au moyen de (02) couches de la matière Silicium avec un dopage au bore (P) et dopage au phosphore (N) pour chacune respectivement afin de créer une jonction PN caractérisée par une barrière de potentiel.

Quand le semi-conducteur absorbe les photons, leur énergie est transmise aux atomes au niveau de la jonction PN de cela engendre la libération des électrons de ces atomes et la création des électrons avec des charges N et des trous avec des charges P.

De ce fait la création d'une différence de potentiel (DDP) entre les deux couches avec une charge continue, d'où la récolte des porteurs [6].

Dans les semi-conducteurs les électrodes métalliques sont repérées par leur fonction de sortie, dans la figure 2.1 est indiqué les orbitales LUMO et HOMO en trait plein coloré en bleu, tandis que « l'hétérojonction en volume » est assimilée à un semi-conducteur. Les substrats d'oxyde d'indium dopé à l'étain (ITO) [9].

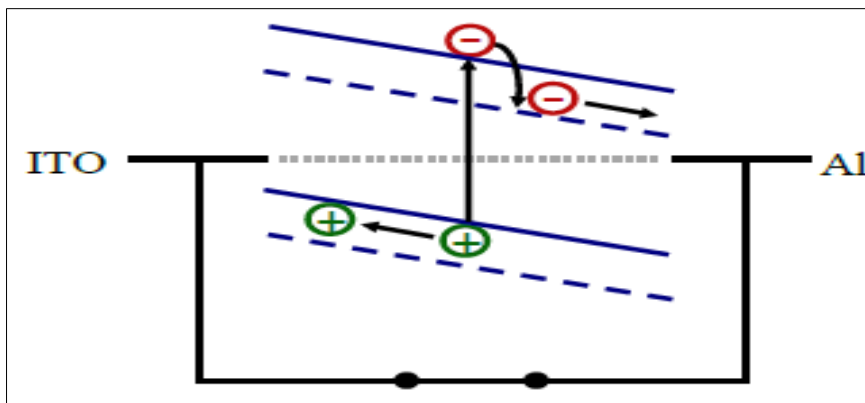


Figure 2.1. Modèle métal-isolant-métal [9].

Le principe de fonctionnement d'une cellule solaire peut être résumé en cinq étapes comme l'illustre la figure 2.2 :

- L'étape (1) représente la création d'un exciton et l'absorption d'un photon.
- L'étape (2) représente la propagation de l'exciton.
- L'étape (3) représente la séparation de l'exciton en porteurs de charge libres.
- L'étape (4) représente le transport des charges.
- L'étape (5) représente l'extraction des charges « Couche de transport des trous : CTT » [9].

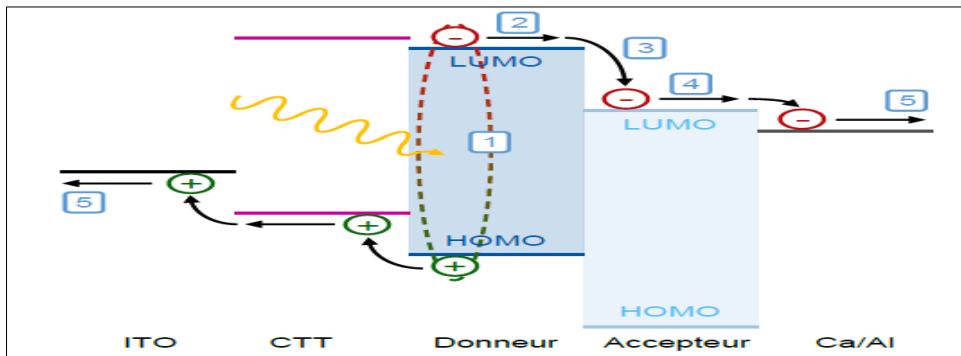


Figure 2.2. Structure de bandes explicitant les étapes du fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [9].

La tension de circuit ouvert « V_{OC} » pour un courant nul donne la tension maximale,

Lors de court-circuit des bornes de la cellule Le courant maximal se produit « I_{CC} » cela dépend aussi du niveau d'éclairement. Figure 2.3 [6].

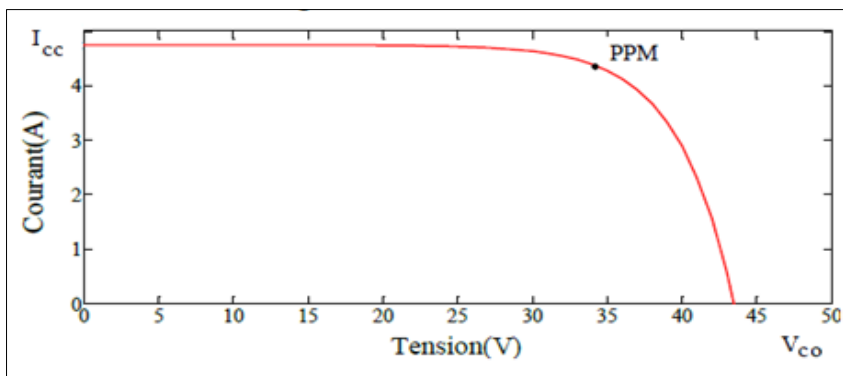


Figure 2.3. Caractéristique courant-tension d'un panneau photovoltaïque

2.4. Constitution d'un générateur photovoltaïque :

Une source photovoltaïque ou générateur photovoltaïque est composé notamment par :

2.5. Panneau photovoltaïque :

Un système photovoltaïque est représenté par des panneaux (modules) photovoltaïque qui sont constitués de cellules individuelles.

Ces cellules individuelles produisent des puissances électrique très faibles « unité de base » plus précisément des valeurs entre 1 Watt et 3 Watt et une tension inférieure à 1 Volt.

L'unité de mesure des puissances des installations est le Watt crête « W_c ».

Le W_c représente la puissance produite par un module photovoltaïque pour un éclairement normal c'est à dire de 1 kW/m^2 dans une température de 25°C . [6] [8].

Afin d'assurer une grande production de puissance, il est nécessaire de connecter en série plusieurs cellules cela pour élever la tension du même courant, néanmoins la connection de plusieurs cellules

en parallèle augmente le courant en gardant la même tension. La puissance crête produite sous un ensoleillement max sera relative à la surface du module photovoltaïque. La productivité Électrique ou le rendement représente le résultat du rapport de la puissance lumineuse incidente sur la puissance électrique produite. Les modules photovoltaïques actuellement disponibles dans le marché permettent des rendements électriques dans l'intervalle [5% - 15%] [8]. L'ensemble de la durabilité des modules photovoltaïques est assuré par la robustesse de leur vitrine avant et l'étanchéité sous vide fournie par leur vitre arrière soudée sous vide.

2.6. Générateur photovoltaïque :

La connexion des modules photovoltaïques entre eux, connexion en série ou en parallèle, dans le but d'augmenter la puissance produite, détermine la notion de générateur photovoltaïque.

Le générateur photovoltaïque est composé d'un ensemble de modules photovoltaïques et de plusieurs composants qui ajustent l'électricité fournie par les modules aux spécifications des récepteurs [6].

2.7. Cellule photovoltaïque :

2.8. Matériaux :

Le matériau semi-conducteur le plus utilisé actuellement est le silicium, qui est spécialement traité à partir d'un champ électrique, sous forme de plaquettes, présentant l'efficacité maximale de conversion de l'énergie solaire en électricité. Toutefois, le processus de purification et de traitement entraîne des coûts considérables qui représentent un obstacle majeur au développement du photovoltaïque [6] [8].

2.9. Phénomène à l'intérieur de la cellule photovoltaïque :

Le semi-conducteur représente la jonction PN (généralement en silicium), positif d'un côté (arrière) et négatif de l'autre (vers le soleil). Lorsque l'énergie solaire (photons) frappe la cellule solaire, les électrons qui se séparent des atomes du matériau (semi-conducteur), générant donc des paires électron-trou.

Si des conducteurs électriques sont alors attachés aux côtés positif et négatif, formant un circuit Électrique, les électrons sont capturés sous la forme de courant Électrique I_{ph} (photo-courant).

Une cellule photovoltaïque typique en silicium cristallin est de 12 centimètres de diamètre et 0,25 millimètres d'épaisseur. En plein soleil, elle génère 4 Ampères de courant continu à 0,6 Volt ou 3 Watt de puissance électrique.

La jonction P-N de ces deux matériaux agit en tant que diode. L'exposition de cette diode à des photons dont l'énergie ($h\nu$) dépasse celle de la bande de gap (E_g) autrement dit l'énergie du

matériau, le nombre d'électrons libres de trous du semi-conducteur de type 'N' et celui du semi-conducteur de type 'P' augmente fortement. Les photons incidents dont l'énergie est inférieure à E_g , ne seront pas absorbés, ce qui signifie que leurs énergies ne participent pas à la conversion photovoltaïque [6] [8].

2.10. Paramètres d'identification des panneaux photovoltaïques :

Le développement d'un modèle pour simuler les caractéristiques de performance du panneau photovoltaïque est discuté dans la littérature [10] [11] [12] [13]. En général, il est courant de prendre des valeurs approximatives des paramètres du panneau pour modéliser un panneau solaire. Les valeurs supposées de résistance série et de résistance shunt donnent un modèle approximatif de panneau solaire. Le modèle exact de panneau solaire aide à analyser l'effet exact de l'irradiance et de la température sur le panneau solaire. Il est essentiel de développer un modèle exact de panneau solaire en calculant les valeurs exactes des paramètres du panneau.

2.11. Modélisation du générateur photovoltaïque :

Il existe de nombreux modèles de générateur photovoltaïque qui se différencient par la procédure et le nombre de paramètres intervenant dans le calcul du courant final et de la tension du générateur photovoltaïque. La modélisation de la cellule solaire est nécessaire pour analyser les performances dans différentes conditions [6] [8].

Il existe plusieurs modèles mathématiques qui décrivent le fonctionnement et le comportement du générateur photovoltaïque, parmi ces modèles :

2.12. Modèle à une seule diode :

Les modèles des modules photovoltaïques ont habituellement tiré des circuits électriques équivalents.

Le modèle empirique (à une diode) c'est le modèle le plus simple et le plus utilisé, il permet d'exprimer l'intensité d'un module photovoltaïque en fonction de la tension à ses bornes à ensoleillement et température ambiante variables [6] [10]. (à différentes conditions climatiques), comme illustré à la figure 2.4.

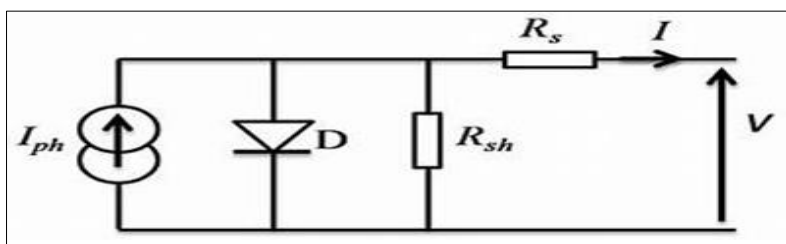


Figure 2.4. Schéma Électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque [6] [10].

À partir de la figure 2.4, nous déterminons le modèle à une diode du générateur. La loi de Kirchhoff donne le courant généré par le module comme présenté par l'équation (2.1) :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (2.1)$$

Avec :

I : Le courant délivré par le module.

I_{ph} : Photo courant.

I_d : Courant de diode.

I_{sh} : Le courant shunt.

La caractéristique courant-tension (I-V) d'un générateur photovoltaïque (une seule cellule solaire) est décrite par l'équation (2.2) :

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_{rs} \left(e^{\frac{q(V+R_s I)}{AKTN_s}} - 1 \right) - N_p \frac{q(V+R_s I)}{N_s R_{sh}} \quad (2.2)$$

Le photo-courant est lié à l'irradiation solaire représenté par l'équation (2.3) suivante : [6] [10].

$$I_{ph} = \frac{G}{1000} (I_{cc} + K_i (T - T_r)) \quad (2.3)$$

Avec

I_{rs} : est le courant de saturation inverse des cellules.

V : est la tension de sortie de cellule (V).

A : est la constante d'idéalité de la diode.

T : est la température de fonctionnement de la cellule de référence

q : est la charge d'électrons ($1,60217646 \times 10^{-19}$ C).

k : est la constante de Boltzmann ($1,3806503 \times 10^{-23}$ J / K)

R_s et R_p : sont les résistances série et shunt de la cellule respectivement.

I_{cc} : est le courant de court-circuit de la cellule à la température de référence et à l'irradiation

G : est l'irradiation solaire en W / m².

T_r : est la température de référence de la cellule.

k_i : est le coefficient de température du courant de court-circuit.

2.13. Influence des différents paramètres sur la caractéristique du photovoltaïque :

Pour étudier l'impact des systèmes photovoltaïque, nous avons choisi le modèle photovoltaïque de type BP SX 150 de chez BP solaire. Le module est composé de 72 cellules solaires polycristallines en silicone connectées en série pour produire une puissance maximale de 150 W. Le tableau 2.1 présente les caractéristiques électriques du module photovoltaïque.

Tableau 2.1. Caractéristiques électriques du module photovoltaïque BP SX 150 [14]

Paramètre	Valeur
Puissance maximale (P_{max})	150W
Tension à Pmax (V_{mp})	34.5 V
Courant à Pmax (I_{mp})	4.35 A
Tension à circuit ouvert (V_{oc})	43.5 V
Courant de court-circuit (I_{sc})	4.75 A
Coefficient de température de $I_{sc}(a)$	$0.065 \pm 0.015\% /C_o$

Le système photovoltaïque idéal fournirait de l'électricité avec une forme d'onde purement sinusoïdale comme présenté dans la figure 2.5, à la puissance maximale disponible à partir du rayonnement solaire à l'emplacement spécifique des modules du système photovoltaïque, et sans pertes dans le système de conversion et de conditionnement de puissance [15] [16].

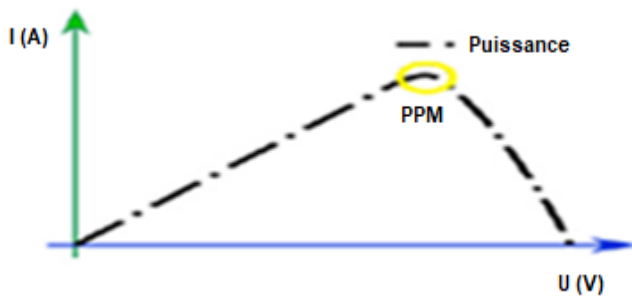


Figure 2.5. Courbe de puissance d'un panneau photovoltaïque [16].

La quantité d'énergie solaire rayonnante tombant sur une surface par unité de surface et par unité de temps est appelée irradiance. Les mesures du rayonnement solaire sont l'une des applications les plus importantes de l'ingénierie. Il est utilisé pour la conception, le dimensionnement, l'évaluation des performances et la recherche d'applications d'énergie solaire [17].

2.14. Influence de la température sur les modules : [6] [18].

La température a une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente, par conséquent la puissance extractible diminue. La figure 2.6 ci-dessous montre les caractéristiques tension-courant tension-puissance pour différentes températures de fonctionnement du module photovoltaïque.

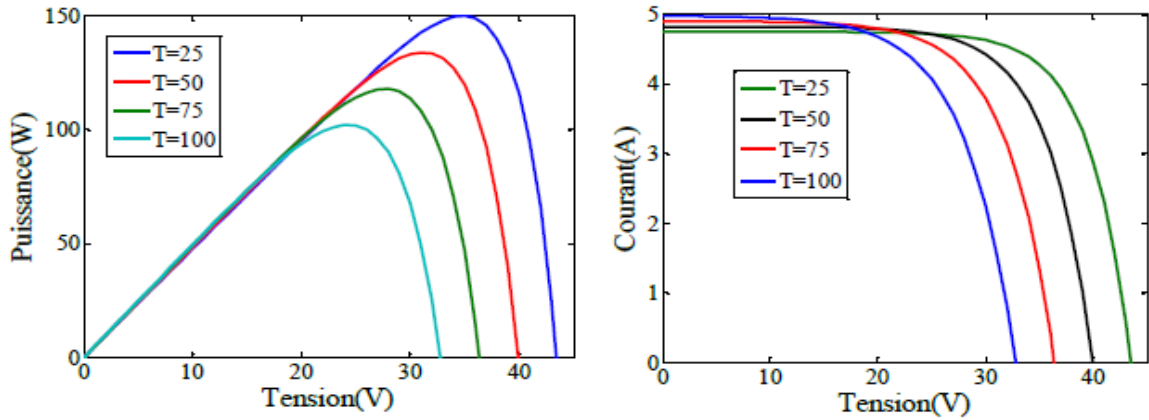


Figure 2.6. Influence de la température sur les variations P-V et I-V [6] [18].

On peut remarquer sur la figure 2.6 que l'augmentation de la température se traduit aussi par une diminution de la puissance maximale disponible.

2.15. Influence du rayonnement sur les modules photovoltaïques :

La puissance de sortie d'un générateur photovoltaïque dépend de divers facteurs environnementaux [19] tels que l'irradiance solaire (l'éclairement).

Afin d'étudier l'effet de rayonnement sur le système photovoltaïque, La figure 2.7 présente l'effet de rayonnement pour les trois sorties de module photovoltaïque puissance-courant-tension, on remarque que la valeur du courant de court-circuit et la puissance est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions.

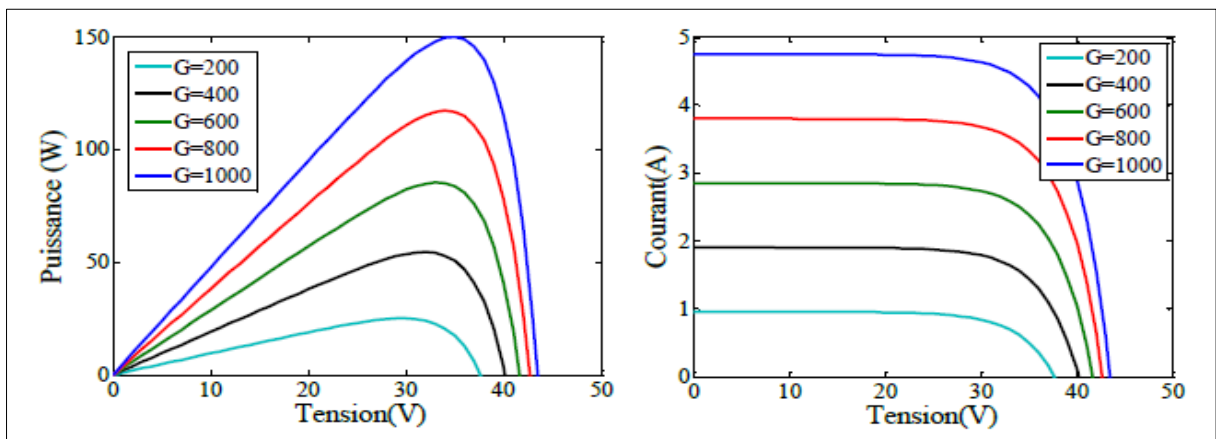


Figure 2.7. Influence de l'éclairement sur les variations P-V et I-V [6] [18].

Afin de calculer la quantité d'énergie absorbée par la cellule photovoltaïque, il faut connaître la valeur de l'irradiation solaire (G). L'application de la condition de circuit ouvert, $I = 0$, à l'équation $I(V)$ est donnée dans les équations (2.4) et (2.5) [20] [21].

$$I = 0 = I_{cc} - I_0 \left(e^{\frac{V_{oc}}{V_t}} - 1 \right) \quad (2.4)$$

Dans l'équation ci-dessus. V_t est la tension thermique de jonction [17]:

Avec :

$$V_t = \frac{AKT_{stc}}{q} \quad (2.5)$$

D'après l'équation (2.4), on peut voir que la valeur de la tension à vide dépend, logarithmiquement, du rapport $\frac{I_{cc}}{I_0}$. Cela signifie qu'à température constante, la valeur de la tension en circuit ouvert évolue de manière logarithmique avec le court-circuit qui, à son tour, évolue linéairement avec l'irradiance, ce qui entraîne une dépendance logarithmique de la tension en circuit ouvert avec l'irradiance. C'est également un résultat important indiquant que l'effet de l'éclairement est beaucoup plus important dans le courant de court-circuit que dans la tension de circuit ouvert [21] [22].

Dans l'équation ci-dessous représente la tension à vide [21] :

$$V_{oc} = V_T \ln \left(1 + \frac{I_{cc}}{I_0} \right) \quad (2.6)$$

2.16. Energie totale absorbée par un panneau photovoltaïque :

L'Energie totale, E_c absorbée par la cellule photovoltaïque est donné par l'équation (2.7) [23]:

$$E_c = \rho \alpha_c \tau_g G \quad (2.7)$$

D'ou :

G : La valeur Moyenne mensuelle de l'éclairement solaire.

ρ : Le facteur de remplissage des cellules. Il est défini comme le rapport de la surface de la cellule solaire à la surface du blanc absorbeur. Le panneau photovoltaïque a été mis en place à l'espace libre. Cela signifie que la cellule photovoltaïque peut absorber 100% de l'irradiance solaire. Ainsi, le facteur de remplissage des cellules est supposé égal à la valeur 1 [6] [21].

α_c : L'absorptivité de la lumière par la cellule.

τ_g : La fraction transmise à travers le verre frontal et pour cette étude, un verre à faible teneur en fer a été utilisé qui est égal à 0.95.

η_e : Le rendement Électrique de la cellule.

2.17. Rendement d'un panneau photovoltaïque :

L'éclairement solaire incident est converti par le module photovoltaïque avec une efficacité η_e et peut être calculé à l'aide des équations (2.8) et (2.9) [6] [21] :

$$\eta_e = \eta_0 [1 - \beta(T_c - T_0)] \quad (2.8)$$

D'où le calcul de η_0 [6] [18] [22] est donné par l'équation (2.9) :

$$\eta_0 = \frac{V_{mp} I_{mp}}{A G} = \frac{P_{max}}{A G} \quad (2.9)$$

Avec :

P_{max} : la puissance max du panneau photovoltaïque

A: Surface du panneau photovoltaïque

G: est l'irradiation solaire en W / m².

La valeur de η_0 est mesurée dans des conditions de test standard (STC) cette dernière est disponible dans chaque fiche technique de panneau solaire, STC spécifie :

- La température T_0 est de 25°C
- L'éclairement normale G est de 1000 W/m² avec des spectres de masse d'air 1.5
- A est la surface du module photovoltaïque
- T_c est la température de la cellule
- β est le coefficient de température de la cellule en silicium, $\beta = 0,0045^\circ\text{C}^{-1}$

Des modules photovoltaïques en silicium polycristallin sont utilisés dans cette étude cas de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT.

L'insolation absorbée par la cellule solaire peut être convertie en Energie ie électrique, E_{ce} est calculé par l'équation (2.10) ci-dessous [21] :

$$E_{ce} = \eta_e \rho \tau_g G(t) \quad (2.10)$$

2.18. Indices de performance des panneaux photovoltaïque :

La performance d'une centrale photovoltaïque dépend de la quantité de rayonnement solaire en entrée et de la production d'électricité dans les conditions de fonctionnement en sortie. Selon la norme CEI, les deux principaux paramètres utilisés pour évaluer et comparer les performances des installations photovoltaïques sont :

1. Le facteur de rendement (YF)
2. Le rapport de performance (PR).

Ces deux paramètres peuvent être affectés par les conditions météorologiques extérieures, comme les valeurs de température élevées et l'encrassement des panneaux [24] [25].

Le ratio de performance (PR) est un indicateur couramment utilisé pour mesurer les performances des centrales photovoltaïques pour les tests d'exploitation. Théoriquement, si une valeur PR s'approche de 100 %, la centrale photovoltaïque est en train de fonctionner efficacement. Cependant, en raison de pertes inévitables comme le chauffage du panneau photovoltaïque, un PR de 100 % ne peut pas être atteint dans la réalité, et la centrale photovoltaïque à haute performance peut atteindre un PR d'environ 80 %.

PR, représenté par l'équation (2.11) est défini comme le rapport entre l'électricité produite (E_p) et l'électricité qui aurait été générée (EDG) si la centrale convertissait la lumière du soleil en électricité de manière constante au niveau attendu de la plaque signalétique [26] [27].

$$PR = \frac{E_p}{EDG \times \text{Eclaircement}} \quad (2.11)$$

Le facteur de rendement (YF) peut être calculer par l'équation (2.12) qui est défini par le rapport de l'énergie produite sur la puissance nominale du système photovoltaïque dans des conditions de test standard [28] [29].

$$YF = \frac{E_p}{P_{MAX}} \quad (2.12)$$

En général La pente de la courbe est affectée par la résistance série et la résistance parallèle qui correspond à la pureté du matériau et à la qualité des étapes de fabrication particulières respectivement. La figure 2.8 représente un échantillon VA et la caractéristique de puissance d'un panneau photovoltaïque non défectueux [29].

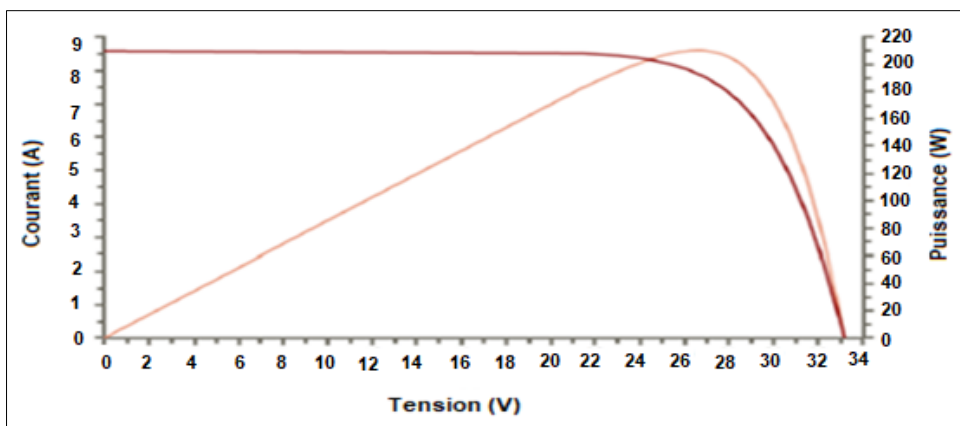


Figure 2.8. Caractéristique VA et puissance d'un panneau photovoltaïque [29].

2.19. Evaluation des performances des panneaux photovoltaïques : [30]

Les courbes caractéristiques I-V et P-V peuvent refléter l'état de la production d'énergie photovoltaïque et représente aussi un indicateur important pour mesurer les performances de production d'énergie des modules photovoltaïques. Les caractéristiques de sortie du photovoltaïque ont une caractéristique non linéaire, à la sortie est affectée par la température ambiante, le rayonnement solaire et la charge. C'est à une certaine valeur de tension de sortie où la puissance de sortie du générateur photovoltaïque peut atteindre la valeur maximale. À ce moment, le point de fonctionnement du générateur photovoltaïque atteint le point le plus élevé P_{max} de la courbe de tension de puissance de sortie comme le représente la figure 2.9.

Lorsque la surface photovoltaïque accumule de la poussière, l'état de fonctionnement photovoltaïque écarte du point de puissance maximale, entraîne une baisse de l'efficacité de la puissance de sortie et une réduction des revenus du système de production d'électricité [30].

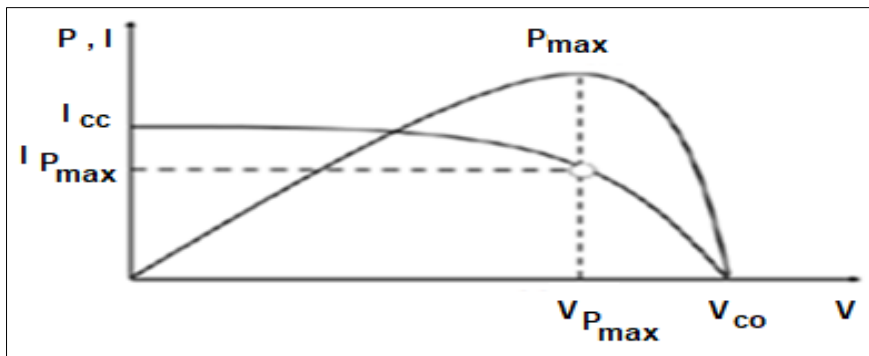


Figure 2.9. Diagramme de performance des cellules photovoltaïque [30]

2.20. Association des modules photovoltaïque : [8].

Le système photovoltaïque complet peut être associé comme suit :

- Les systèmes autonomes.
- Les systèmes connectés au réseau.
- Les systèmes fonctionnant au fil du soleil (Pompage photovoltaïque).

2.21. Association en série : [6]

Dans un groupement en série, les modules sont traversés par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. La figure 2.10 montre la caractéristique résultante (I_{Sc}, V_{Sc}) obtenue en associant en série n_s cellules et puis 2 x n_s identiques où :

$$I_{Sc} = I_{cc} \quad V_{Sc} = n_s * V_{co} \tag{2.13}$$

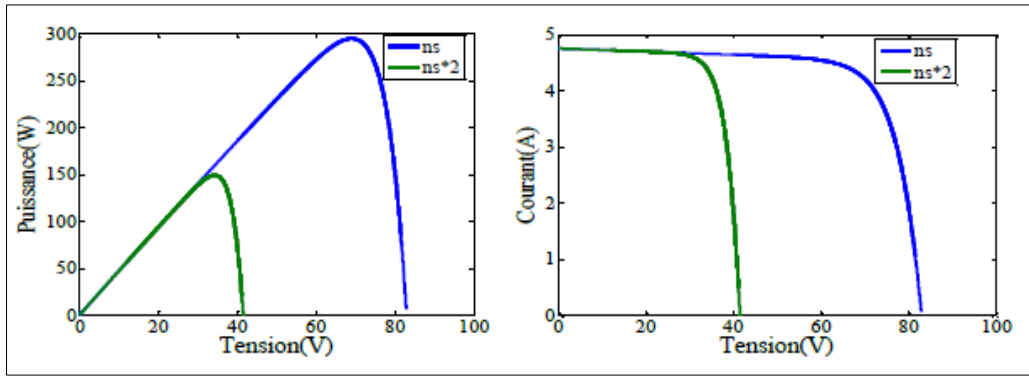


Figure 2.10. Caractéristiques P-V et I-V de deux photovoltaïques identiques raccordés en série [6] [7].

2.22. Association en parallèle :

Dans un groupement des modules connectés en parallèle, les modules sont soumis à la même tension et la caractéristique résultante de groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée.

La figure 2.11 montre la caractéristique résultante (I_{PCC} , V_{PCO}) obtenue en associant en parallèle n_{p1} et puis n_{p2} modules identiques où :

$$I_{PCC} = n_p * I_{CC} \quad \text{et} \quad V_{PCO} = V_{CO} \quad (2.14)$$

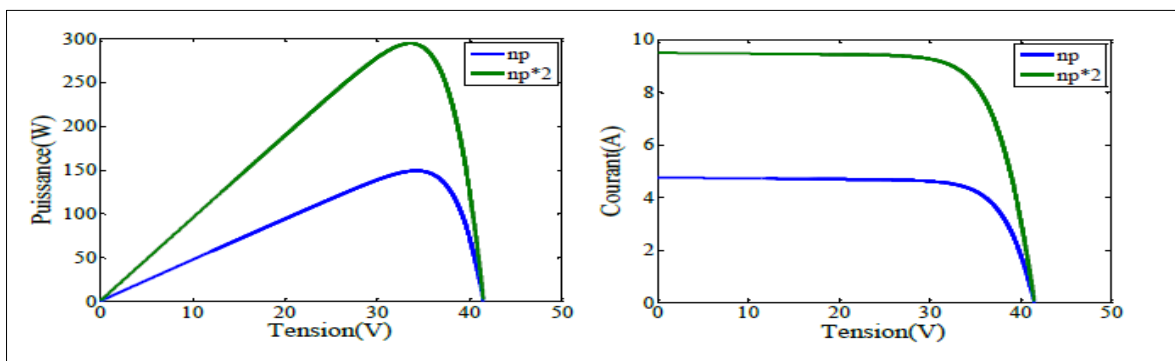


Figure 2.11. Caractéristiques P-V et I-V de deux panneaux photovoltaïques identiques raccordés en parallèle [6] [7].

2.23. Association hybride (en série et en parallèle) :

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces modules, les valeurs du courant de court-circuit totales et de la tension à vide totale sont données par les relations :

$$I_{PCC} = n_p * I_{CC} \quad (2.15)$$

$$V_{PCO} = n_s * V_{CO} \quad (2.16)$$

Avec :

n_p : nombre des modules en parallèle.

n_s : nombre des modules en série.

La figure 2.12 montre la caractéristique résultante obtenue en associant, en série n_s et en parallèle n_p , modules identiques.

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces modules, les valeurs du courant de court-circuit I_{CC} et de la tension à vide V_{Co} sont plus ou moins importantes comme illustré dans la figure 2.12.

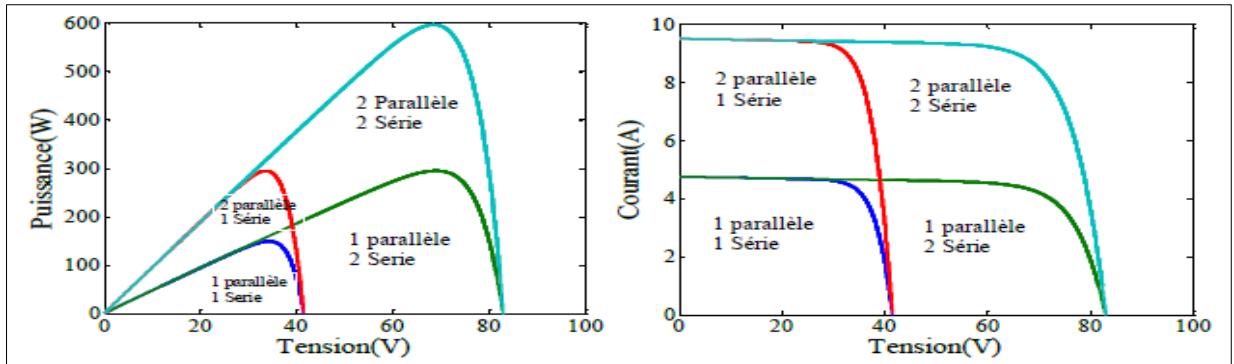


Figure 2.12. Caractéristiques P-V et I-V d'une association mixte des panneaux photovoltaïques [6] [7].

La caractéristique d'un générateur photovoltaïque constitué de plusieurs modules, sous réserve qu'il n'y ait pas de déséquilibre entre les caractéristiques de chaque cellule (irradiation et température uniforme).

2.24. Etage d'adaptation :

Un générateur photovoltaïque présente des caractéristiques (I-V) non linéaires avec des PPM. La production de puissance varie fortement en fonction de la température et de l'éclairement, ainsi du vieillissement global du système. De plus, selon les caractéristiques de la charge sur laquelle le générateur photovoltaïque débite, nous pouvons trouver un très fort écart entre la puissance potentielle du générateur et celle réellement transférée à la charge en mode connexion directe. Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du générateur photovoltaïque et de la transférer à la charge, la technique adoptée classiquement consiste à utiliser un étage d'adaptation entre le générateur photovoltaïque et la charge comme décrit dans la figure 2.13 ci-dessous. Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant, à travers une action de contrôle, le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de la puissance maximale disponible.

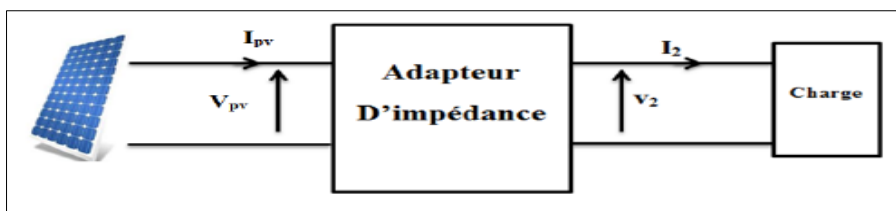


Figure 2.13. Etage d'adaptation d'un générateur photovoltaïque – charge [6].

2.25. Convertisseur Continu-Continu (Hacheurs) :

Les hacheurs sont des convertisseurs statiques qui sont alimentés par des sources de tension continue et produisent aux bornes d'une charge une tension unidirectionnelle de valeur moyenne réglable. L'hacheur se compose de condensateurs, d'inductances et de commutateurs. Tous ces dispositifs dans le cas idéal ne consomment pas de puissance, c'est la raison pour laquelle les hacheurs ont de bons rendements. Généralement, le commutateur est un transistor MOSFET qui est un dispositif semi-conducteur en mode (bloqué-saturé). Si le dispositif semi-conducteur est bloqué, son courant est zéro d'où sa dissipation de puissance est nulle. Si le dispositif est dans l'état saturé, la chute de tension à ses bornes sera presque zéro et par conséquent la puissance perdue sera très petite.

2.26.Hacheur survolteur (Boost) :

Ce type sert à produire une tension plus élevée que celle fournis par les panneaux de stockage, comme indiqué dans la figure 2.14, leur réalisation est basée sur un interrupteur commandé à l'amorçage et au blocage (IGBT, MOSFET, Bipolaire ,.....etc.) et une diode, le rapport cyclique du hacheur survolteur est:

$$V_0 = \frac{1}{1-\alpha} V_i \tag{2.17}$$

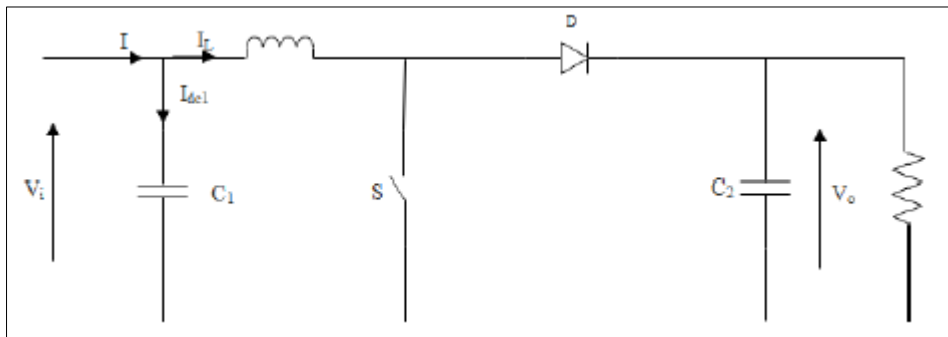


Figure 2.14. Schéma Électrique de convertisseur survolteur [31].

2.27. Hacheur dévolteur (Buck) :

Il délivre une tension à la sortie plus basse que celle de l'entrée (panneaux), comme indiqué dans la figure 2.15, sa structure demande un interrupteur à amorçage et à blocage Commande (transistor bipolaire, transistor,

IGBT ,.....) et une diode, le rapport cyclique du hacheur dévolteur est:

$$V_0 = \alpha V_i \tag{2.18}$$

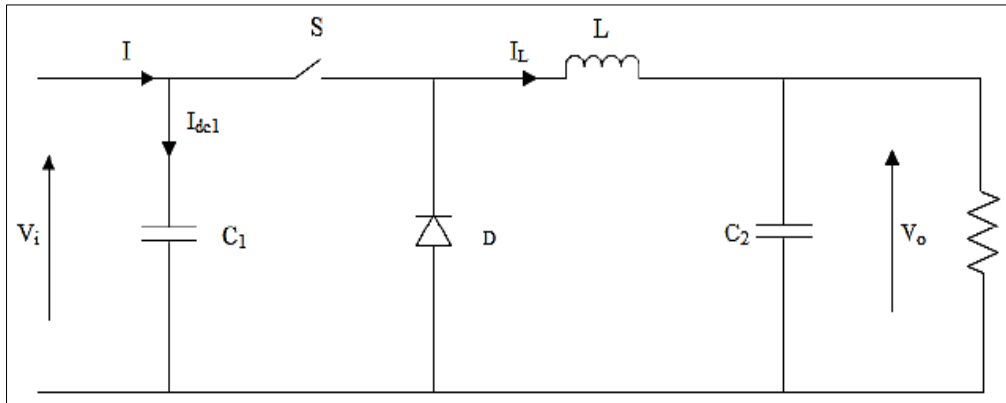


Figure 2.15. Schéma Électrique du convertisseur dévolteur [32].

2.28. Hacheur dévolteur-survolteur (buck-boost) :

Le convertisseur dévolteur-survolteur combine les propriétés des configurations de dévolteur et de survolteur. Il est utilisé pour transformer parfaitement n'importe quelle tension continue d'entrée en n'importe quelle tension continue désirée de sortie, comme indiqué dans la figure 2.16

Le rapport cyclique de l'hacheur dévolteur-survolteur est :

$$V_o = \frac{\alpha}{1-\alpha} V_i \tag{2.19}$$

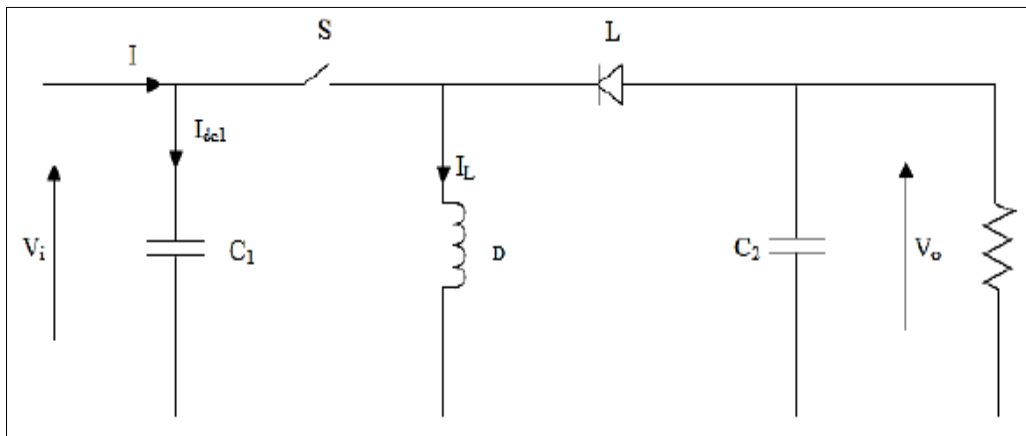


Figure 2.16. Schéma électrique du convertisseur dévolteur-survolteur [33].

2.29. Commande MPPT :

Pour obtenir la puissance maximale du panneau solaire, un suiveur du point de puissance maximum (Maximum Power Point) est utilisé pour la commande de l'hacheur. cette commande est essentielle pour un fonctionnement optimal du système photovoltaïque [34].

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un générateur photovoltaïque de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Comme présenté dans la figure 2.17. Ainsi, quelles que soient les conditions

météorologiques (température et l'éclairement), la Commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (V_{PPM} , I_{PPM}).

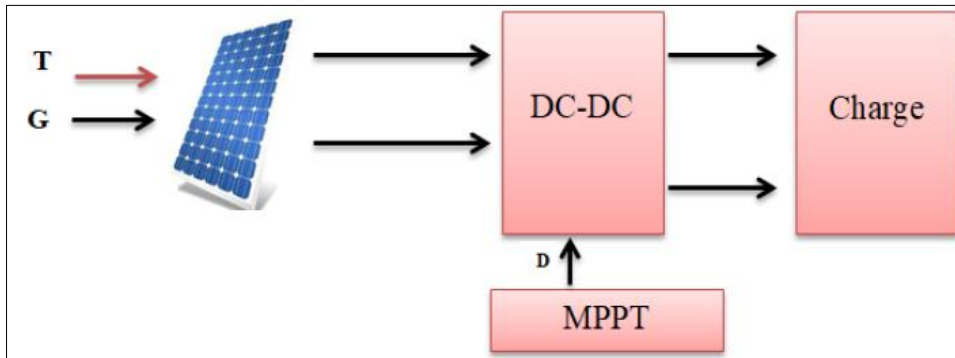


Figure 2.17. Conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT en utilisant le convertisseur DC-DC.

Malgré l'utilisation répandue des systèmes photovoltaïques, leur faible efficacité présente un grand inconvénient. Par conséquent, un contrôleur MPPT est requis pour améliorer l'efficacité du système photovoltaïque.

2.30. Les méthodes MPPT :

Une variété de méthodes MPPT ont été développées et améliorées en continu, ces méthodes comprennent :

- ✓ La perturbation et l'observation (P&O) [35] [36] [37].
- ✓ La conductance incrémentielle (IC) [38] [39].
- ✓ L'escalade (Hill Climbing HC) [40] [41].
- ✓ Réseau de neurones [35].
- ✓ Méthodes de logique floue [42] [43].
- ✓ Mode glissant [14] [44].
- ✓ Backstepping [45].
- ✓ Hybride mode glissant-backstepping [17] [46].
- ✓ Algorithmes génétiques [47] [48].

Ces techniques diffèrent sur de nombreux aspects tels que les capteurs requis, la complexité, le coût, la plage d'efficacité, l'oscillation autour du PPM, vitesse de convergence, suivi correct lors de l'irradiation et / ou changement de température et implémentation matérielle.

2.31. Technique de la perturbation puis observation (P&O) :

La méthode P&O est généralement la plus utilisée en raison de sa simplicité et sa facilité de réalisation [49]. Comme son nom l'indique, cette méthode fonctionne en perturbant le système et observant l'impact sur la puissance à la sortie du générateur photovoltaïque. Sur la figure 2.18, on

voit que si la tension de fonctionnement est perturbée dans une direction donnée et que la puissance augmente ($dP/dV > 0$), alors il est clair que la perturbation a déplacé le point de fonctionnement vers le PPM. L'algorithme P&O continuera à perturber la tension dans la même direction. Par contre, si la puissance diminue ($dP/dV < 0$), alors la perturbation a éloigné le point de fonctionnement du PPM. L'algorithme inversera la direction de la perturbation suivante. Cet algorithme est résumé dans le tableau 2.2 [50].

Le processus est répété périodiquement jusqu'à ce que le PPM soit atteint. Le système oscille alors autour du PPM, ce qui provoque des pertes de puissance. L'oscillation peut être minimisée en diminuant la taille de la perturbation. Cependant, une taille de perturbation trop petite ralentit considérablement la poursuite du PPM. Il existe alors un compromis entre précision et rapidité [51] [52].

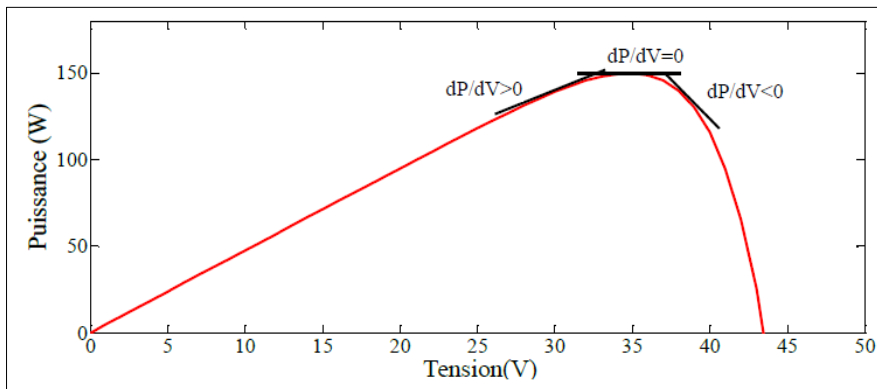


Figure 2.18. Signe variation de puissance par rapport à la tension dans la courbe caractéristique

Tableau 2.2. Principe de l'algorithme P&O.

Perturbation de la tension	Changement dans la puissance	Perturbation suivante
Positive	Positive	Positive
Positive	Négative	Négative
Négative	Positive	Négative
Négative	Négative	Positive

2.32. Avantages de l'énergie photovoltaïque :

- ✓ La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.
- ✓ Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.

- ✓ Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.
- ✓ Haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.

2.33. Inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 %.
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport au générateur diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.

2.34. Conclusion :

L'énergie photovoltaïque utilise la lumière du soleil pour produire de l'électricité via des panneaux solaires, elle représente une alternative technico-écologique par rapport aux énergies fossiles car l'énergie solaire est abordable, inépuisable et ne produit pas de gaz à effet de serre, l'utilisation de ce type d'énergie à grande échelle crée une source d'emplois dans le domaine de la recherche, de la fabrication et de l'installation et de la maintenance. L'énergie photovoltaïque offre une solution durable et de plus en plus compétitive pour la transition énergétique pour pallier ses limites et favoriser une utilisation plus large.

CHAPITRE N°3 :

Intégration des panneaux photovoltaïques pour alimenter les auxiliaires d'un poste THT

3.1. Introduction :

L'étude de ce chapitre concerne le poste THT appelé Poste EL HADJAR présenté au niveau de la figure 3.1, ce poste est situé à 11 km de la ville de ANNABA (Bône à l'époque coloniale) a été mis en service en 1947 pour servir de poste d'évacuation à la centrale de Bône par l'intermédiaire de la ligne EL HADJAR/BONE1 (60kV) et la ligne EL HADJAR /BONE2 (90kV). Après la réalisation des deux lignes EL HADJAR/TEBESSA (90kV) en 1948 et la ligne 90kV EL HADJAR/FERNANA en 1951, le poste a pris de l'ampleur pour devenir le poste le plus important de la région de l'Est de l'Algérie.

L'interconnexion avec le réseau National décidée en 1947, est devenue effective en 1950 suite à la réalisation de la ligne 150 kV EL HADJAR/DERGUINA longue de 283 km. La mise en place des nouveaux transformateurs 220/60 kV et 220/90kV couplés en 150kV en première étape est intervenue en 1973. L'ouvrage est passé de 150kV à 220 kV en 1977 cette année a vu aussi le remplacement des deux transformateurs 60/30kV (30MVA) qui par la suite ont été remplacés en 1994 par des transformateurs (40MVA). Les lignes issues de ce poste sont les suivantes [53] :

- Ligne 150kV EL HADJAR/DARGUINA mise en service en 1947 puis devenue en 1973 ligne EL HADJAR /KHROUB
- Ligne 90kV EL HADJAR /TEBESSA mise en service en 1948 puis devenue ligne EL HADJAR /EL AOUNET actuellement ligne EL HADJAR /MEDJEZ S'FA.
- Ligne 90kV EL HADJAR /BONE1 construite en 1947 actuellement exploité en 60kV et devenue ligne EL HADJAR /ZAAFRANIA.
- Ligne 60kV EL HADJAR /BONE2 construite en 1952 actuellement devenue ligne EL HADJAR /ANNABA.
- Ligne 60kV EL HADJAR /BONE2 construite en 1953 actuellement devenue ligne EL HADJAR /ASMIDAL
- Ligne 60kV EL HADJAR /RAMDANE DJAMEL puis devenue ligne EL HADJAR /HADJAR SOUD
- Ligne 60kV EL HADJAR/SNS1 et SNS2 (client HT) depuis 1969
- Ligne 60kV EL HADJAR/GUELMA construite en 1970 ligne exploitée en 30kV jusqu'à 1985
- Ligne 220kV EL HADJAR/SKIKDA avec piquête client SNS mise en service en 1977 puis devenue ligne EL HADJAR1/RAMDANE DJAMEL1 en 1999

- Ligne 220kV EL HADJAR 2/ RAMDANE DJAMEL2 en 1999 puis devenue ligne EL HADJAR /KHERAZA en 2007
- Ligne 220kV EL HADJAR /SNS (client THT) depuis 1977
- Ligne 90kV EL HADJAR /SNTF EL HADJAR.



Figure 3.1. Poste 220/90/60/30kV EL HADJAR [54].

3.2. Identification et fonctionnement du réseau HTB :

L'ensemble du réseau électrique est mis à la disposition l'opérateur système (OS), organe responsable du mouvement d'énergie au niveau de la Société Nationale d'Electricité et de Gaz (SONELGAZ). Toute manœuvre ne se fera que sur son ordre.

- Centre National de Conduite (CNC) : a pour mission gérer les interconnexions nationales et internationales
- Centre Régional de Conduite (CRC) : a pour mission gérer la répartition régionale

L'opérateur système est un organisme technique qui a pour fonction de gérer l'ensemble du système Électrique, programmer et de coordonner la mise en œuvre des moyens de production, de transport et de distribution de l'électricité dans les meilleures conditions d'économie, de qualité et de continuité de service [53].

Les attributions du l'opérateur système :

- Programmer la marche de tous les moyens de production.
- Programmer l'échange avec l'étranger.
- Programmer le réglage des tensions sur le réseau de transport et de répartition
- Délester la clientèle lorsque c'est nécessaire pour la sauvegarde du réseau.
- Changement de topologie du réseau

3.3. Identification des équipements poste :

Tout poste électrique est constitué des équipements haute tension et base tension

3.4. Equipements haute tension :

Les équipements haute tension sont constitués de [54] :

- Transformateurs de puissance et des auxiliaires
- Jeu de barre de diamètre Φ 120mm/104mm alliage de (98.7% Aluminium + 0.7% magnésium+ 0.6% Silicum)
- Sectionneurs d'aiguillage à commande électrique
- Disjoncteurs unipolaires pour les lignes et tripolaire pour les transformateurs et couplages)
- Transformateurs de courant à 3 enroulements type normal pour les lignes et type tore pour les transformateurs
- Transformateurs de tension capacitive pour les lignes et inductive pour les transformateurs
- Sectionneurs de ligne avec malt et sectionneurs neutre transformateur
- Batteries condensateurs et Selfs
- Charpentes, tendues, descentes, chaînes isolatrices
- Résistance de mise à la terre

3.5. Equipements basse tension :

Les équipements basse tension sont constitués de [54] :

- Système de protection des équipements HT
- Dispositif de commande et signalisation des appareils HT :
 - ✓ Armoires de contrôle et Commande
 - ✓ Armoires tranche générale
 - ✓ Osciloperturbographe
- Services auxiliaires (continu et alternatif),
 - ✓ Groupe secours
 - ✓ Batteries et redresseurs, 127V et 48V

- Installation de télécommunication :
 - ✓ Téléphonie, télémessure, téléCommande, télé-protection.

3.6. Situation normale :

Dans les situations normales, le but des consignes d'exploitation est d'accélérer la reprise de service normal et d'éviter un excès de communications téléphonique. Le chef de poste doit respecter ces consignes, exécuter manœuvres qui y sont prévues et informe ensuite le dispatching [53]:

- Respect du schéma normal d'exploitation.
- Réglage des tensions : en règle générale chaque nœud doit disposer d'un plan de tension qui fixe les limites de tolérance de différents étages de tension :

215 → 235 pour 220 kV

143 → 165 pour 150 kV

86 → 96 pour 90 kV

58 → 67 pour 60 kV

- Sens normal de renvoi : établit en collaboration (dispatching région) suivant schéma région.
- Manœuvre des sectionneurs neutres transformateurs.
 - * Fermeture manuelle ou à distance est autorisée.
 - * L'ouverture est interdite sauf si un 2^{ème} Transformateur est en parallèle avec le 1^{er}.
- Batteries condensateurs : leur mise en service et hors service n'est faite que sur ordre du dispatching
- Sectionneurs de barre : effectuer mensuellement un changement de barre afin de s'assurer du bon fonctionnement des sectionneurs

3.7. Manœuvre suite incident :

En cas de manque de tension générale :

- Ouverture impérative de tous les départs
- Informer le dispatching

Après retour de tension réalimenter les auxiliaires du poste et attendre les instructions du dispatching pour manœuvrer les organes de coupure [53].

3.8. Les organes de coupure :

3.9. Sectionneur :

Appareil placé en série dans un circuit en position il a un objet d'assurer la continuité du circuit, mais en position ouverte il assure la discontinuité. Il n'a pas de pouvoir de coupure en charge, il est caractérisé par :

- Courant nominal : courant que le sectionneur peut supporter en permanence sans échauffement ou avarie : $I_n > 400A$.
- Tension nominale : C'est la tension nominale que le sectionneur doit pouvoir supporter pendant toute sa durée de vie $U=$ suivant catégories de tension utilisée.
- Surintensité admissible : C'est la valeur efficace de l'intensité du courant que le sectionneur peut supporter pendant 1seconde sans avarie $I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$
- Classification : les sectionneurs sont classés généralement selon le nombre des pôles (unipolaire ou tripolaire) ou par type de Commande mécanique (manœuvre en local et manuelle ou Électrique à distance avec un dispositif secours en local).

3.10. Disjoncteur :

Appareil placé en série dans le circuit peut si il reçoit l'ordre d'interrompre ou établir le circuit caractérisé par :

- Courant nominal : $I_n= 2000A$ à $3000A$
- Tension nominale : catégorie d'utilisation
- Tension d'isolement
- Tension tenue à fréquence industrielle
- Tension tenue au choc de foudre
- Pouvoir de coupure : $31,5 KA$

3.11. Classification des disjoncteurs :

Ils sont classés à partir du milieu de coupure (Extinction de l'arc)

- Disjoncteurs à refroidissement d'arc par gaz SF_6
- Disjoncteurs à refroidissement d'arc à bain d'huile
- Disjoncteurs à refroidissement d'arc air comprimé
- Disjoncteur sous vide.

Le principe de refroidissement : L'écoulement du gaz accumulé provoque le refroidissement de l'arc et empêche le réamorçage de l'arc [53].

3.12. Description d'un disjoncteur :

Généralement un disjoncteur est constitué principalement de :

- 03 pôles installés sur châssis poutre.
- D'une Commande.
- D'un châssis support.
- Les trois pôles identique et interchangeable et qui constitue une enceinte fermée et étanche empli de gaz SF6, huile, air. Suivant le milieu extinctif [53].

3.13. Constitution d'un pôle de disjoncteur :

- Isolateur support : qui isole la chambre de coupure par rapport à la terre et permet le passage d'une bielle isolante qui manœuvre le contact mobile du disjoncteur.
- Chambre de coupure : ou aura lieu l'extinction de l'arc
- Isolateur chambre de coupure.
- Contacts fixe et mobile.

3.14. Type des Commandes de disjoncteur :

- Commande mécanique à accumulation d'énergie à ressort elle assure au disjoncteur l'Energie nécessaire à l'ouverture et la fermeture, en plus à l'armement Électrique automatique assure par moto réducteur, elle possède un armement manuel secours.
- Commande oléo pneumatique à accumulateur d'énergie air (azote huile) sous une pression d'environ 400 bars.
- Commande à air.

3.15. Identification et description des auxiliaires du poste :

L'exploitation d'un poste nécessite la mise en place de différent service d'énergie en vue d'assurer des fonctions diverses. Signalisation, Commande, Contrôle, protection, télécommunication, éclairage normal et secours, force motrice à cet effet le poste doit disposer de :

3.16. Services auxiliaires à courant alternatif normal :

Ce sont les circuits dont la perte d'alimentation bien que gênante, ne compromet pas dans l'immédiat l'exploitation du poste. Ils sont raccordés aux services auxiliaires normaux

- Compresseur d'air.
- Circuit de chauffage.
- Les alimentations des aéroréfrigérant du transformateur de puissance.

- Installation annexe (pont roulant, les services auxiliaires normaux à partir des TSA dont l'un en service l'autre en réserve [54].

3.17. Service auxiliaire à courant alternatif de secours :

Ils permettent de tolérer des interruptions de courte durée mais leur défaillance prolongée peut provoquer des perturbations graves dans l'exploitation du poste ils alimentent :

- Disposition de charge batterie 127Vcc et 48Vcc.
- Moteur des Commandes disjoncteur et sectionneur
- Circuit éclairage du poste extérieur et du circuit Commande.
- Eclairage secours.

Ils sont alimentés normalement par le réseau et en cas de défaillance de cette alimentation, par un groupe électrogène de secours à démarrage automatique temporisé [54] .

3.18. Services auxiliaires à courant continu : (batterie 127Vcc et 48Vcc)

Leurs rôles de maintenir les installations en état de fonctionnement ils doivent demeurer alimentées en permanence. Sont raccordés aux services auxiliaires essentiels les circuits de :

- Equipements de protections et les automatismes de reprise en service
- Circuit de Commande, de contrôle et de signalisation des appareils HT et THT
- Equipements de télécommunication
- Circuits de Commande et de contrôle des équipements généraux du poste
- Régleurs en charge des transformateurs [54].

3.19. Protections :

Les lignes Électriques sont généralement exposées à plusieurs risques de pollution de type agricole, industriel, maritime, animal, déchets de cigogne, construction des nids...etc, ce dernier type de risque représente environ 70% des anomalies et des déclenchements des lignes, en outre y a des problèmes d'actes de vandalisme, télescopage des phases suite au vent violent, surtension atmosphérique causé par la foudre, le non élagage des arbres situés à proximité des lignes, les points chauds causés par le lâchage des câbles et parfois la vétusté du matériel ou la non-conformité à la réglementation de construction des lignes, de ce fait la mise en place d'un bon plan de protection est primordiale :

Le plan de protection de SONELGAZ est conçu à prévoir tous les équipements BT nécessaire qui permettent de protéger de façon sûre et sélective les lignes et transformateurs contre tous les types de défaut. En général nous rencontrons plusieurs types de protection [54] :

- Protections de distance.
- Protections différentielles.
- Protections à maximum de courant.
- Protections surcharge thermique.
- Protections à maximum ou minimum de tension.

Ajouter à cela nous trouvons des protections des transformateurs dites internes à savoir :

- Buchholz transformateur et régulateur (alarme et déclenchement)
- Température transformateur huile et enroulements (alarme et déclenchement)
- Onde pression. (Surpression)
- Masse cuve.

3.20. Identification des protections lignes de transports (220kV) :

Protection principale N°1 : protection de réactance distance exemple REL316 de marque ABB

Protection principale N°2 : protection de réactance distance exemple REL521 de marque ABB

L'actuel plan de protection nécessite que les protections principale N°1 et N°2 ont un fonctionnement parallèle et de technologie différente [53] :

- Protection complémentaire : contre les défauts résiduels.
- Protection défaillance disjoncteur exemple REB500 marque ABB.
- Protection différentielle barre exemple REB500 marque ABB.

3.21. Identification des protections lignes de répartitions (90kV et 60 kV) :

- Protection principale : protection de réactance distance exemple REL316 de marque ABB.
- Protection de réserve : à maximum de courant exemple SPAJ 140.
- Protection complémentaire : contre les défauts résiduels.
- Protection défaillance disjoncteur exemple REB500 marque ABB.
- Protection différentielle barre exemple REB500 marque ABB.

3.22. Identification des protections transformations :

3.23. Protections externes :

- Protection à maximum de courant THT exemple SPAJ 140.
- Protection à maximum de courant HT et MT exemple SPAJ 140.
- Protection homopolaire MT.
- Protection terre résistante (alarme).
- Protection thermique

- Protection défaillance disjoncteur exemple REB500 de marque ABB.
- Protection différentielle barre exemple REB500 de marque ABB.

3.24. Protections internes :

- Protection Buchholz transformateur (contrôle la présence de gaz dans la cuve du transformateur).
- Protection Buchholz régleur (contrôle la présence de gaz dans la cuve du régleur).
- Protection température huile.
- Protection température enroulements.
- Protection différentielle ou masse cuve.
- Protection onde pression.

3.25. Mesures :

3.26. Comptage :

Les organes de comptage servent à enregistrer les Energies consommées on trouve les compteurs d'énergie active, réactive et ce dans les deux sens émission et réception avec la numérisation on trouve un seul compteur ou sont paramétrés (toutes les grandeurs électriques) [54].

3.27. Enregistreurs de puissance active et réactive :

Les enregistreurs de puissance active et réactive servent à enregistrer les puissances actives et réactive consommées et ce dans les deux sens émission et réception [54].

3.28. Enregistreurs des défauts :

A chaque incident il délivre le déroulement de défaut permettant de connaître les circonstances du défaut et l'évolution des grandeurs caractéristiques (tension et courant) [54].

3.29. Enregistreur de manœuvre et de signalisation :

Permet à l'exploitant d'être informé immédiatement de tous les événements nouveaux apparaissant dans les installations du poste (manœuvre des sectionneurs et disjoncteurs, alarme et défauts) comme présenté dans les figures suivantes figure 3.2, figure 3.3, figure 3.4 et figure 3.5.

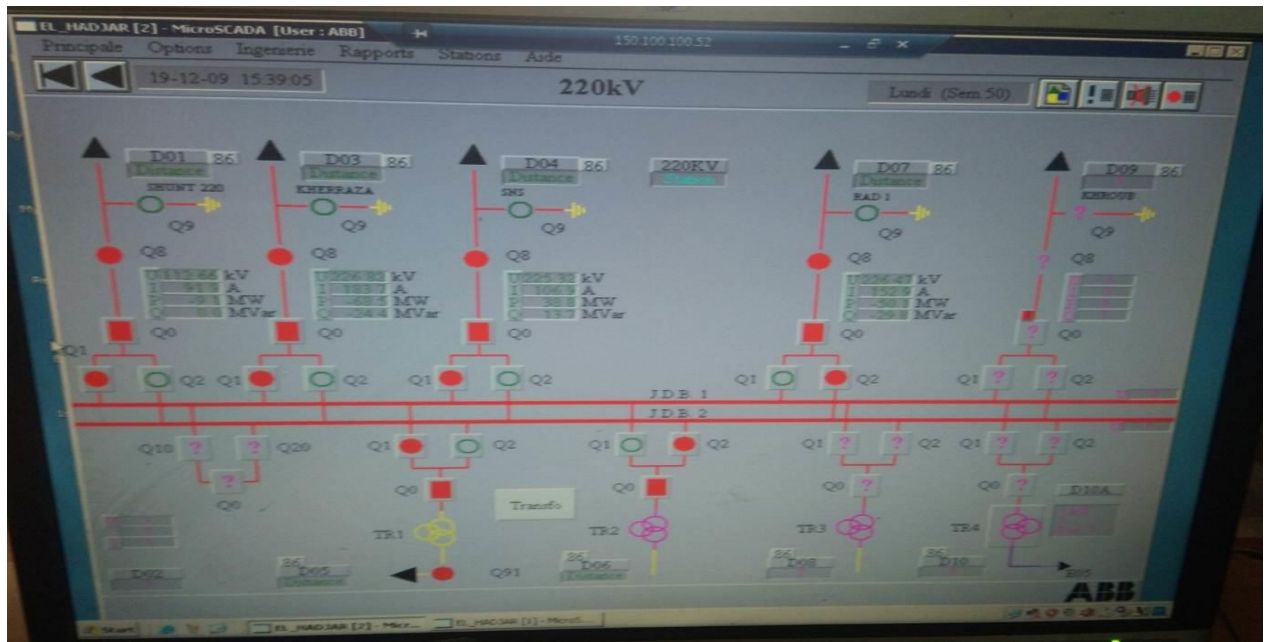


Figure 3.2. Commande Contrôle Numérique (CCN) étage 220kV au poste 220/90/60/30kV EL HADJAR [54].

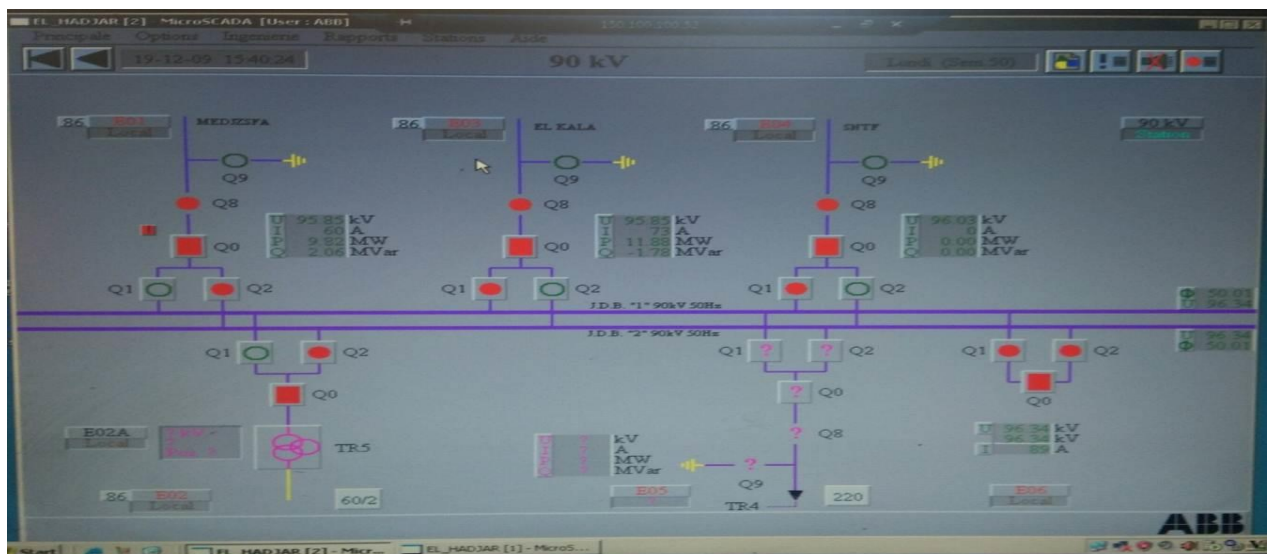


Figure 3.3. Commande Contrôle Numérique (CCN) étage 90kV au poste EL HADJAR [54].

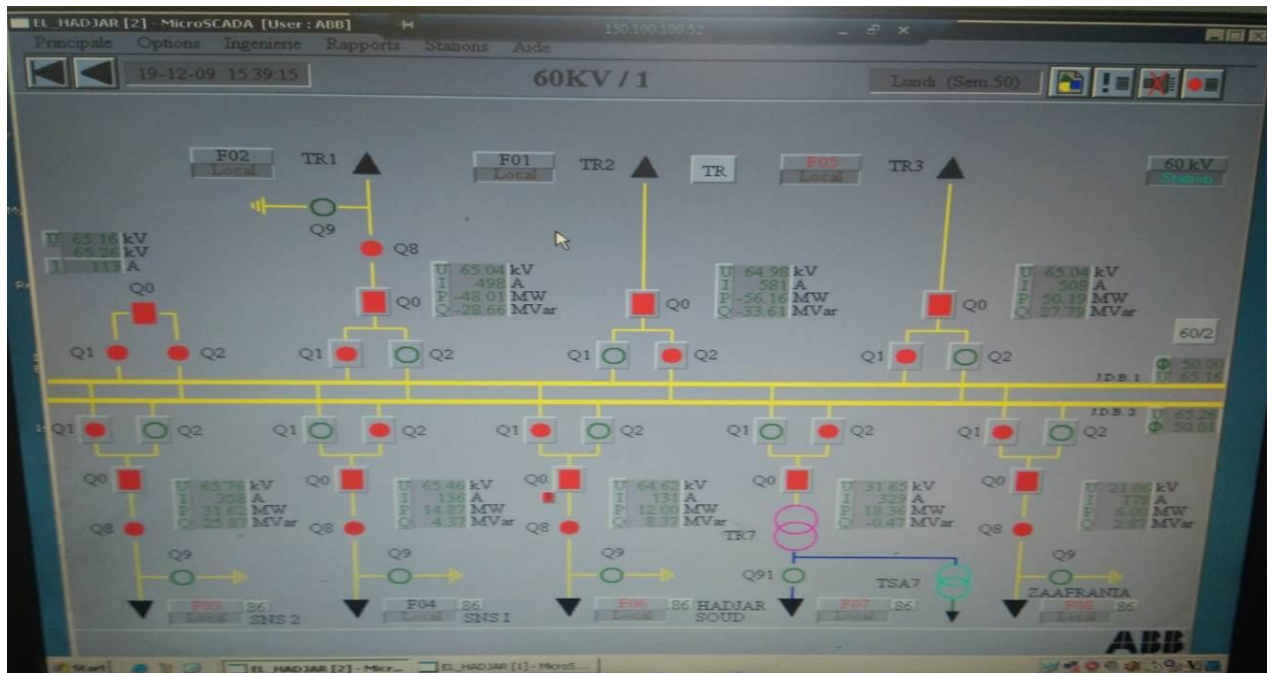


Figure 3.4. Commande Contrôle Numérique (CCN) étage 60kV au poste EL HADJAR [54].

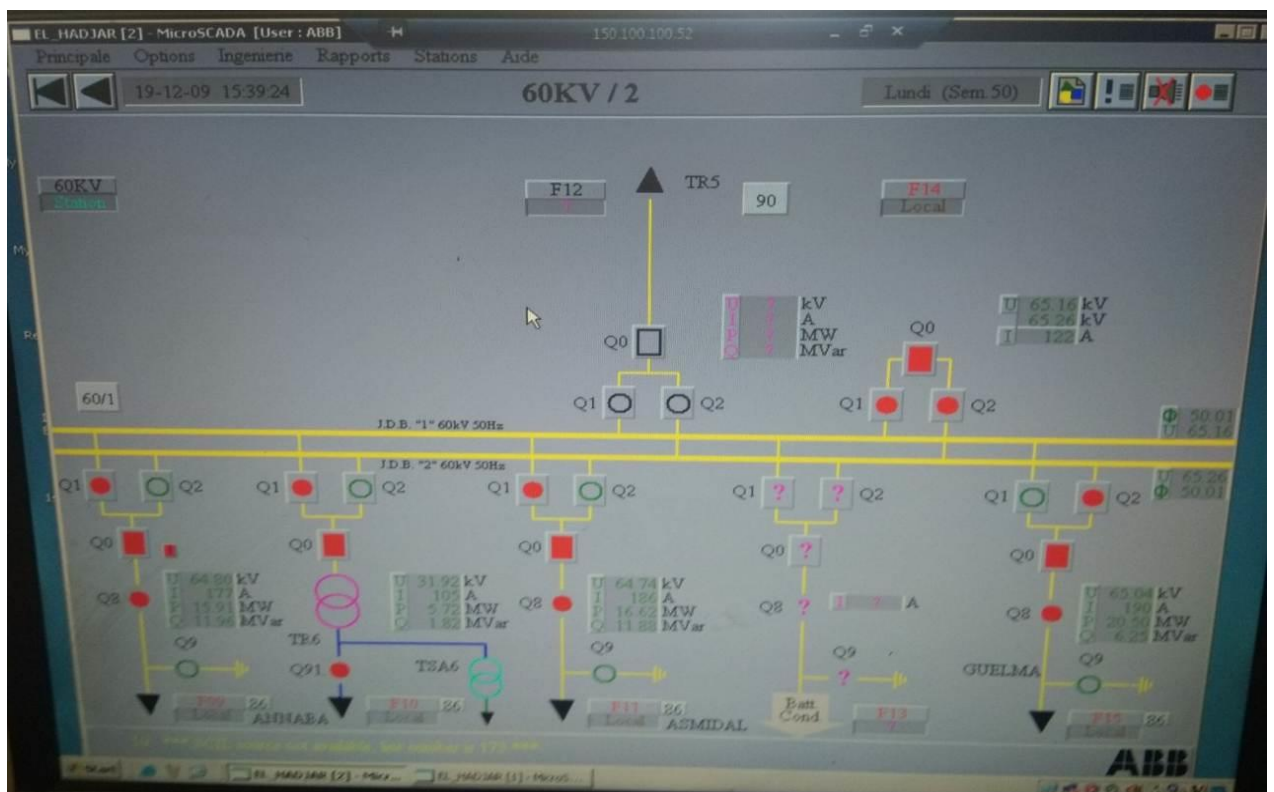


Figure 3.5. Commande Contrôle Numérique (CCN) étage 60kV au poste EL HADJAR (suite) [54].

3.30. Amélioration de la fiabilité des auxiliaires du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR :

Ce chapitre est consacré à l'étude d'une solution pour augmenter la fiabilité de l'alimentation des équipements auxiliaires d'un poste THT à base d'énergie photovoltaïque. Les investigations sont menées sur le poste de transformation 220KV/90KV/60KV/30kV EL HADJAR au niveau de la Wilaya d'ANNABA dans le Nord Est de l'Algérie, les transformateurs de service auxiliaire 30/0,4kV, ont pour fonction de fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement : des équipements de surveillance du réseau (relais de protection), des Commandes haute tension (HT) (disjoncteurs, sectionneurs, régleur en charge des transformateurs), des signalisations, des équipements de télécommunications (haute fréquence : réseau HF et fibres optiques), Digital Control System. Tout ce système est lié au réseau électrique comme représenté dans la figure 3.6 et dans la figure 3.7.

D'où l'idée d'une source externe indépendante qui fournira l'énergie nécessaire à son fonctionnement même en cas de black-out. De plus, il permettra d'économiser l'énergie prélevée sur le réseau pour les besoins du poste de transformation d'interconnexion [54].

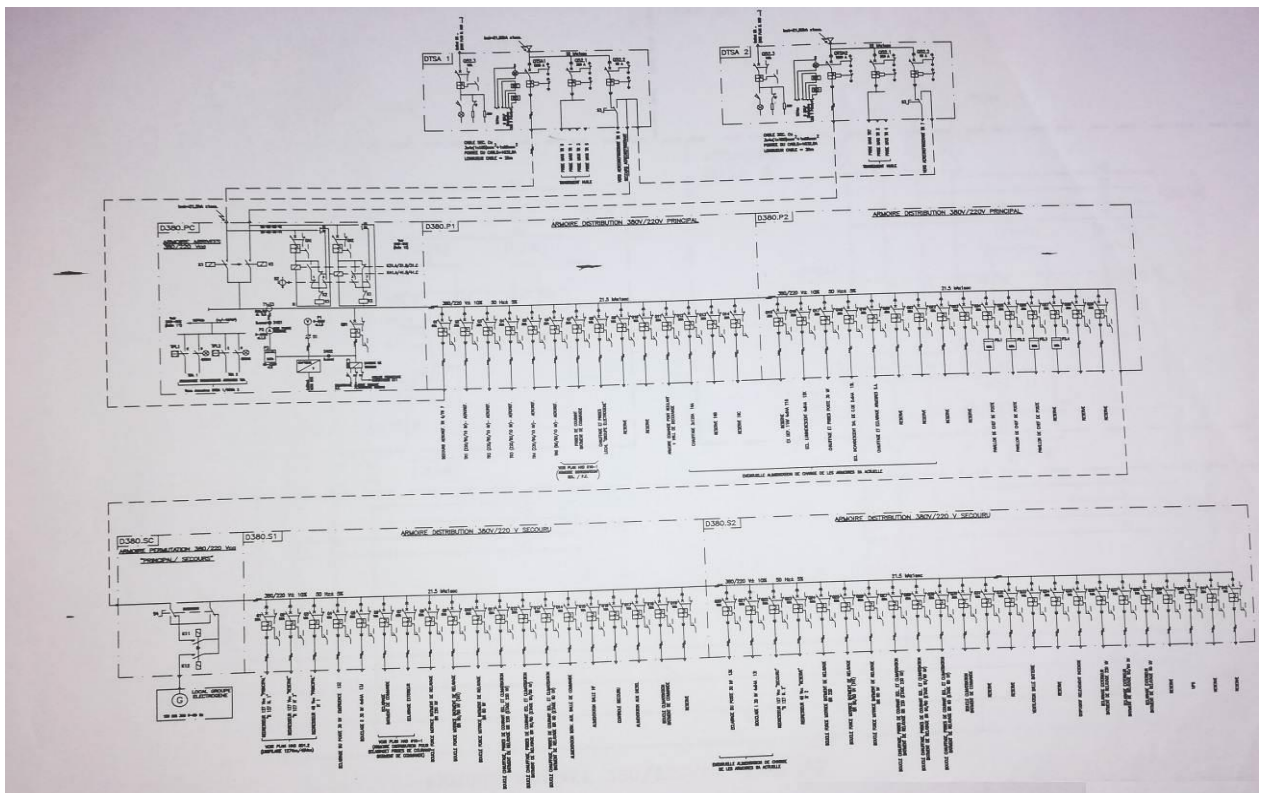


Figure 3.6. Schéma unifilaire des auxiliaires du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR [53]

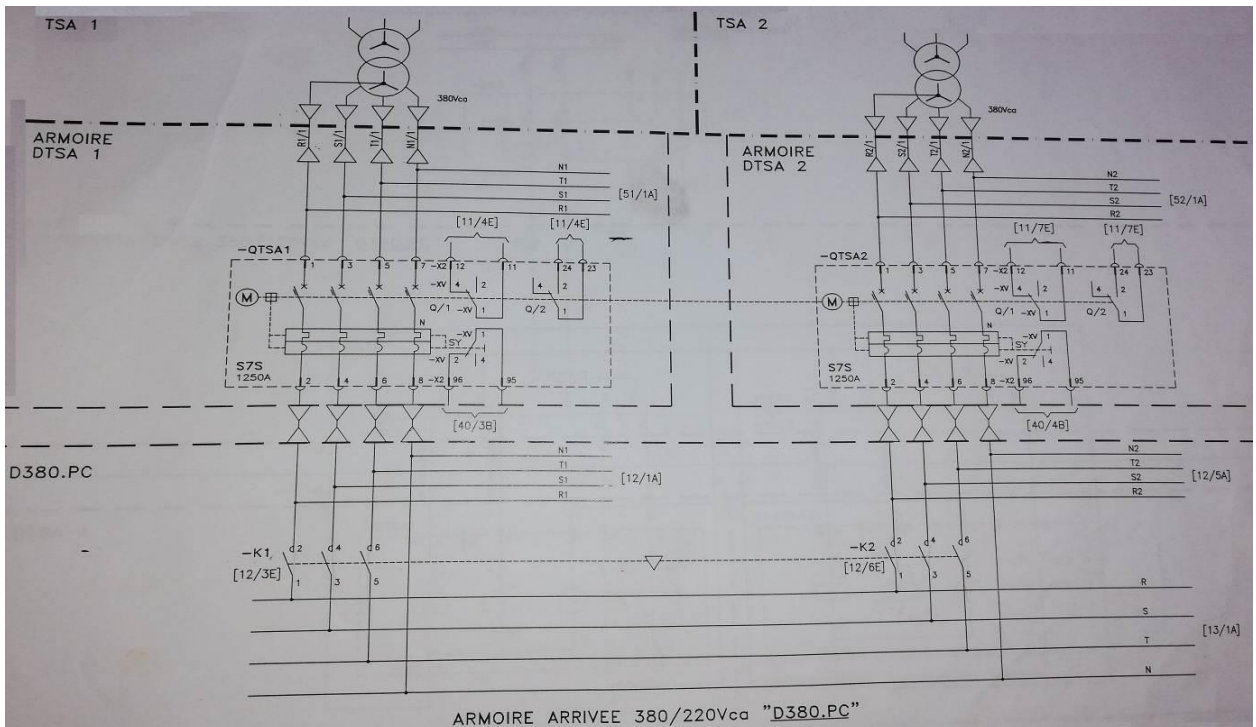


Figure 3.7. Schéma unifilaire des auxiliaires du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR (suite) [53]

3.31. Les auxiliaires du poste EL HADJAR :

Les équipements des transformateurs auxiliaires (TSA) sont divisés en deux parties, les équipements haute tension et les équipements basse tension comme présenté dans la figures 3.8, figure 3.9. et figure 3.10.



Figure 3.8. Armoire des redresseurs 127Vcc du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR [53]



Figure 3.9. Armoire des auxiliaires du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR [53]



Figure 3.10. Raccordement de l'armoire des auxiliaires [53]

Le local des transformateurs de puissance et des auxiliaires du poste EL HADJAR est présenté sur la figure 3.11.



Figure 3.11. Local des auxiliaires du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR [53]

La plaque signalétique du transformateur des auxiliaires est présentée dans la figure 3.12

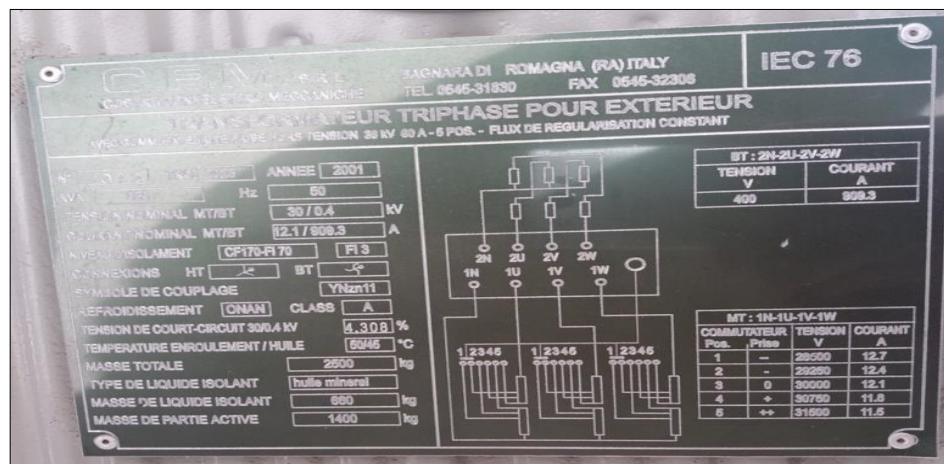


Figure 3.12. Plaque signalétique du TSA du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR [53]

3.32. Les schémas unifilaires du poste EL HADJAR :

Les étages de tension 220kV, 90kV et 60kV du poste EL HADJAR sont simplifiés par des schémas unifilaires représentés dans la figure 3.13, figure 3.14, figure 3.15 et figure 3.16

Les transformateurs de service auxiliaire 30/0,4 kV du poste de transformation 220KV/90KV/60KV/30kV EL HADJAR sont alimentés en biberon sur le transformateur 60/30kV N°6 comme présenté au niveau de la figure 3.17.

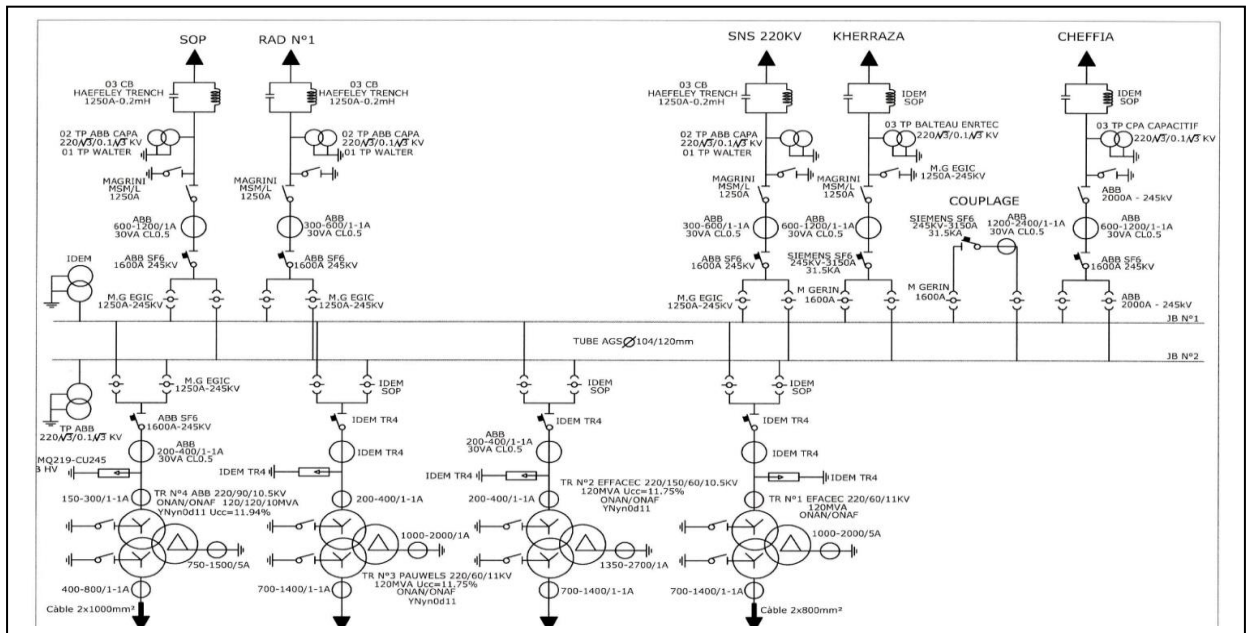


Figure 3.13. Schéma unifilaire du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR de l'étage 220kV [53].

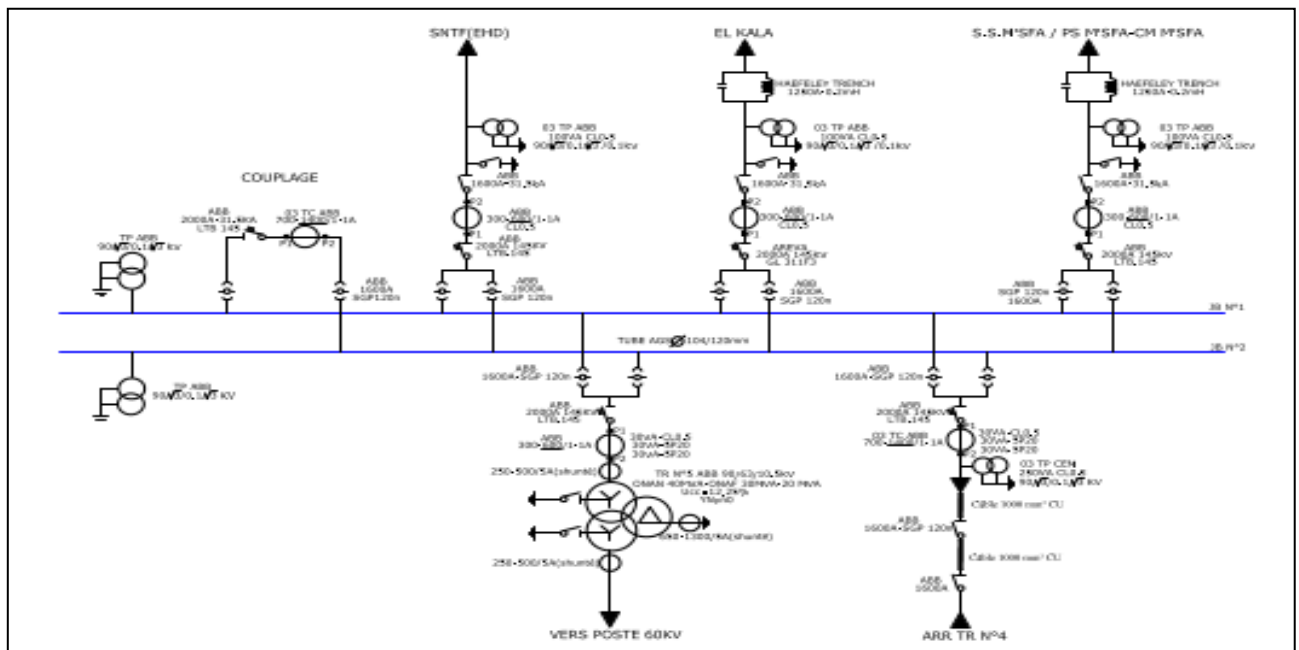


Figure 3.14. Schéma unifilaire du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR de l'étage 90kV [53].

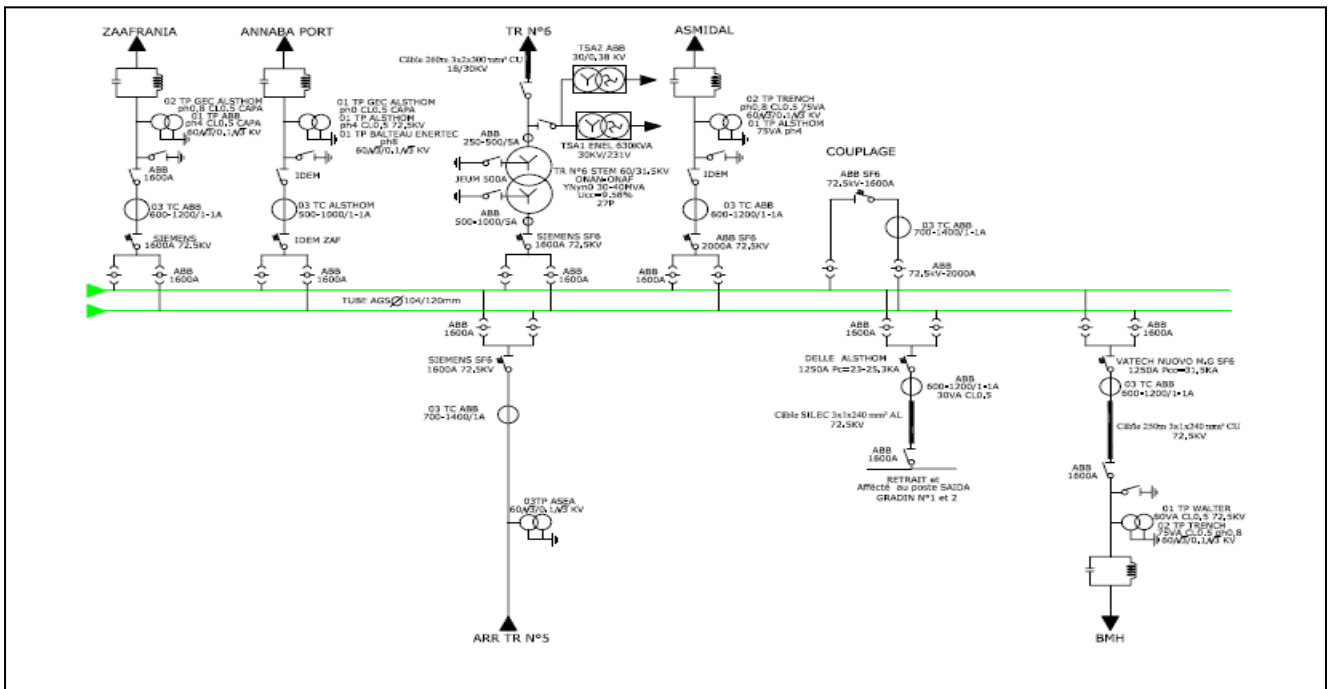


Figure 3.15. Schéma unifilaire du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR de l'étage 60kV [53].

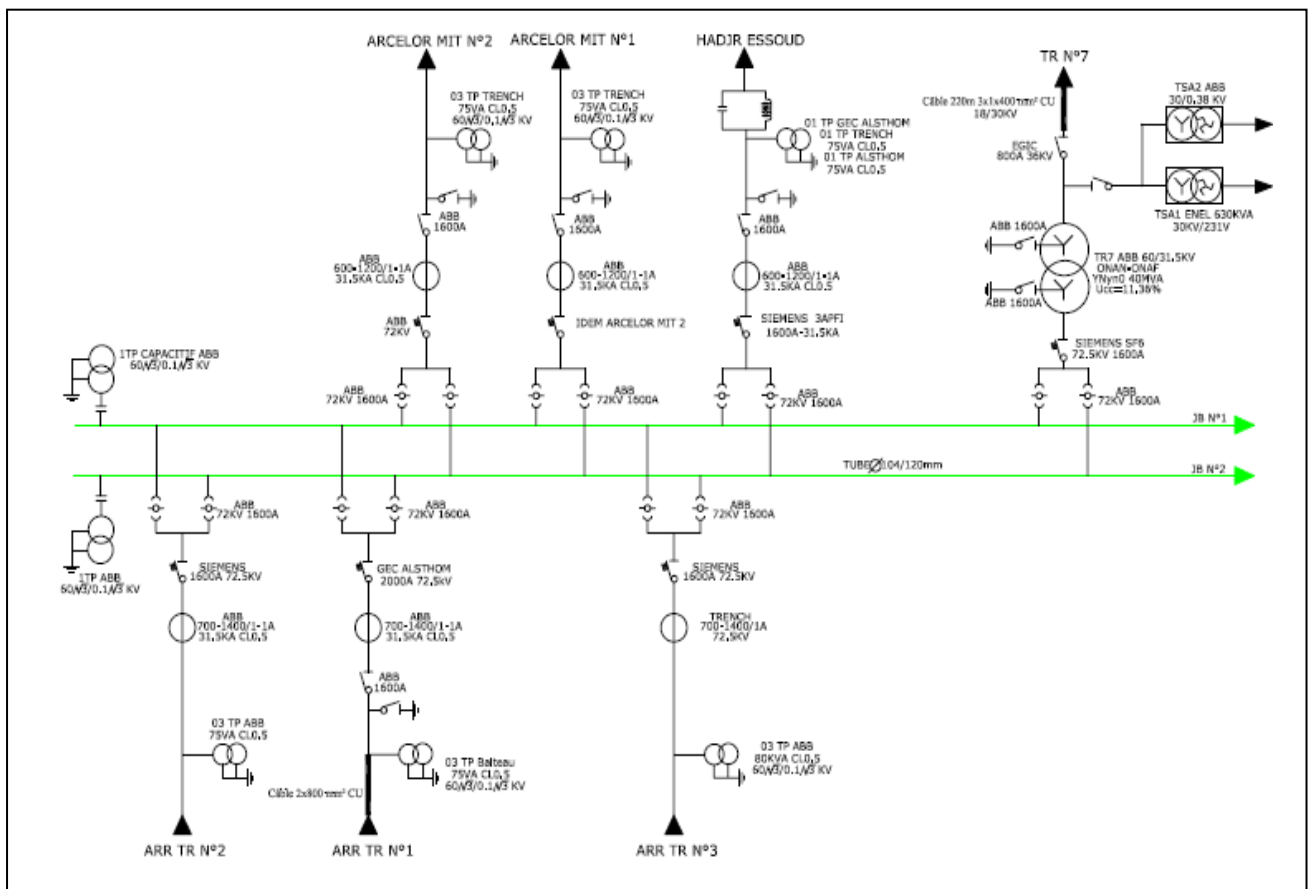


Figure 3.16. Schéma unifilaire du poste 220/90/60/30kV EL HADJAR étage 60kV (la suite) [53].

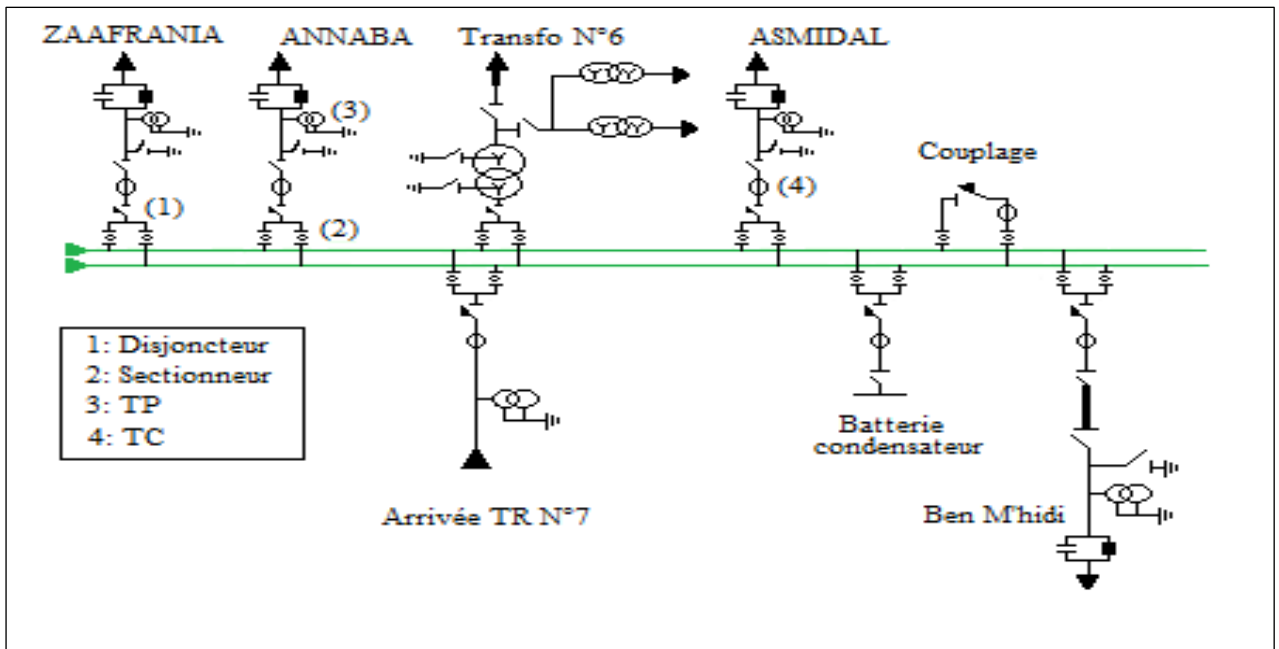


Figure 3.17. Schéma d'alimentation des auxiliaires au poste 220/90/60/30kv EL HADJAR [54].

Dans ce chapitre une étude de fiabilisation de l'alimentation des auxiliaires du poste EL HADJAR par une source indépendante, disponible et gratuite qui est l'énergie photovoltaïque. Le système photovoltaïque est statique, silencieux et exempt de pièces mobiles, ce qui lui permet de réduire les coûts d'exploitation et de maintenance [18]. Il assure non seulement la continuité de service dans toutes les conditions normales et d'urgence, aussi augmente également la fiabilité de fonctionnement des équipements de communication, de mesure, de contrôle et de protection.

La superficie de la salle de Commande du poste EL HADJAR est le meilleur emplacement pour l'installation des panneaux photovoltaïque comme présenté dans la figure 3.18.

La défaillance de l'alimentation en Energie ie électrique provoque des perturbations dans les procédés et risque de les endommager et réduit la rentabilité. Le générateur de tension, en particulier les systèmes photovoltaïques, fournit de l'Energie ie électrique sans interruption, en générant de l'électricité directement à partir de la lumière du soleil [55].



Figure 3.18. Bâtiment de Commande poste 220/90/60/30kv EL HADJAR [54].

3.33. Historique des incidents enregistrés au poste EL HADJAR :

Une étude a été élaborée sur les incidents enregistrés durant les 05 dernières années au niveau du poste EL HADJAR, dont le détail des incidents est le suivant [53] :

- **En date du 25/02/2015 à 07h27mn** : Manque tension sur étage 60kV au poste EL HADJAR, causé par le déclenchement de la ligne 60kV EL HADJAR/HADJAR SOUD et HADJAR SOUD/GUELMA. END = 14,78MWh (le poste est resté dans le noir pendant 01h31mn).
- **En date du 15/11/2016 à 12h03mn** : Manque tension sur étage 60kV au poste EL HADJAR, causé par le déclenchement de la ligne 60kV EL HADJAR/ARCELOR METAL1. END = 5,38MWh (le poste est resté dans le noir pendant 17mn)
- **En date du 16/08/2017 à 19h12mn** : Manque tension sur étage 60kV au poste EL HADJAR, causé par le claquage câble HT déclenchement de la ligne 60 kV EL HADJAR/ZAAFRANIA. END = 8,45MWh (le poste est resté dans le noir pendant 21mn).
- **En date du 03/07/2018 à 04h41mn** : Manque tension général causé par la rupture et chute de la tendue phase 4 du départ 60kV BEN M'HIDI sur les 02 Jeux de barres 60kV au poste EL HADJAR ayant engendré l'avarie du disjoncteur 60kV départ BEN M'HIDI à EL HADJAR. END = 91,25MWh (le poste est resté dans le noir pendant 02h39mn).
- **Le 21/01/2020 à 07h27mn** : Manque tension sur étage 60kV au poste EL HADJAR, causé par le manque en courant continu suite défaut batterie 127Vcc. END = 9,2MWh (le poste est resté dans le noir pendant 23mn).

La synthèse de calcul des END ainsi que les manques à gagner sont représentés dans le tableau 3.1 cité ci-après :

Tableau 3.1. Historique des incidents enregistrés au poste EL HADJAR

Date	25/02/2015	15/11/2016	16/08/2017	03/07/2018	21/01/2020
Incident	2015	2016	2017	2018	2020
END (MWh)	14,78	5,38	8,45	91,25	9,2
Manque à gagner (DA)	103460	37660	59150	638750	64400
Manque à gagner (Euro)	14508239,9	5281077,87	8294629,74	89572185	9030839,48

La répartition des manques à gagner des incidents survenus au poste 220/90/60/30kV EL HADJAR est représenté dans la figure 3.19.

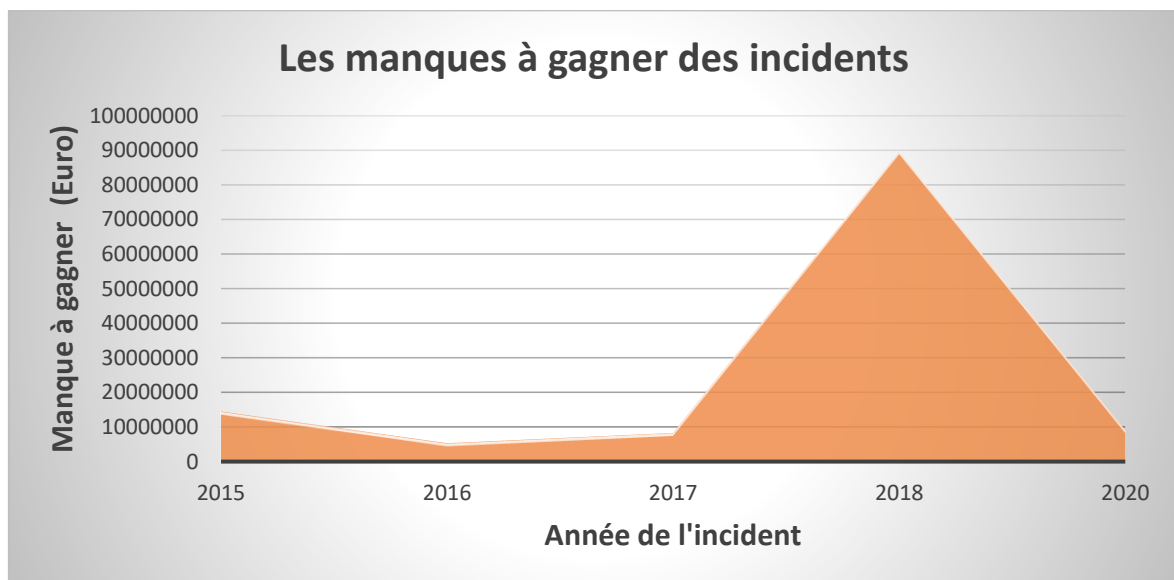


Figure 3.19. Répartition des manques à gagner des incidents survenus au poste EL HADJAR.

L'étude de pour la fiabilisation de l'alimentation des auxiliaires du poste EL HADJAR par une source d'alimentation fiable et indépendante à donner les résultats représentés dans la figure 3.20:

- **1^{er} cas** : Le cas de l'alimentation des auxiliaires du poste EL HADJAR par des panneaux photovoltaïques seulement donne un bénéfice de 4 274 492 646,32 Euro/Ans à la SONELGAZ.
- **2^{eme} cas** : Le cas de l'alimentation des auxiliaires du poste EL HADJAR par une alimentation combinée : par les panneaux photovoltaïques durant la journée et par les auxiliaires TSA durant le soir donne un bénéfice de 1 424 830 882,11 Euro/Ans à la SONELGAZ.

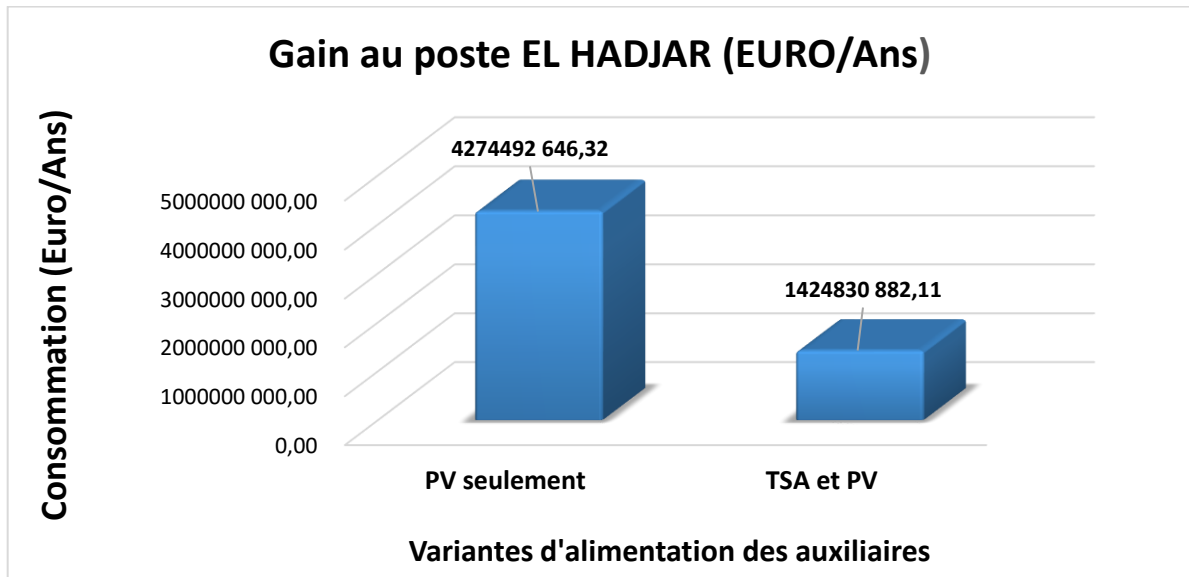


Figure 3.20. Gain enregistré par chaque variantes d'alimentation des auxiliaires au poste 220/90/60/30kV EL HADJAR [54].

Dans le tableau 3.2 est représenté la synthèse des gains pour chaque variantes d'étude.

Tableau 3.2 Synthèse des gains pour les variantes d'études

Cas des variantes	Photovoltaïque seulement	TSA et photovoltaïque
Gain (DA/ans)	30 481 920,00	10 160 640,00
Gain (EURO/ans)	4 274 492 646,32	1 424 830 882,11

Notons bien que les auxiliaires du poste EL HADAJR ont une consommation bien considérable prenant à titre d'exemple le cas de la consommation durant l'année 2018 cité dans la figure 3.21

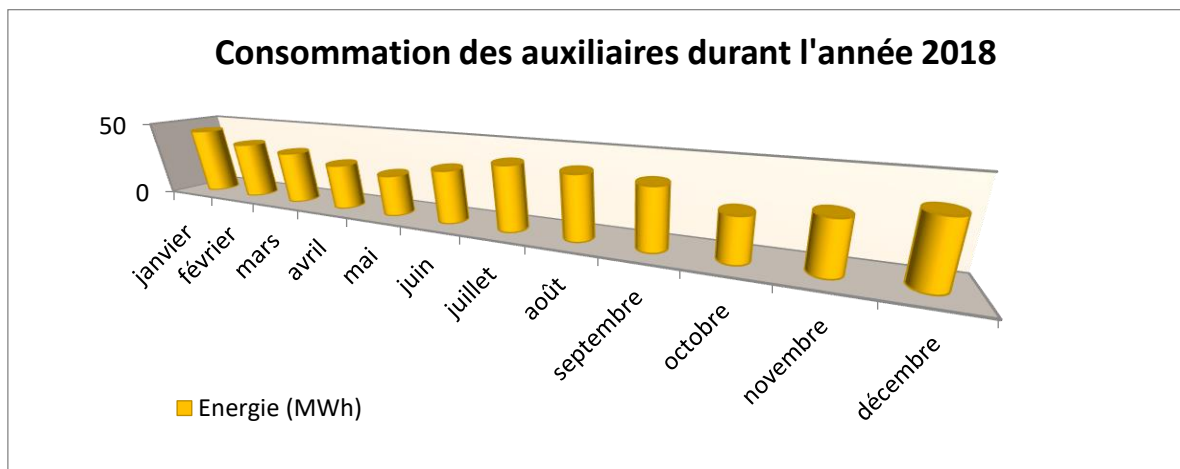


Figure 3.21. Consommation des auxiliaires du poste EL HADJAR durant l'année 2018

3.34. Résultats des simulations :

Les résultats de simulation représentent une amélioration dans les paramètres Électriques à savoir le signal courant et tension suite à l'alimentation des auxiliaires par une source stable est fiable sans interruption.

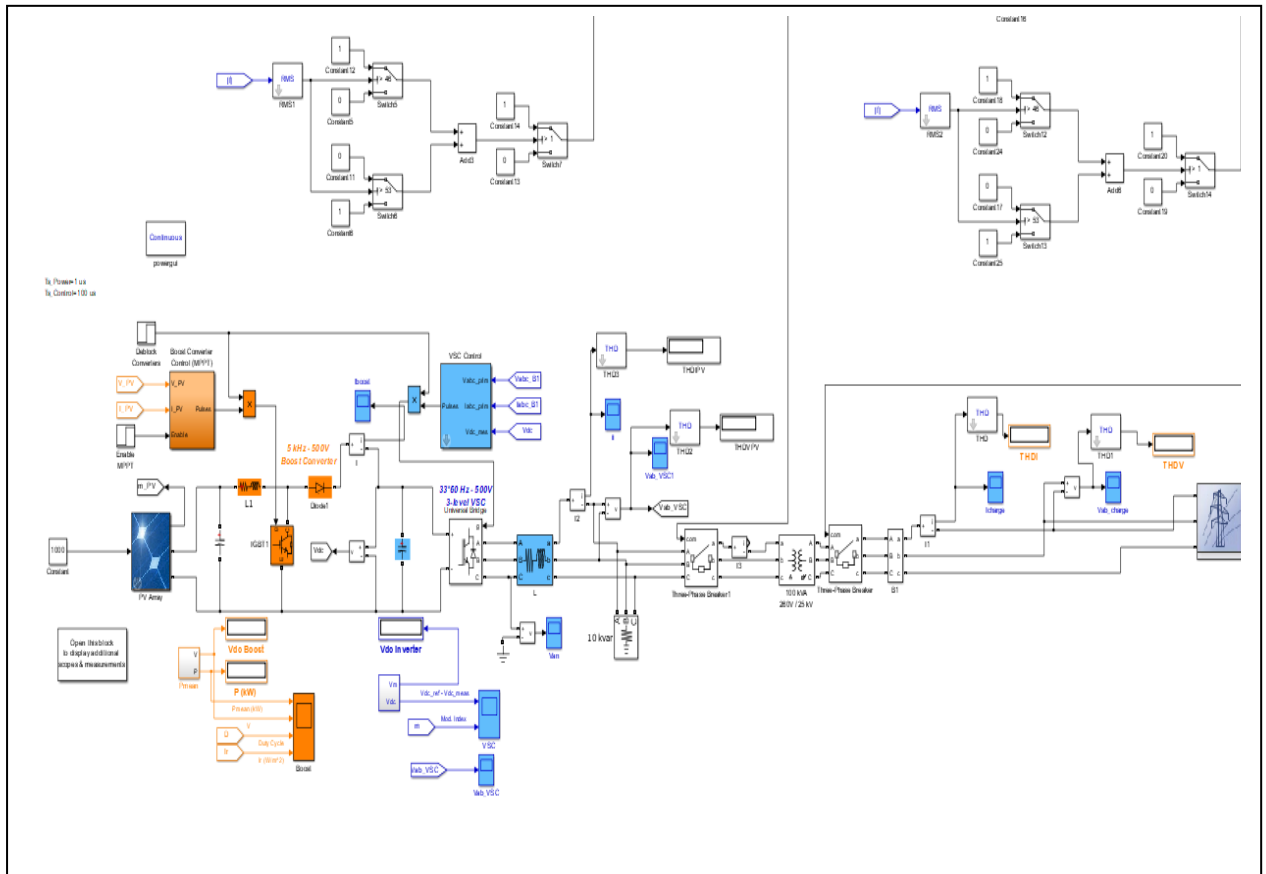


Figure 3.22. Simulation de l'alimentation des auxiliaires du poste EL HADJAR avec une source photovoltaïque [54].

3.35. Résultats et graphes :

Les figures suivantes présentent les résultats de simulations

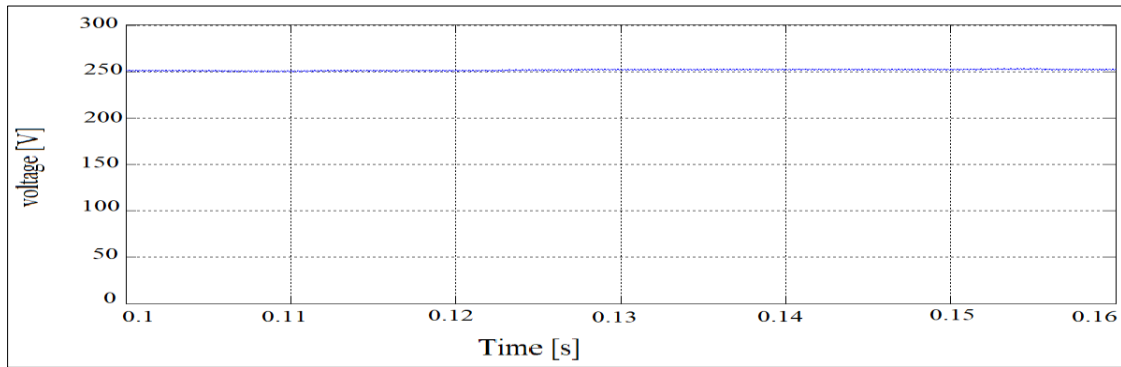


Figure 3.23. Tension mesurée à la sortie du panneau photovoltaïque [54].

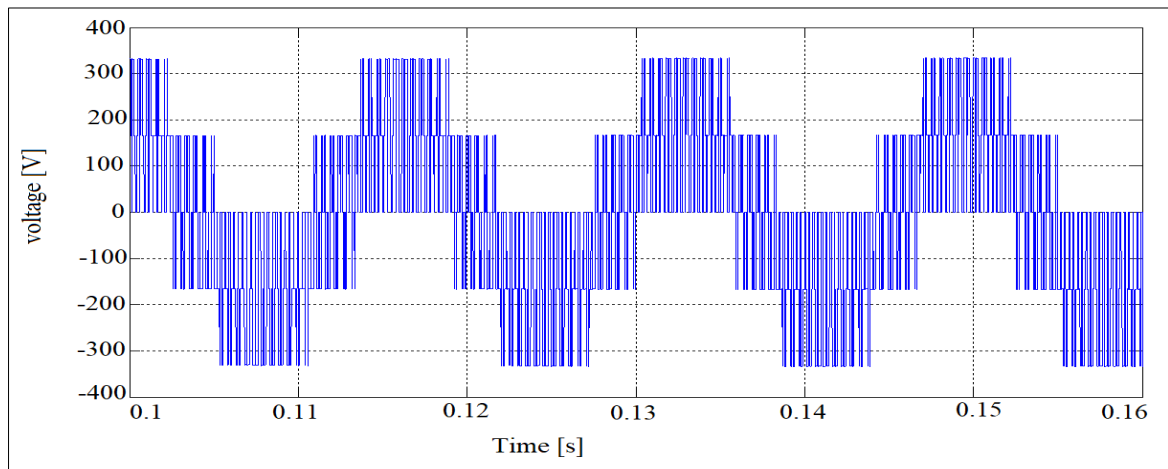


Figure 3.24. Tension mesurée à la sortie de l'hacheur [54].

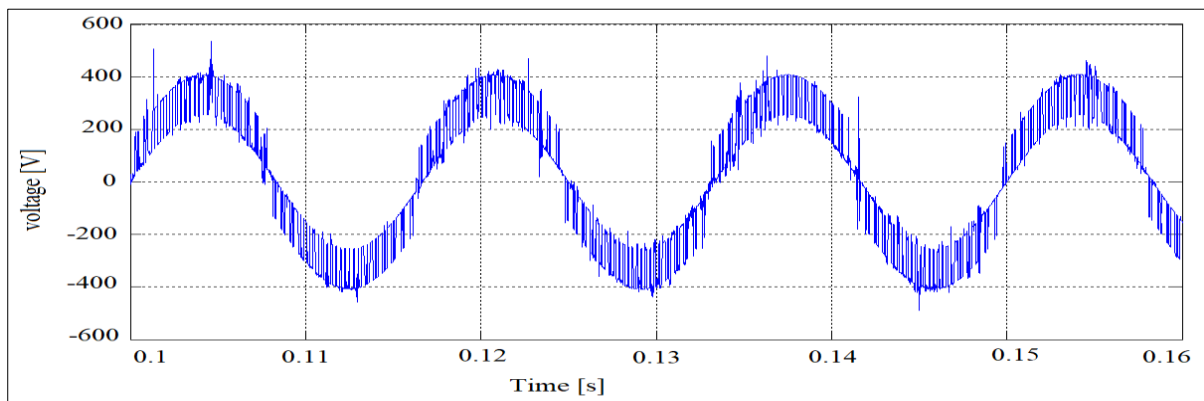


Figure 3.25. Tension au niveau de la charge [54].

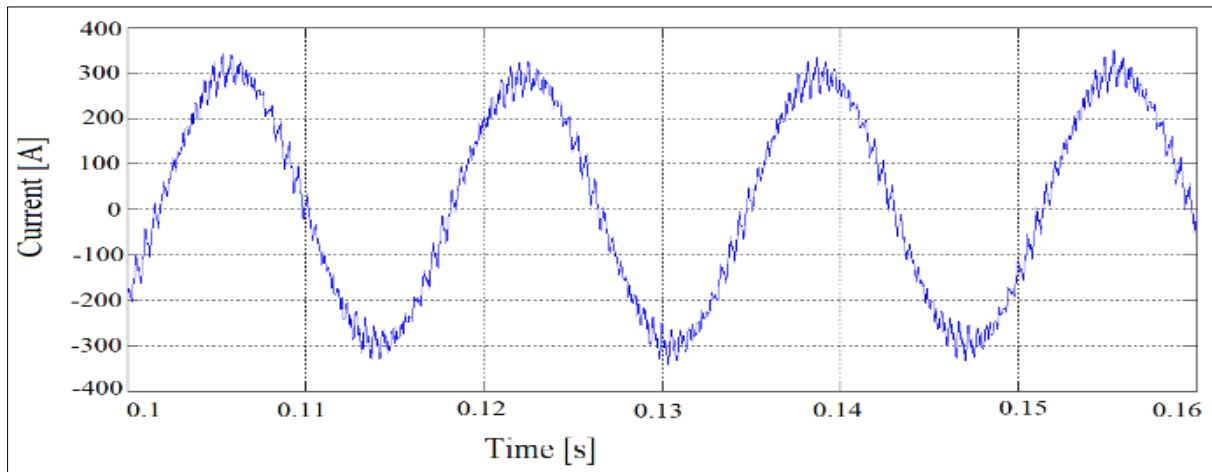


Figure 3.26. Courant au niveau de la charge [54].

3.36. Discussion des résultats :

En ce qui concerne les résultats de la simulation, nous suggérons l'alimentation des auxiliaires du poste EL HADJAR par une source indépendante puisque la tendance vers ces sources devient de plus en plus répandue dans le monde permet non seulement d'augmenter la fiabilité de fonctionnement des protections, de communication, de comptage et de contrôle mais aussi pour assurer la continuité de service dans des conditions normales voire d'urgence (en cas de perturbation du réseau).

3.37. Conclusion :

L'alimentation des auxiliaires d'un poste électrique doit être fiable en permanence, dans ce chapitre nous avons cité l'exemple d'un poste d'interconnexion 220/90/60/30kV EL HADJAR, les résultats de l'étude montrent que la puissance consommée par les auxiliaires de la station est de l'ordre de 504KW représentant un coût de 3528 DA/h. Le remplacement de l'alimentation des auxiliaires par des sources photovoltaïques renforce la fiabilité de l'alimentation des auxiliaires du poste ainsi peut rentabiliser la SONELGAZ à 2 540 160 DA/Mois, soit 30 481 920 DA/Ans. Si cette solution sera appliquée et généralisée sur tous les ouvrages du réseau électrique géré par la société de Gestion du Réseau de Transport Électrique (GRTE) de l'EST de l'Algérie seulement (71 ouvrages), il en résultera un gain de 180 351 360 DA/Mois. En investissant dans ce projet, SONELGAZ bénéficiera d'une part d'économies d'énergie et donc d'argent et d'autre part d'une amélioration de la qualité de ses services.

CHAPITRE N°4 :

Fonctionnement de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT et études pour l'amélioration de ses paramètres de qualité de service.

4.1. Introduction :

La fiabilité de tout système d'alimentation Électrique doit être évaluée afin d'augmenter la durabilité. Conformément à la norme IEEE 1366, 2012, la fiabilité est modélisée par les paramètres de qualité de service et de rentabilité, cette fiabilité dépend fortement du code réseau appliqué

Dans ce chapitre une présentation détaillé de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT, suivi d'une étude démonstrative que le code réseau peut diminuer significativement la fiabilité de fonctionnement, dans de nombreux cas les protections électriques de la centrale photovoltaïque réagissent en la déconnectant, alors que le défaut est extérieur. L'exploration de données montre que de nombreuses pannes de centrales photovoltaïque ne sont pas nécessaires. Un code de réseau modifié a été appliqué à la centrale photovoltaïque et comparée à ceux existants. La proposition est basée sur la gestion logicielle et matérielle d'où la fiabilité a été fortement améliorée.

4.2. Présentation générale de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT :

Le projet de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT est installée à $35^{\circ}55'2.17''$ N $7^{\circ}52'14.22''$ E au niveau de la Wilaya de SOUK AHRAS à l'Est de l'Algérie (à 70 km au Sud Est exactement dans la commune OUED KEBRIT) à 150 km au Sud-Est d'Annaba et à 75 km au Sud-Est de Guelma comme présenté dans la figure 4.1 [56]. Sa mise en service été en date du 23/04/2014 et sa mise en place conformément à « l'Arrêté du 14 Safar 1429 correspondant au 21 février 2008 fixant les règles techniques de raccordement au réseau de transport de l'électricité et les règles de conduite du système électrique », ainsi qu'aux "Règles techniques de raccordement au réseau de transport de l'électricité et règles de conduite du système du système électrique" de février 2008 du Ministère de l'énergie et des Mines d'Algérie [56].

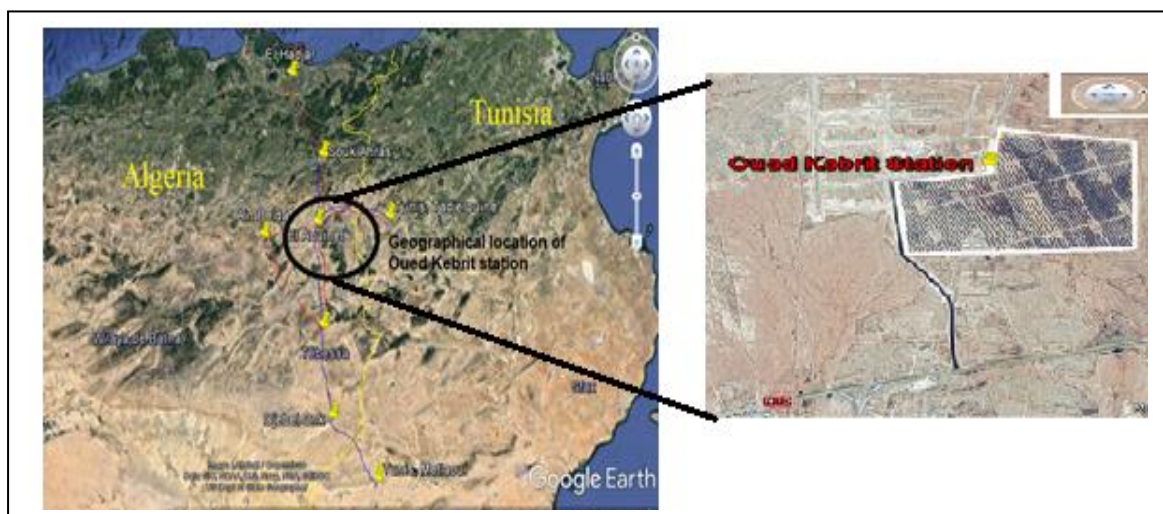


Figure 4.1. Localisation de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT [57] [58]

Cette station première du genre dans la wilaya de SOUK AHRAS, disposera de cellules solaires photovoltaïque est d'une capacité de 15 MWc et élevée sur une superficie estimée à 30 ha comme présenté dans la figure 4.2 [56]

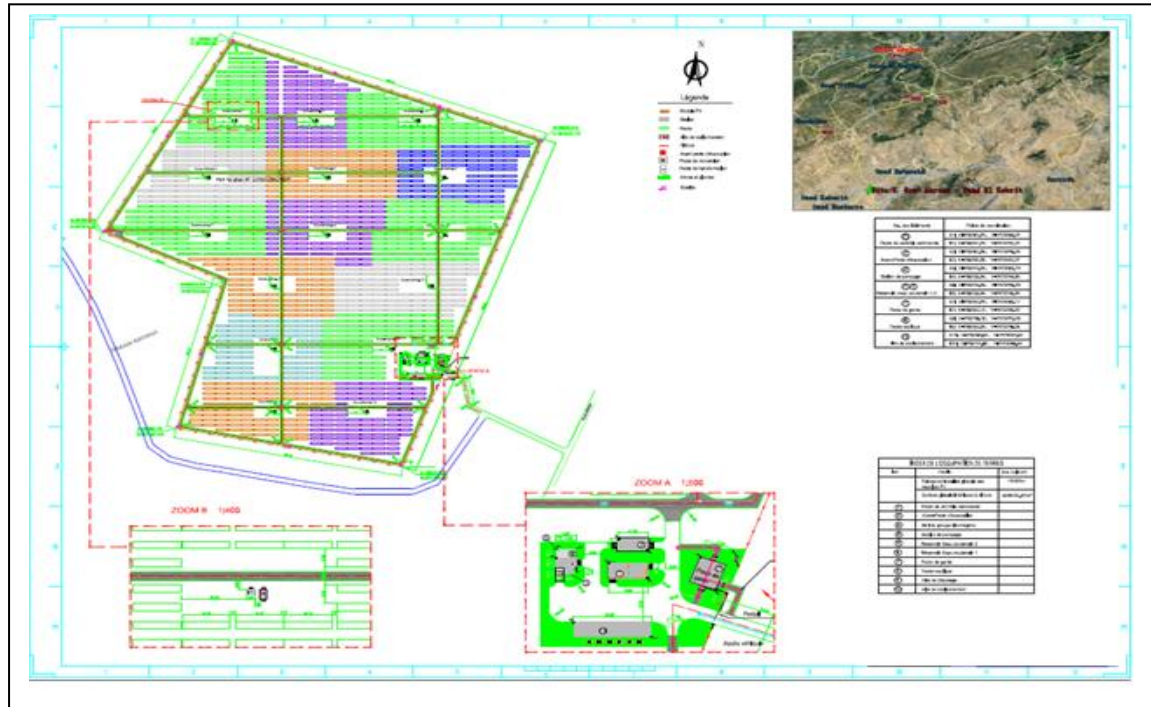


Figure 4.2. Plan de masse la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT [56].

4.3. Description de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT :

- La centrale est installée pour débitée réellement une puissance de 15,012MWc.
- Chaque sous-champ de la centrale est constitué de 4004 modules photovoltaïque dont la puissance installée réelle est égale à 1,001MWc comme présenté dans la figure.4.3
- La centrale est composée de quinze (15) sous-champs installés en deux boucles et injectés dans le réseau 30kV via 15 paires de transformateurs élévateurs secs 400V / 30 kV d'une puissance nominale de 630kVA [56] [57].
- La centrale photovoltaïque contient un nombre total de modules photovoltaïque de 60060 modules photovoltaïque en Silicium Polycristallin [56].
- Chaque transformateur est relié à deux onduleurs d'une puissance de 500 kW et d'une tension de sortie de 400V.
- Chaque sous-champ comprend un transformateur, deux onduleurs, 91 matrices. [56] [57].
- Chaque matrice a 44 panneaux avec deux chaînes (2x22 en séries) figure 4.3.



Figure 4.3. Les panneaux photovoltaïques de la centrale OUED KEBRIT.

4.4. Caractéristiques des panneaux photovoltaïques de la centrale OUED KEBRIT :

Les panneaux photovoltaïques utilisés dans la centrale OUED KEBRIT ayant les caractéristiques Électriques présentées dans la plaque signalétique Figure 4.4 et les caractéristiques géométriques dans la Figure 4.5 ainsi que les caractéristiques générales suivantes :

- Numéro du modèle : YL250P-29b
- Cellules solaires polycristallines à haut rendement
- Puissance de sortie est de 250 Wc
- Verre texturé à haute transmission
- Tolérance de puissance positive de -0 / +5 %
- Cadre en aluminium robuste et résistant à la corrosion
- Garantie de service de 25 ans [59].

Le module Photovoltaïque est mesuré à un spectre solaire AM1.5G, Une irradiance 1000W/m ² et une température cellule de 25°C	
Type de module : YL250P-29b	Classe d'application : A
Puissance mesurée : 250.0 W(0/+5W)	
Tension mesurée : 29.8 V	Tension à circuit ouvert : 37.6 V
Courant mesuré : 8.39 A	Courant de court-circuit : 8.92 A
Fusible série Max. : 15 A	Tension système max. : 1000 V

Figure 4.4. Plaque signalétique du panneau photovoltaïque de la centrale OUED KEBRIT.

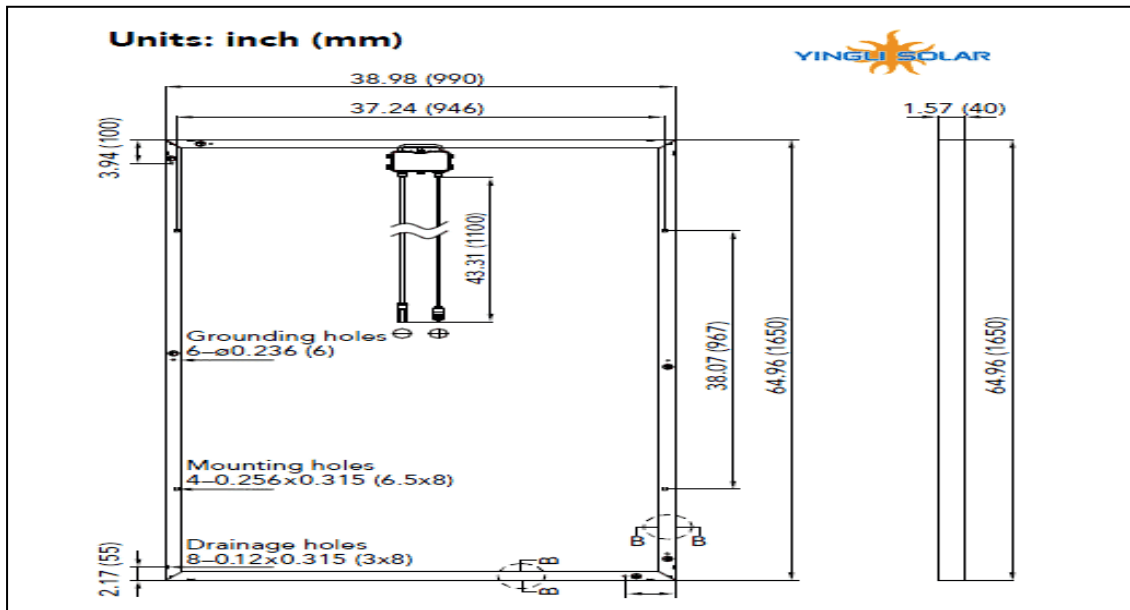


Figure 4.5. Caractéristique géométrique du panneau photovoltaïque de la centrale OUED KEBRIT.

- Les sous champs de la centrale sont reliés entre eux par des boîtiers de connexion comme indiqué dans la figure 4.6 et figure 4.7 type parallèle niveau 1 et type parallèle niveau 2

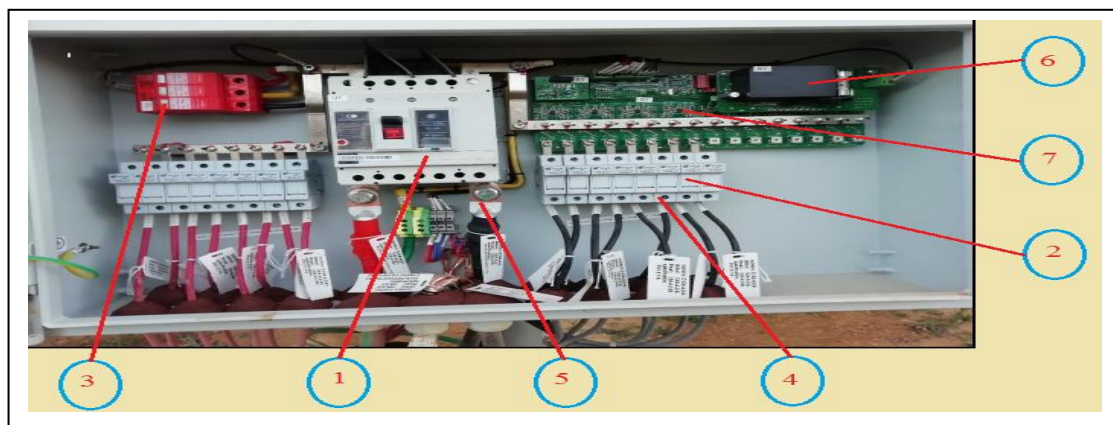


Figure 4.6. Caractéristique des boîtes parallèles niveau 1

- 1 : Interrupteur sectionneur
- 2 : Fusibles/ portes fusibles
- 3 : Parafoudre
- 4 : Connecteurs champs à l'entrée (8+ et 8-)
- 5 : Bornier de sortie (grand+ et grand -)
- 6 : Unité d'alimentation
- 7 : Carte d'acquisition des mesures



Figure 4.7. Plaque signalétique de la boîte parallèle niveau 1

La boîte parallèle niveau 1 collecte 4 matrices comme présenté dans la figure 4.8.

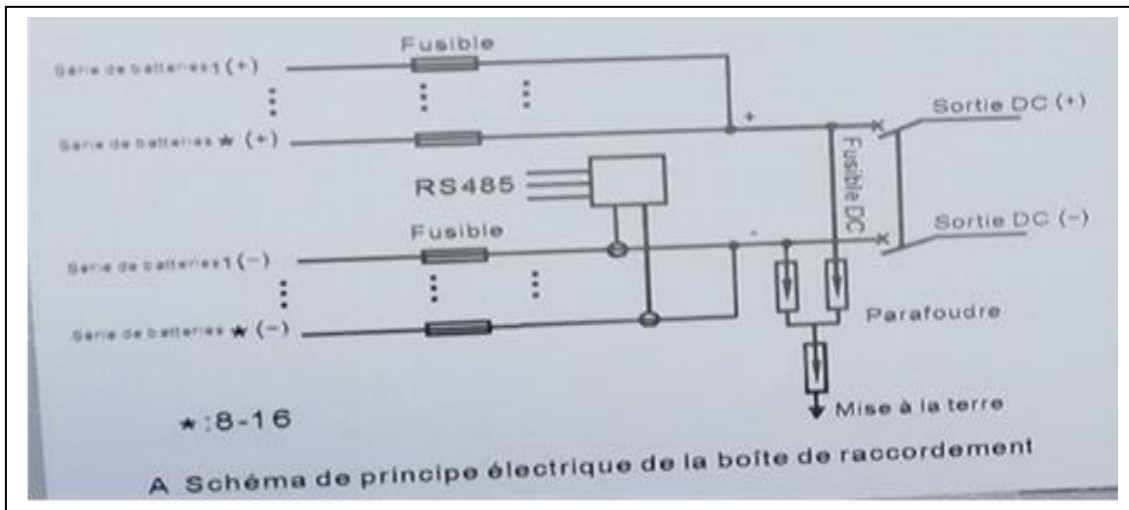


Figure 4.8. Schéma de raccordement de la boîte parallèle niveau 1

Au niveau de la boîte parallèle niveau 1 : (chaque matrice 2+ et 2-) donc entrée (8+ et 8-)
Sortie (grand+ grand -) la sortie de cette boîte vers la boîte de raccordement parallèle niveau 2
représentée dans la figure 4.9 et figure 4.10



Figure 4.9. Caractéristique des boîtes parallèles niveau 2

- 1 : Interrupteur sectionneur principal
- 2 : Connecteurs champs à l'entrée (8+ et 8-)
- 3 : Bornier de sortie (grand+ et grand -)
- 4 : Parafoudre
- 5 : Interrupteur sectionneur principal
- 6 : Interrupteur sectionneur principal de secours
- 7 : les barres

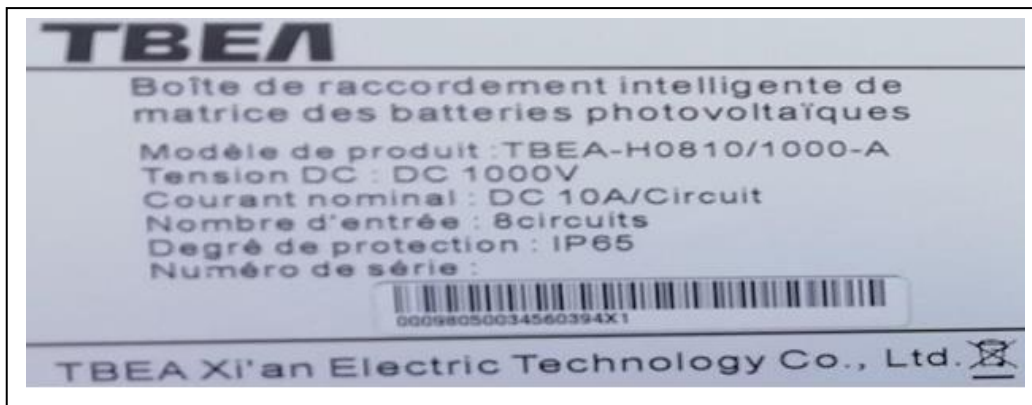


Figure 4.10. Plaque signalétique de la boîte parallèle niveau 2

Boîte de raccordement parallèle niveau 2 collecte 3 boîtes parallèles niveau 1 entrée (3+ et 3-) sortie (grand+ grand -) la sortie de cette boîte vers l'onduleur comme présenté dans la figure 4.11.

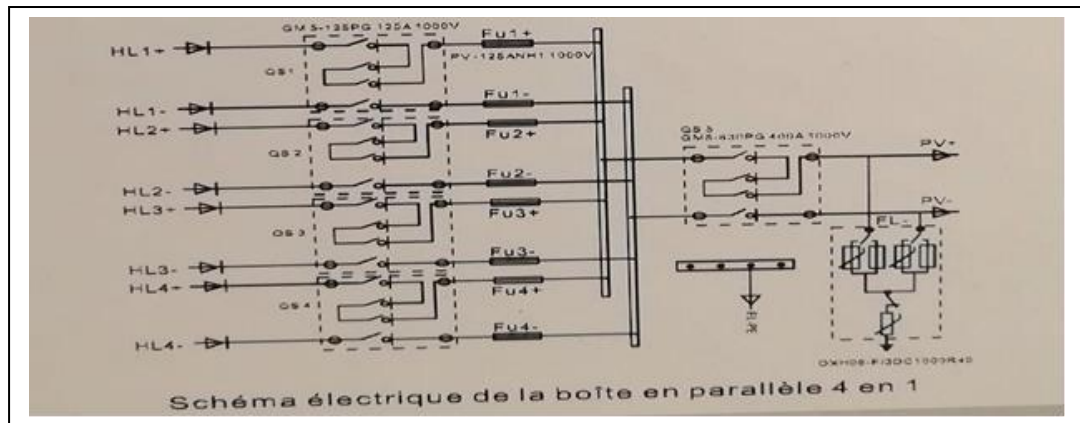


Figure 4.11. Schéma de raccordement de la boîte parallèle niveau 2

4.5. Caractéristique des onduleurs de la centrale OUED KEBRIT : [56]

Chaque poste de conversion comprend deux (2) onduleurs voir figure 4.12 ayant les caractéristiques suivantes :

- Marque : SUNGROW
- Type : SG 500MX
- Puissance apparente nominale : 550 kVA
- Puissance active nominale : 500 kW
- Tension AC nominale : 315 V
- THDI : <3%
- Plage de tension AC : 250-362 V
- Plage de fréquence : 47-52 Hz
- Facteur de puissance : 0,9 arrière – 0,9 avant
- Rendement : 98,5% selon normes européennes

4.6. Schéma signe optique de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT : [56]

Dans la centrale OUED KEBRIT chaque sous-champ est doté de deux onduleurs centralisés en plus d'un transformateur élévateur comme le présente la figure 4.12.

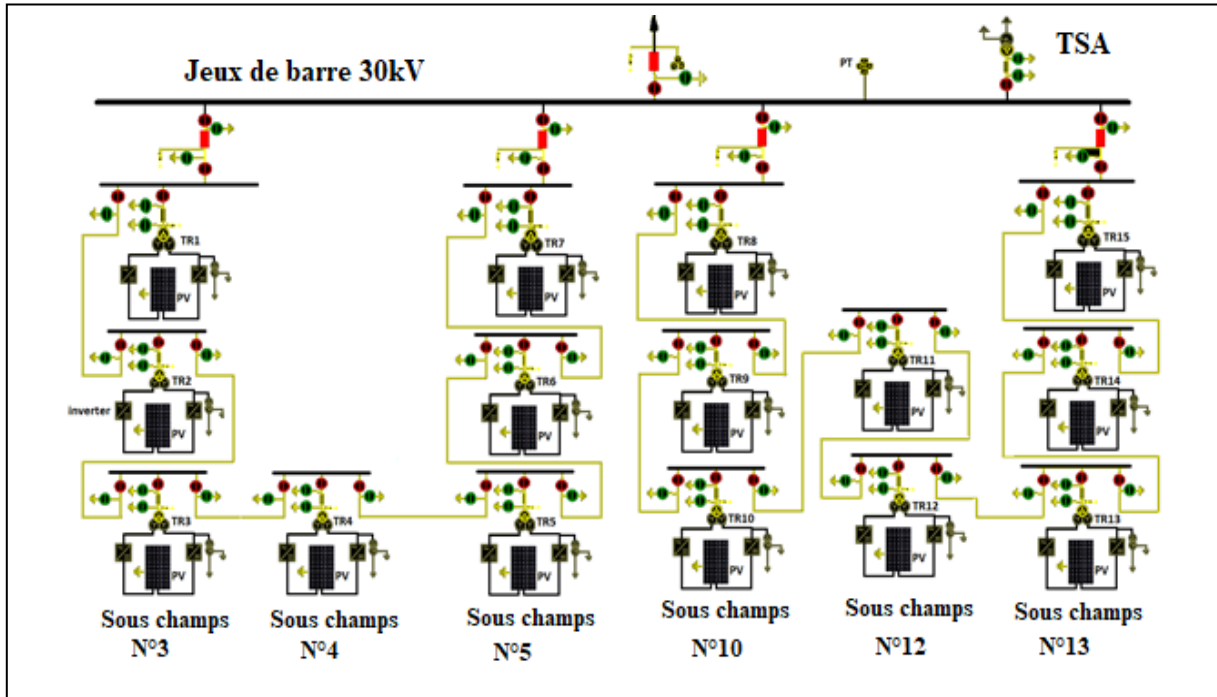


Figure 4.12. Schéma signal optique de la photovoltaïque OUED KEBRIT [56] [57].

L'évacuation de la production de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT vers l'étage 30kV du poste 90/30kV EL AOUINET comme présenté dans la figure 4.13, la centrale débitera toute sa production sur le jeu de barres de l'étage 30kV du poste 90/30kV EL AOUINET

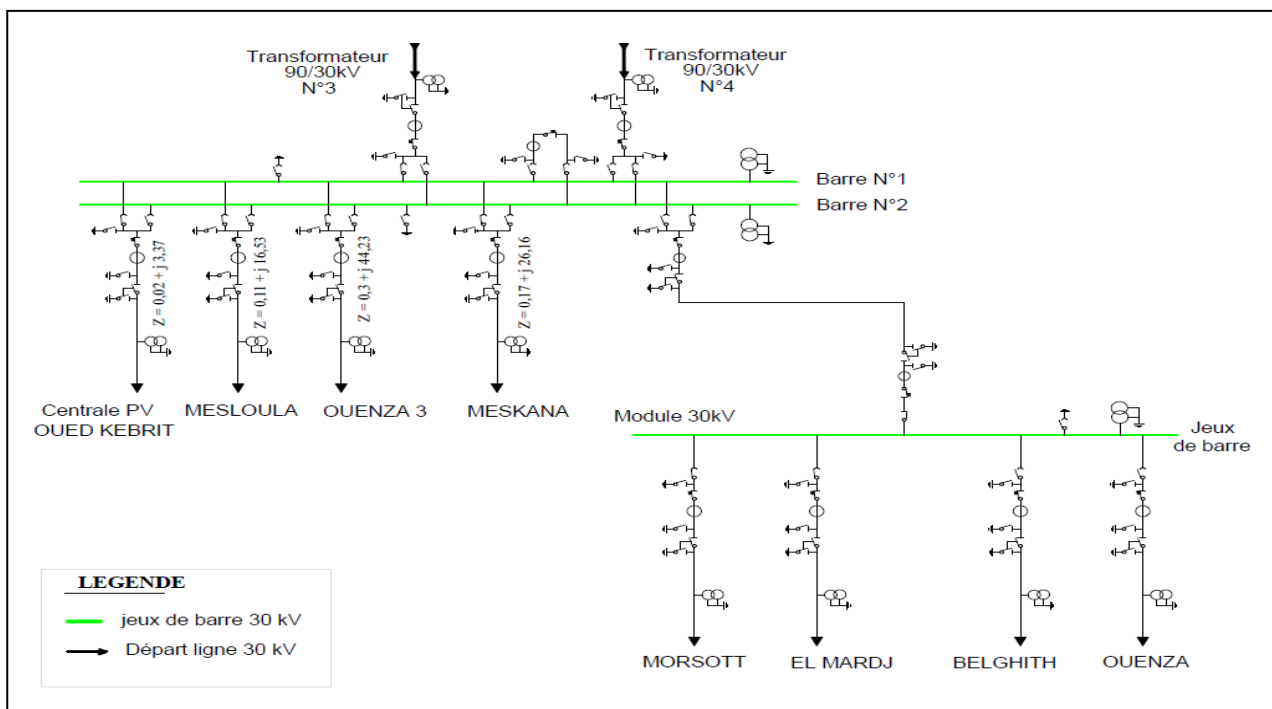


Figure 4.13. Le schéma unifilaire de l'étage 30kV au poste 90/30kV EL AOUINET [56] [57].

Au niveau de la centrale la tension de sortie des onduleurs est de 315V, sont connectés côté basse tension via des câbles de courant alternatif (CA) au transformateur élévateur de 1250kVA qui élève la tension à 31,5kV. Le mode de raccordement de la centrale proposé par la Société Nationale D'électricité Et De Gaz est présenté dans la figure 4.14 [56].

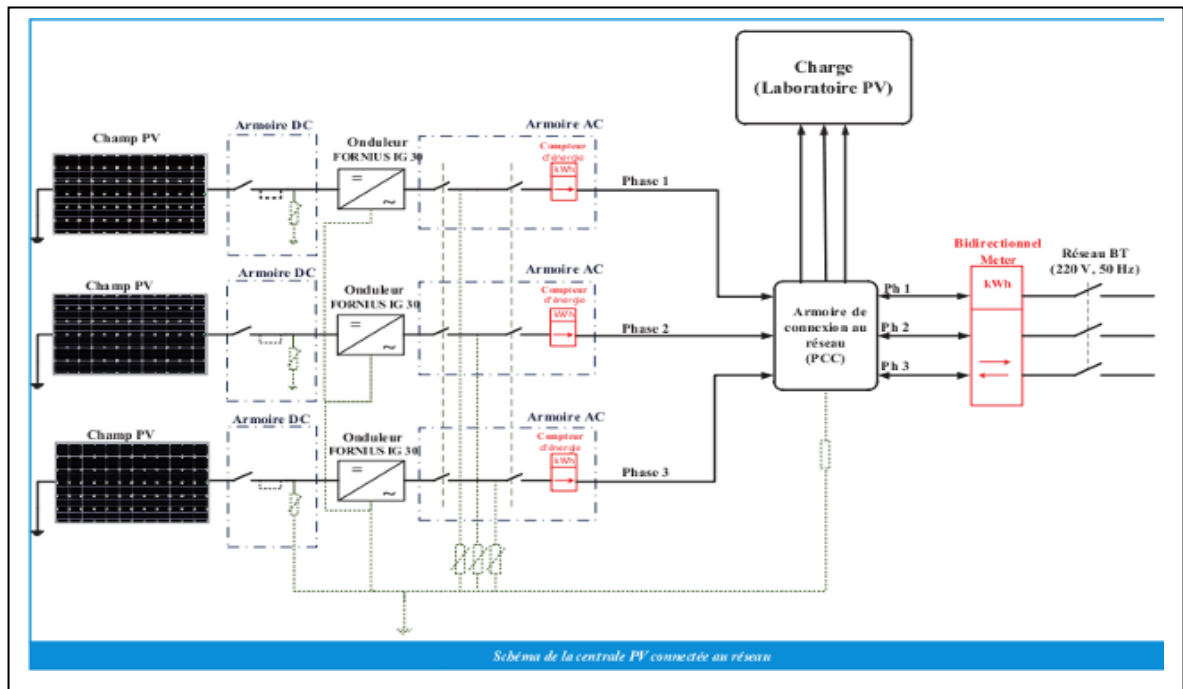


Figure 4.14. Schéma de raccordement de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT [56].

Le raccordement des appareils de mesures et des protections sont représentés dans le schéma unifilaire de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT comme le montre la figure 4.15

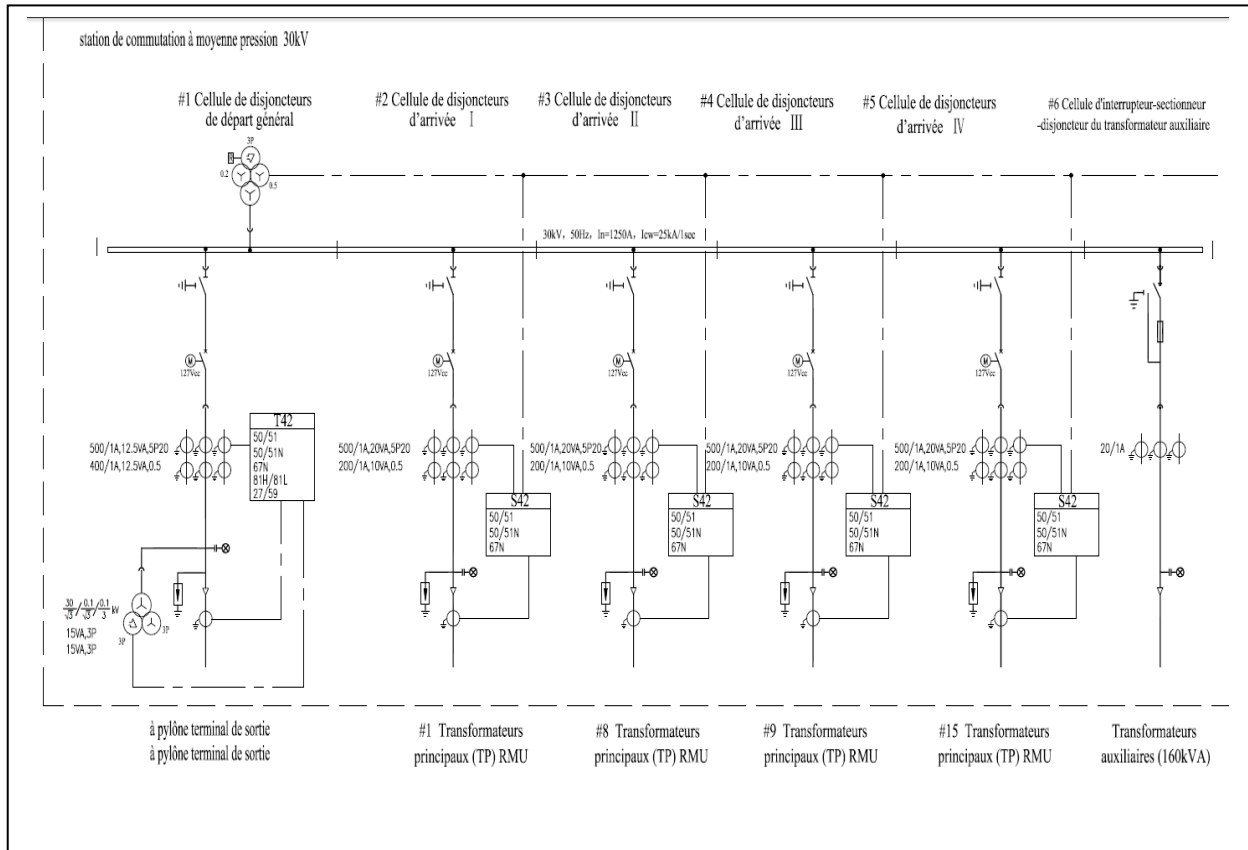


Figure 4.15. Schéma unifilaire de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT [56].

4.7. Parc des Energies renouvelables en Algérie :

Le gouvernement algérien accorde une importance particulière aux Energies renouvelables [54], deux ministères sont chargés de promouvoir conjointement les Energies renouvelables, le ministère des Energies renouvelables et de la transition énergétique et le ministère de l'énergie. Le programme actualisé des Energies renouvelables de l'Algérie consiste à installer 22000 MW de capacité d'énergie renouvelable d'ici 2030 avec la possibilité de transactions énergétiques à l'étranger comme objectif stratégique, si les conditions du marché le permettent. L'Algérie peut jouer un rôle important dans la région en raison de sa situation géographique, mais aussi parce qu'elle possède les champs solaires les plus élevés au monde. La durée des insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures par an et peut atteindre 3900 heures (sur les hauts plateaux et au Sahara). L'énergie reçue annuellement sur un horizontal de près de 3 KWh/m² dans le Nord, et dépasse 5,6 KWh/m² dans le Grand Sud [60]. Au 31 décembre 2020, le Gestionnaire du Réseau d'Electricité, l'Opérateur System (OS) de la Société Nationale D'électricité Et De Gaz en Algérie déclare que la puissance du parc photovoltaïque raccordé au réseau interconnecté nord (RIN) est de 266 MWc, soit un taux de 1,23% par rapport à la capacité installée dans le parc de production RIN 216550 MW. Selon le bilan de décembre 2020, la production des centrales photovoltaïque du RIN a permis une économie de consommation d'environ

11440,127 m³ sur une période de production journalière de 10 heures et 310 heures par mois, soit l'équivalent de 13 jours de fonctionnement à la pointe de puissance, avec une production totale de 29,66 GWh favorisée par la grande superficie algérienne de 2,383 millions de km² [61].

4.8. Données météorologiques de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT :

La centrale est située dans une zone caractérisée par un climat bien ensoleillé et bien éclairé, la figure 4.16 présente la courbe de production de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT durant une journée d'été en 2016, les données détaillées dans le tableau 4.1 cité ci-après.

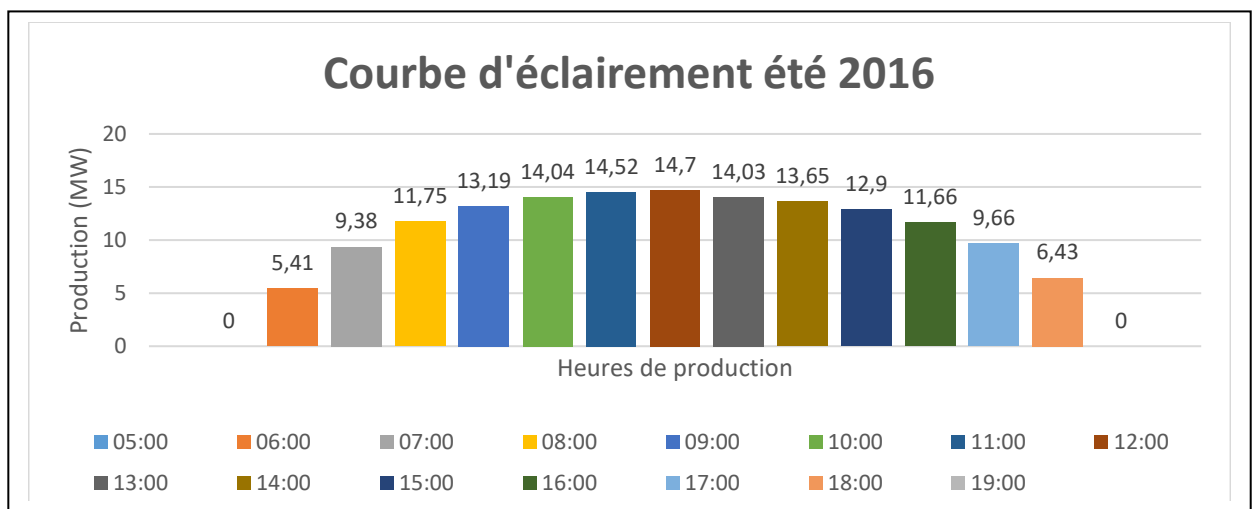


Figure 4.16. Courbe d'éclairement « journée été 2016 à OUED KEBRIT » .

Tableau 4.1. Production de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT durant une journée de l'été 2016.

Heure	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
Production (MW)	0,0	5,41	9,38	11,75	13,19	14,04	14,52	14,7	14,03	13,65	12,9	11,66	9,66	6,43	0,0

La figure 4.17 présente la courbe de production à OUED KEBRIT en 2017 durant une journée hiver à ciel dégagé, les données détaillées dans le tableau 4.2 cité ci-après.

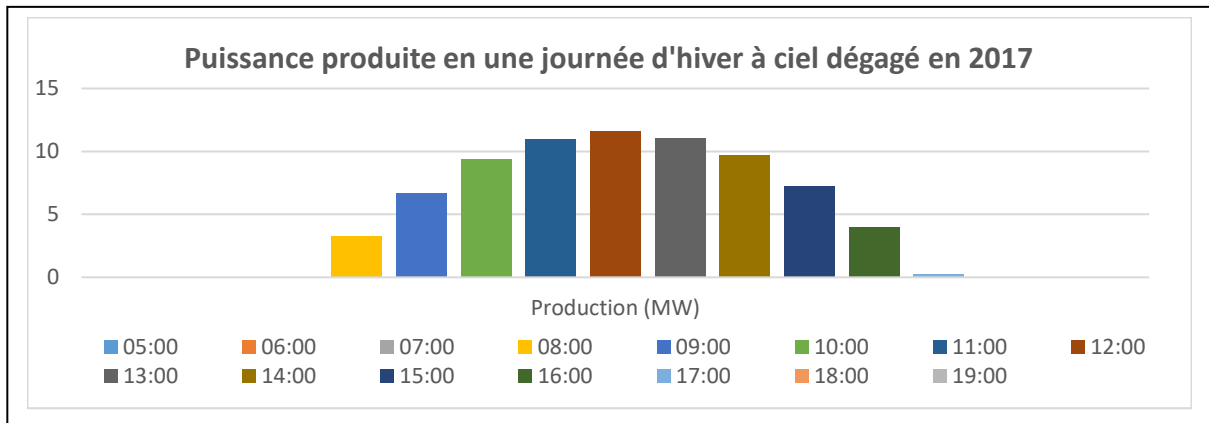


Figure 4.17. Courbe de production à OUED KEBRIT « journée hiver 2017 à ciel dégagé »

Tableau 4.2. Production de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT durant une journée d'hiver à ciel dégagé en 2017.

Heure	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
Production (MW)	0,0	0,0	0,0	3,31	6,68	9,39	10,99	11,6	11,1	9,68	7,28	4,02	0,27	0,0	0,0

La figure 4.18 présente la Courbe de production à OUED KEBRIT « journée hiver 2017 à ciel nuageux »,

Les données détaillées dans le tableau 4.3 cité ci-après.

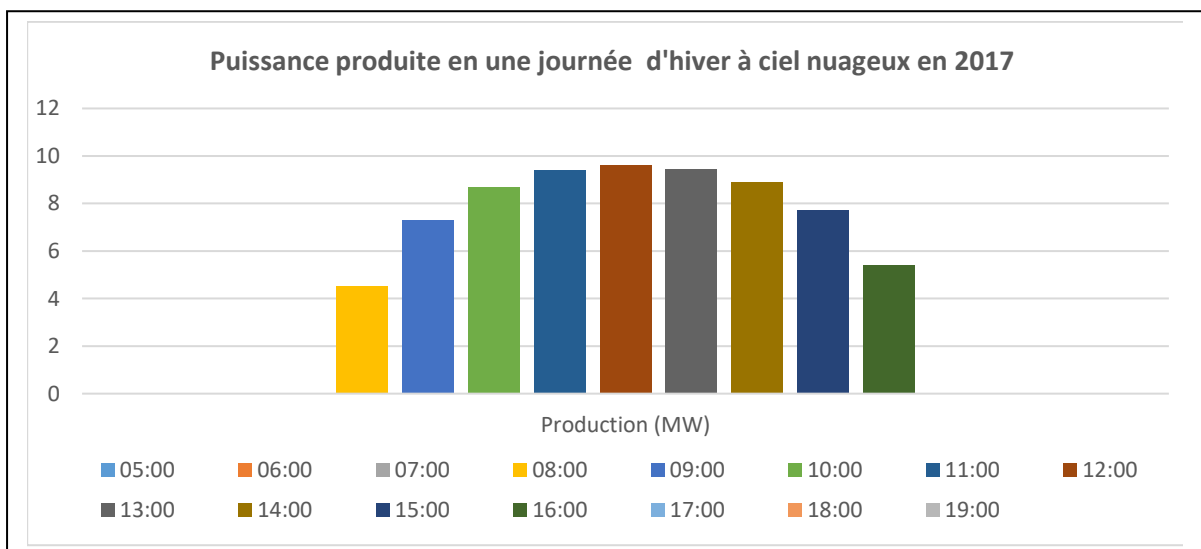


Figure 4.18. Courbe de production à OUED KEBRIT « journée hiver 2017 à ciel nuageux »

Tableau 4.3. Production de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT durant une journée d'hiver à ciel nuageux en 2017.

Heure	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
Production (MW)	0,0	0,0	0,0	4,55	7,32	8,7	9,39	9,62	9,43	8,88	7,73	5,42	0,0	0,0	0,0

4.9. Analyse du taux de distorsion harmonique (THD) :

L'analyse du taux de distorsion harmonique (THD) du courant est importante, dans les secteurs industriels et tertiaires, la responsabilité de la distorsion harmonique incombe à la présence des charges polluantes chez les consommateurs qui sont donc les principaux pollueurs, d'où le principe Pollueur Payeur [62].

La responsabilité de maintenir une forme d'ondes sinusoïdale de la tension concerne le fournisseur d'électricité. Les mesures effectuées au point de couplage commun (PCC), indiquent un bon THD de la tension ligne quel que soit le taux d'éclairement solaire.

L'évaluation du THD du courant à la sortie de l'onduleur montre une détérioration de la forme d'onde du courant à faible génération du champ photovoltaïque, ce qui est tolérable et sans conséquence en raison de la faible intensité du courant produit [62].

Il est généralement admis que les convertisseurs statiques constituent une des principales sources d'harmoniques dans les réseaux de distribution. La mesure du THD du courant de ligne révèle une forte pollution harmonique, due probablement à la nature des charges connectées. La corrélation entre les données mesurées montre que les harmoniques, dans le courant de ligne, sont fortement atténués dans les périodes de forte génération photovoltaïque. Donc l'onduleur a une action de filtrage proportionnelle à l'éclairement [62].

4.10. Code de réseau :

Dans ce chapitre on met en lumière sur le comportement de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT lors des défauts enregistrés sur le réseau MT selon les nouvelles exigences des codes de réseau. Étant donné que les panneaux photovoltaïques produisent soit un excès soit un manque de puissance [63]. Ces dernières années, le code de réseau a inclus l'importance des fluctuations soudaines de la puissance photovoltaïque [64]. Pour prendre en compte l'énergie solaire dans le réseau Électrique, de nouvelles réglementations sont nécessaires pour assurer la sécurité et la stabilité du réseau Électrique [65]. Ces réglementations représentent le code de réseau [65] [66], qui repose essentiellement sur le contrôle de la fréquence et de la puissance active.

4.11. Historique des incidents enregistrés à centrale photovoltaïque OUED KEBRIT :

L'historique des incidents enregistrés à centrale photovoltaïque OUED KEBRIT durant les quatre années (depuis 2018 jusqu'à 2021) ont causé un manque à gagner de 126262,40 € avec 67520MWh d'énergie non distribué (END) comme présenté dans la figure 4.19

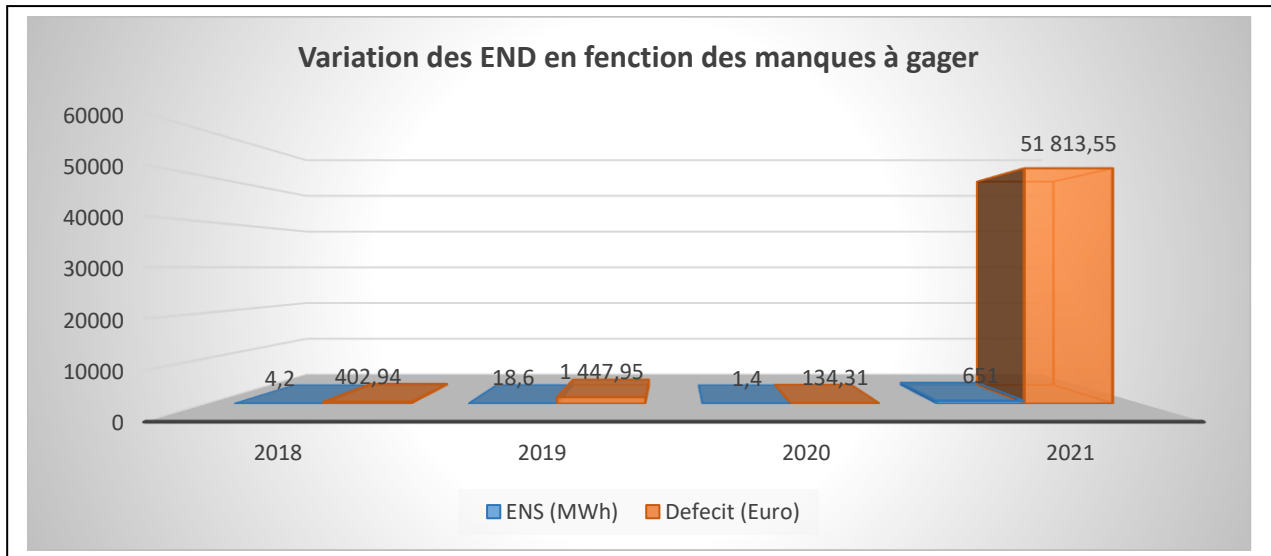


Figure 4.19. Variation des END en fonction des manques à gager

4.12. Causes des coupures d'électricité lors des incidents enregistrés sur le réseau :

Ces coupures sont dues au code de réseau appliqué, imposé à la Société Nationale D'électricité Et De Gaz par le concepteur de la centrale photovoltaïque. Ce code de réseau prend en compte les contraintes mécaniques ; cependant, la centrale photovoltaïque n'est pas influencée par ces contraintes. La Société Nationale D'électricité Et De Gaz est pénalisée par le code réseau existant. En se concentrant sur une proposition de nouveau code de réseau, l'exploitation de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT devient beaucoup plus rentable, tout en restant stable et sécurisée. La section suivante présentera en détail le plan de protection conçu par la Société Nationale D'électricité Et De Gaz dans le réseau de transport Électrique et examinera comment le nouveau plan de contrôle proposé dans cette étude améliorera les paramètres de qualité de service dans le réseau de transport.

4.13. Contrôle de la centrale selon le code de réseau :

Le contrôle de l'installation photovoltaïque peut être représenté par la puissance active en fonction de la fréquence comme indiqué dans les figures 4.20 et figure 4.21 avec :

P_{disp} : est la puissance disponible obtenue à partir des mesures réelles.

P_{mo} : est la puissance active de la bande morte.

P_{min} : est la puissance active minimale.

La bande morte représente la plage dans laquelle une entrée peut être modifiée sans générer de réponse.

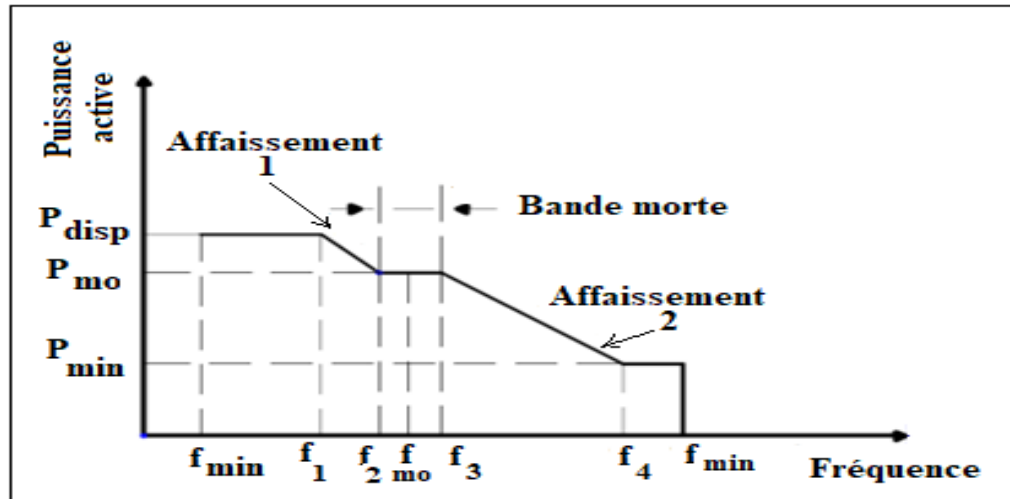


Figure 4.20. Courbe de statisme de la puissance active à fréquence générique f/P selon les codes de réseau [67].

Dans la figure 4.21 est présentée la courbe de statisme de fréquence appliqué sous le mode MPP, où PCC est le point de couplage commun représente le point d'interconnexion entre l'installation photovoltaïque et le réseau externe, P_{PCC} est la puissance active au point de commun couplage, P_{GRTE} est la puissance transmise par GRTE.

ou P_{PCC}^* représente la puissance active au point de consigne de couplage commun.

P_{CC} : fixe un effacement de puissance (ligne rouge).

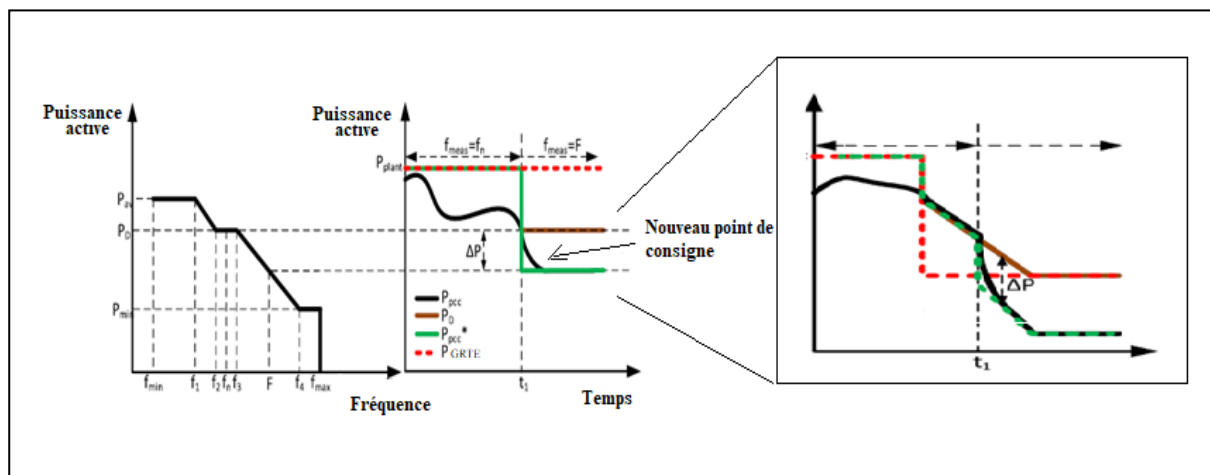


Figure 4.21. Courbe de statisme de fréquence appliqué sous le mode MPP [67].

Pour la centrale photovoltaïque connectée au réseau MT, les puissances active et réactive sont contrôlées par les onduleurs. Le diagramme de capacité de l'onduleur dans la centrale photovoltaïque connectée au réseau est représenté par la zone des points de fonctionnement possibles dans le diagramme P/Q représenté dans la figure 4.22 [68].

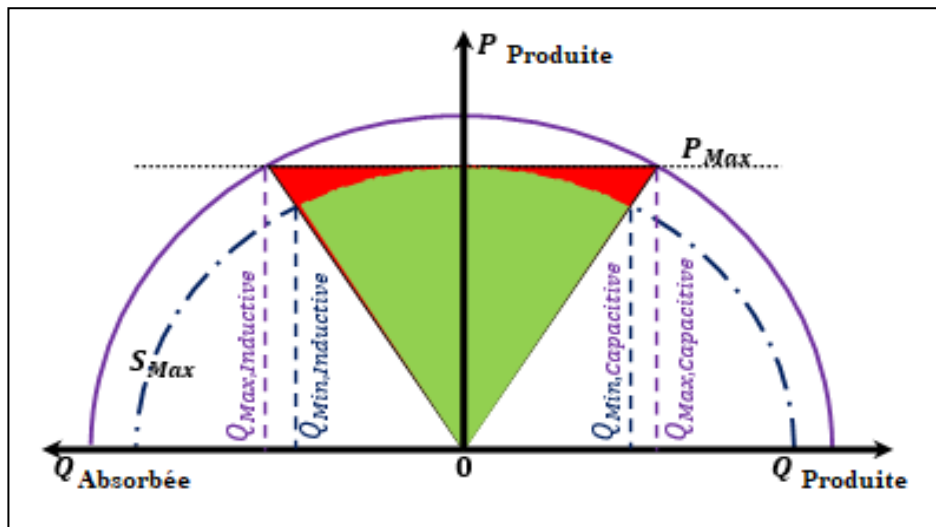


Figure 4.22. Graphique de la puissance active et réactive de l'onduleur [57] [68].

Afin de rendre beaucoup plus lisible le code de réseau imposé par le constructeur et appliqué à la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT, le tableau 4.4 résume les principaux paramètres de régulation

Tableau 4.4. Code de réseau appliqué à la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT.

Paramètre	Plage de fonctionnement	Durée	Description
Réglage de la tension	$-0,3P_{PV,N} \leq Q \leq 0,3P_{PV,N}$	Non limitée	Puissance active Produite ou absorbée
Fonctionnement normal de la fréquence	[48Hz–52Hz]	limitée	Plage de fréquence
Fonctionnement Exceptionnel de la fréquence	[46Hz–48Hz] & [52Hz–53Hz]	limitée	Plage de fréquence
Mode de de fonctionnement exceptionnel	$U f_N / U_N f \leq 1,13$	Non limitée	Rapport tension-fréquence

La figure 4.23 représente le schéma de connexion de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT avec les autres sources de production au Nord / Est Algérie.

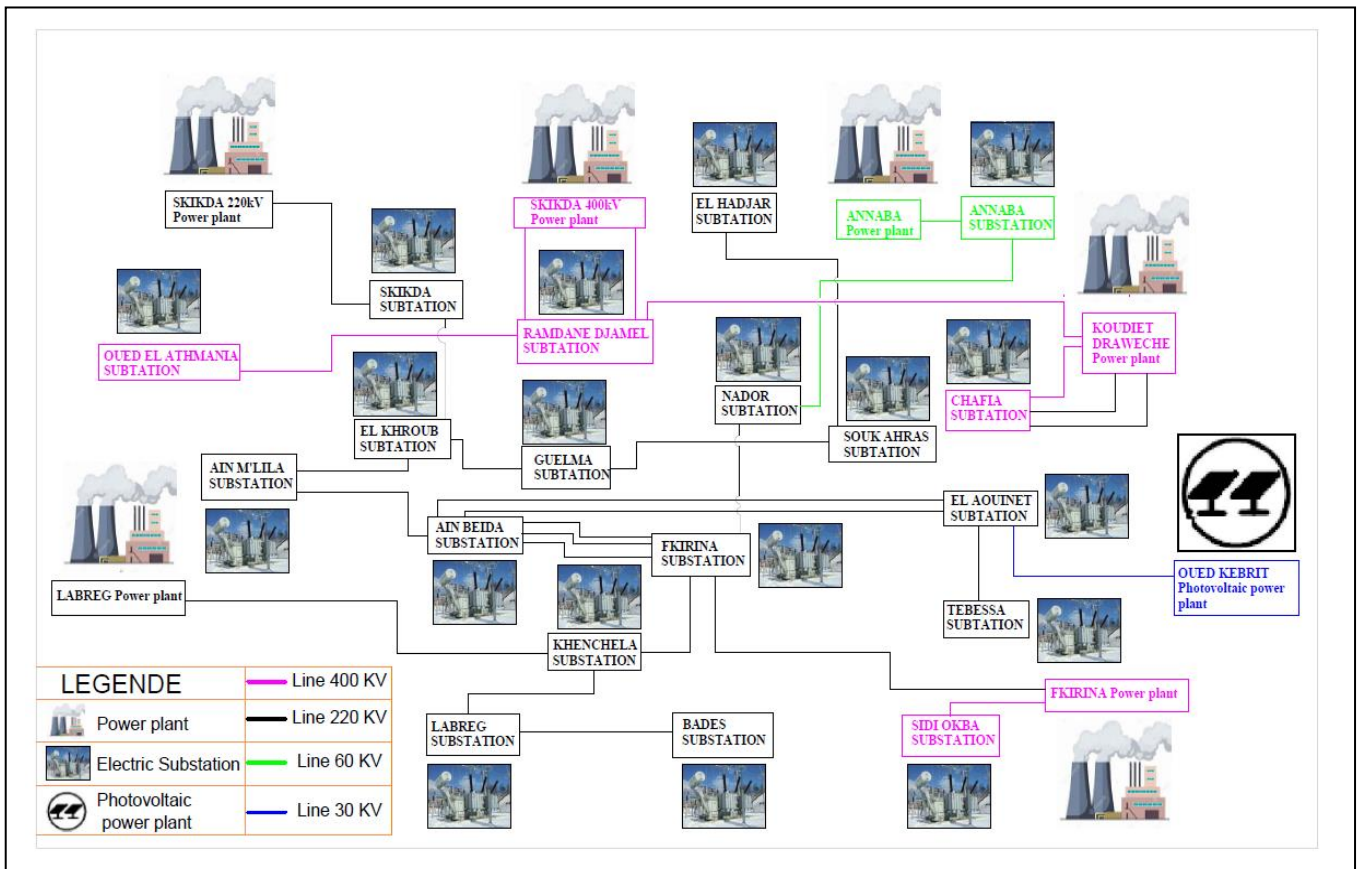


Figure 4.23. Carte de production d'Énergie électrique au Nord / Est Algérie

La figure 4.24 est une Représentation du réseau d'électricité THT et HT au Nord / Est Algérie

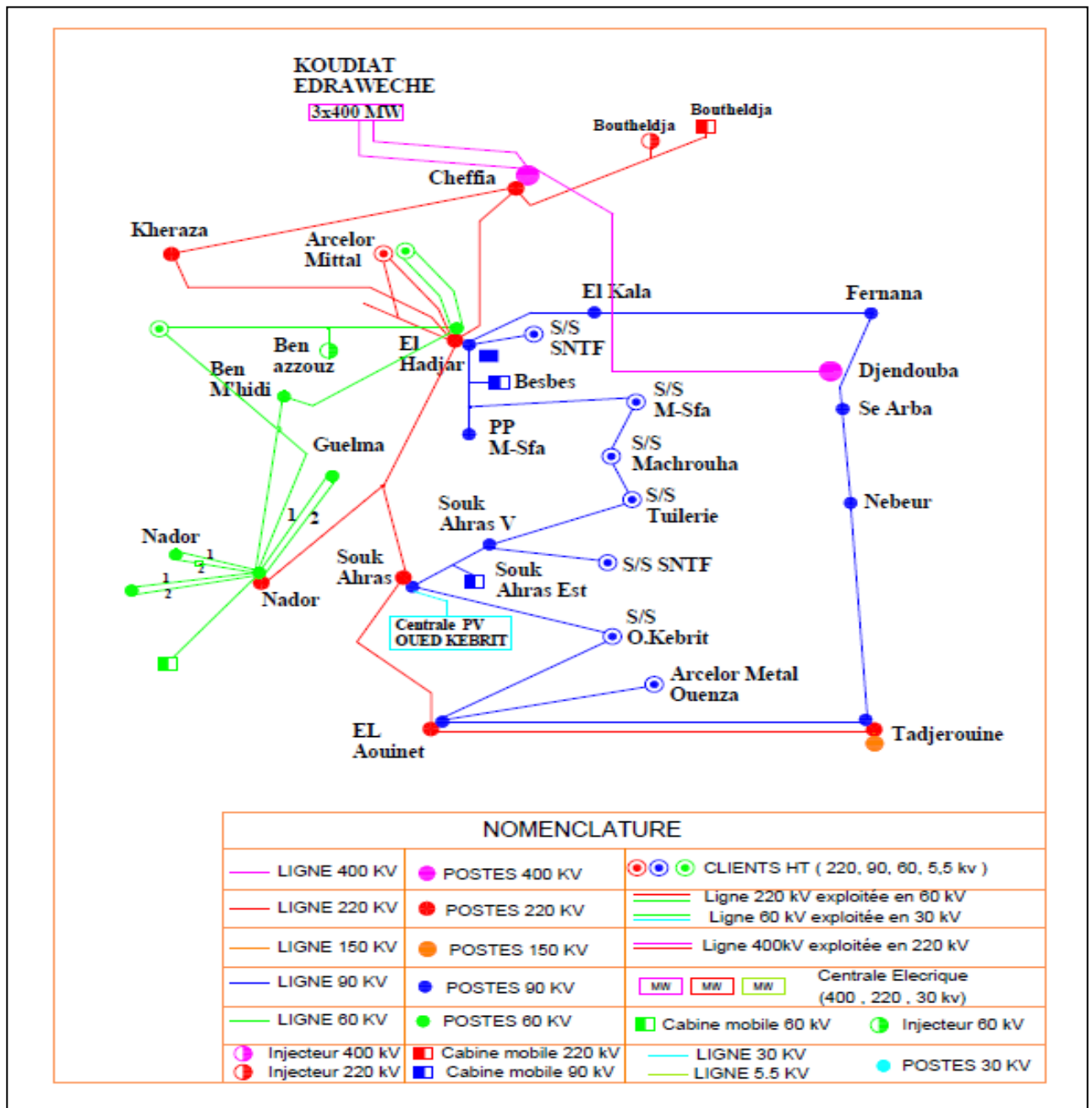
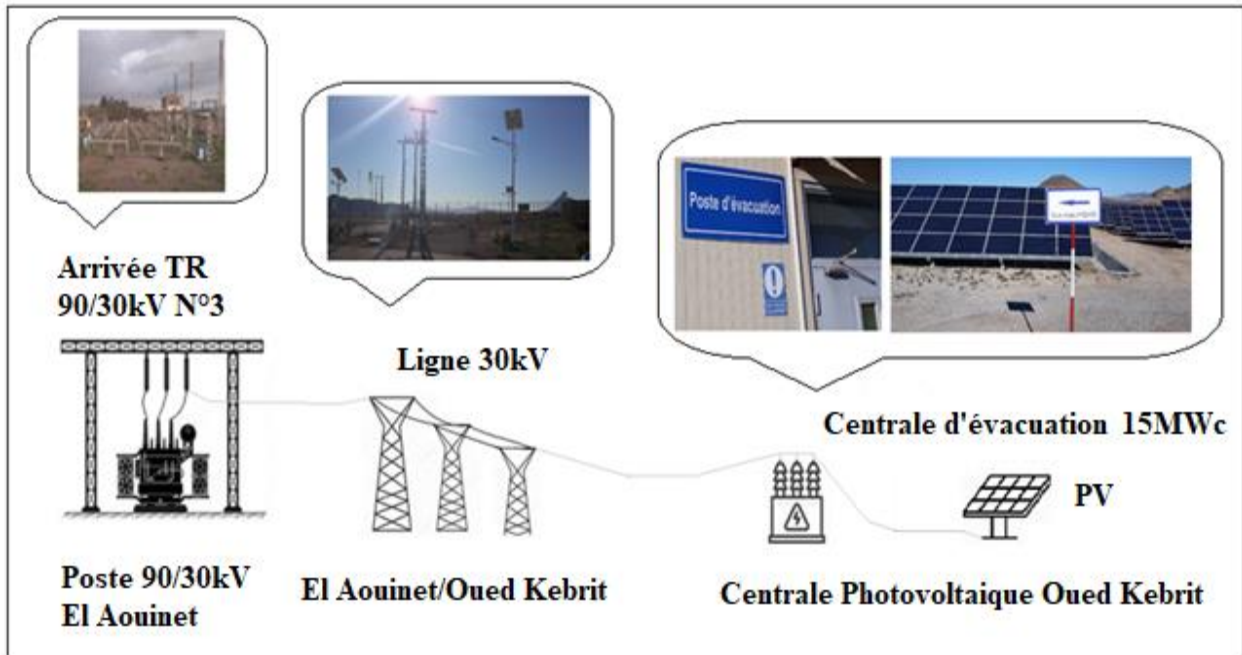


Figure 4.24. Représentation du réseau d'électricité THT et HT au Nord / Est Algérie [53]

La figure 4.25. Représente-le parcours de connexion de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT au réseau à travers une ligne 30kV OUED KEBRIT/ EL AOUINET.



Figur 4.25. Connection de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT au réseau.

4.14. Mesures des différentes grandeurs Électriques :

Au niveau de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT la mesure des grandeurs Électriques des onduleurs est effectuée en amont et en aval et affiché sur un system informatisé comme présenté dans la figure 4.26 et enregistré dans une base des données.

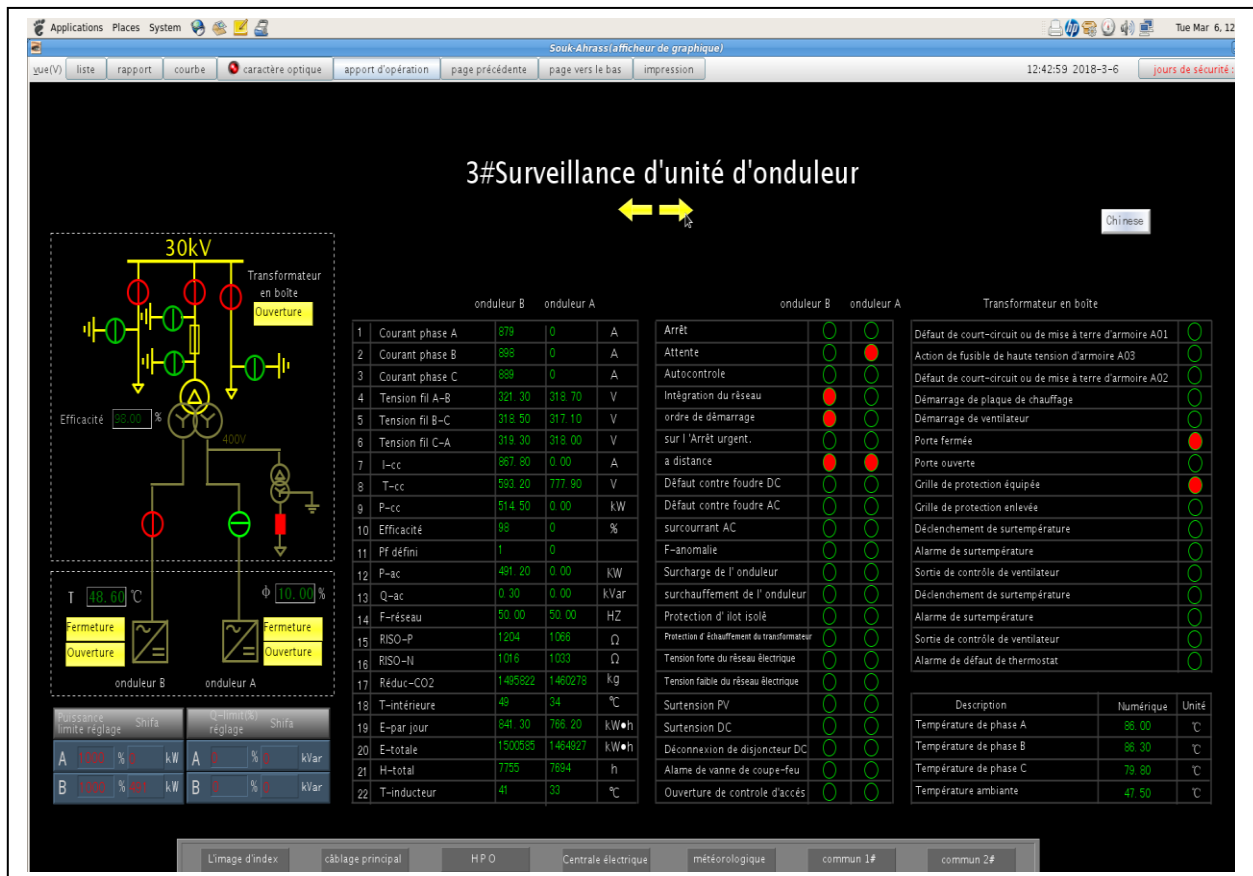


Figure 4.26. Surveillance du fonctionnement des onduleurs

4.15. Mesures des puissances :

Au niveau de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT les mesures des puissances sont effectuées à l'entrée et à la sortie des onduleurs comme présentés au niveau de la figure 4.27 et une autre mesure aussi effectuée au niveau du point de couplage commun (PCC) comme présenté au niveau de la figure 4.28

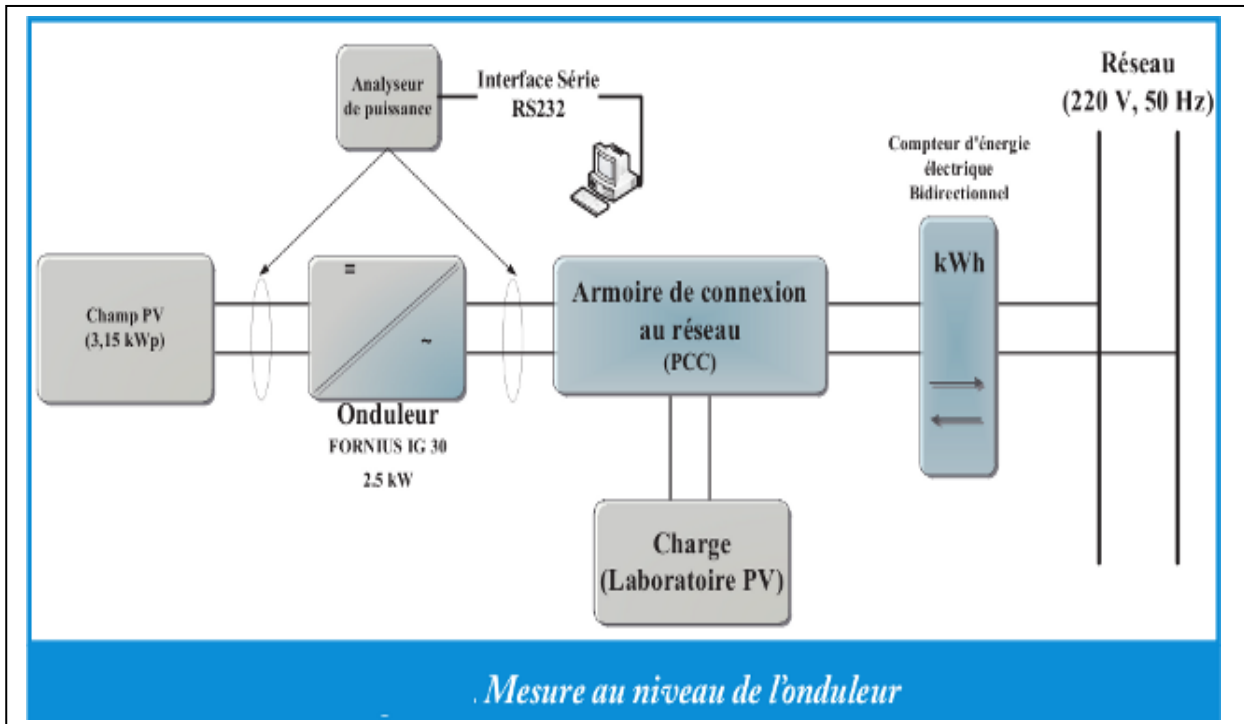


Figure 4.27. Mesure de la puissance au niveau de l'onduleur

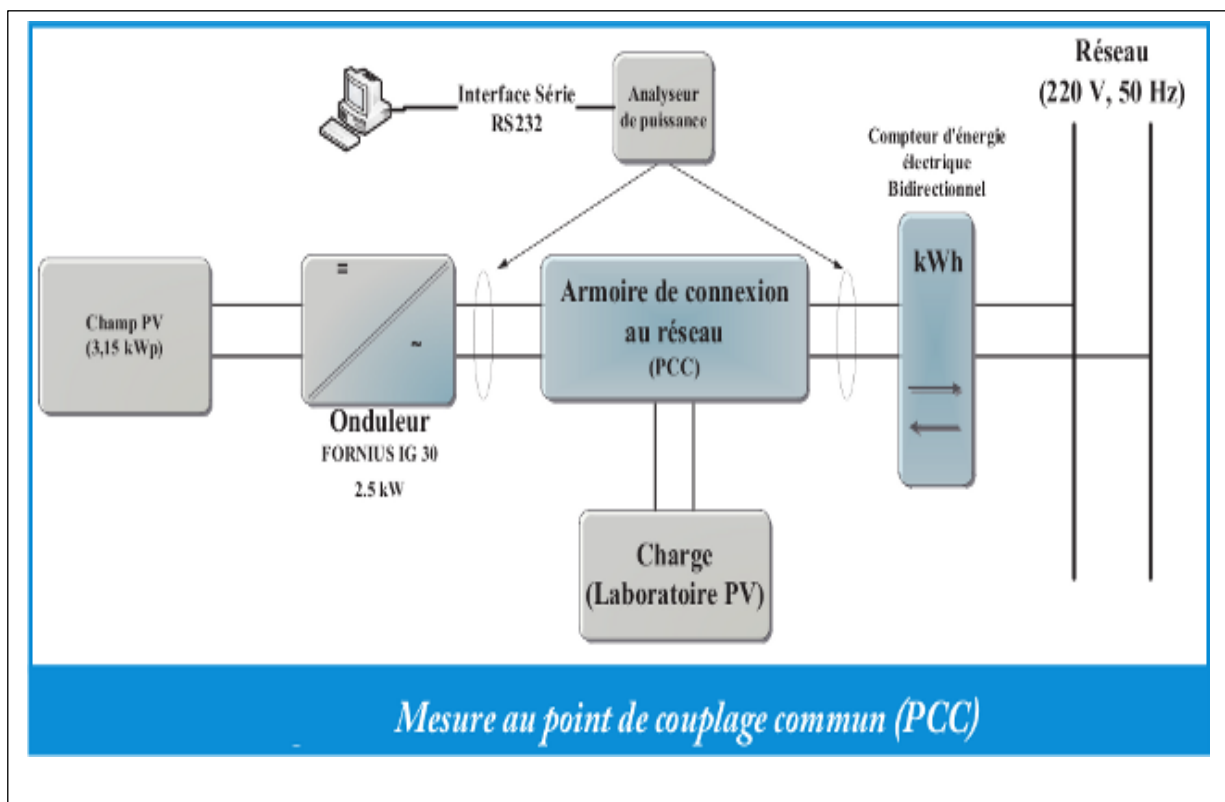


Figure 4.28. Mesure de la puissance au niveau du point de couplage commun (PCC).

4.16. Connexion des onduleurs étage A et B :

Comme le présente la figure 4.29 la connexion des onduleurs est détaillée comme suit :

- 1 : Arrivée boîte parallèle N°1
- 2 : Arrivée boîte parallèle N°2
- 3 : Arrivée boîte parallèle N°3
- 4 : Arrivée boîte parallèle N°4
- 5 : L'Entrée de l'onduleur rassemble 4 boîtes parallèles niveau2.

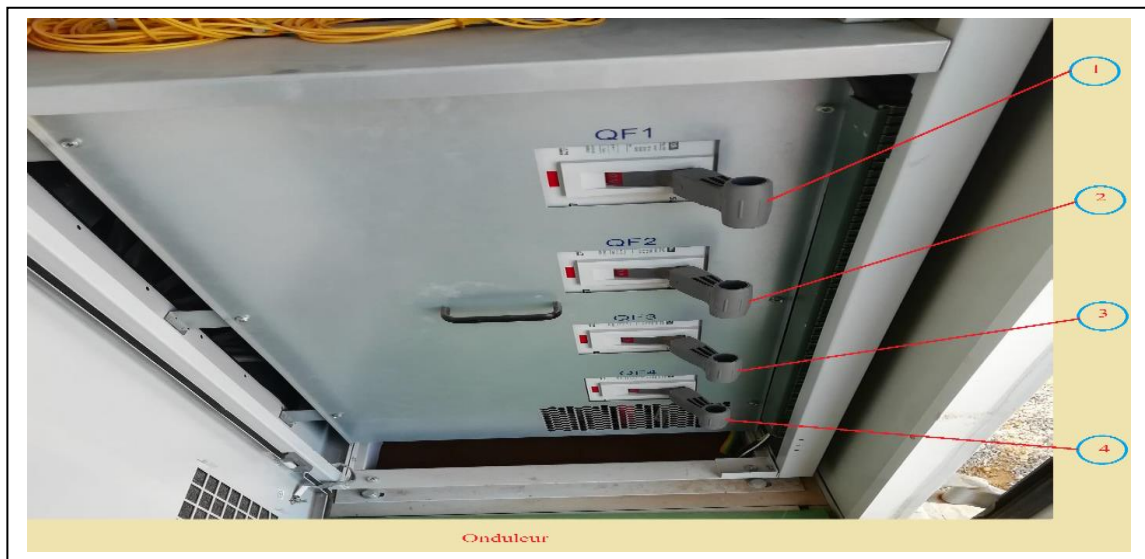


Figure 4.29. Connexion des onduleurs au niveau de l'étage A et B

Les paramètres Électriques mesurés d'un sous champ de panneau photovoltaïque sont indiqués par l'afficheur d'un onduleur comme présenté dans la figure 4.30.



Figure 4.30. Afficheur d'un onduleur au niveau de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT

4.17. Mesure des grandeurs météorologiques :

Les données météorologiques sont enregistrées par une station météorologique comme présenté dans la figure 4.31, cette dernière mesure les grandeurs suivantes : température ambiante, la vitesse du vent, le taux d'humidité, le pourcentage de précipitation, le courant de charge de la foudre...etc

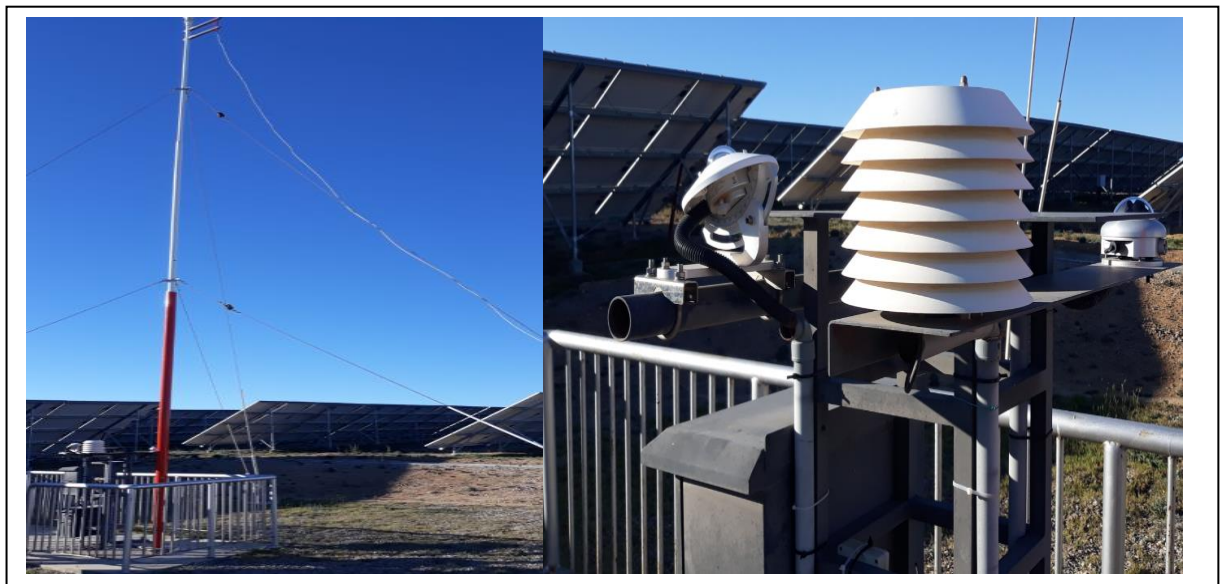


Figure 4.31. Station météorologique de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT

4.18. Surveillance météorologique :

Un système informatisé a été mis en place pour l'enregistrement et l'archivage des données météorologiques de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT comme le présente la figure 4.32.

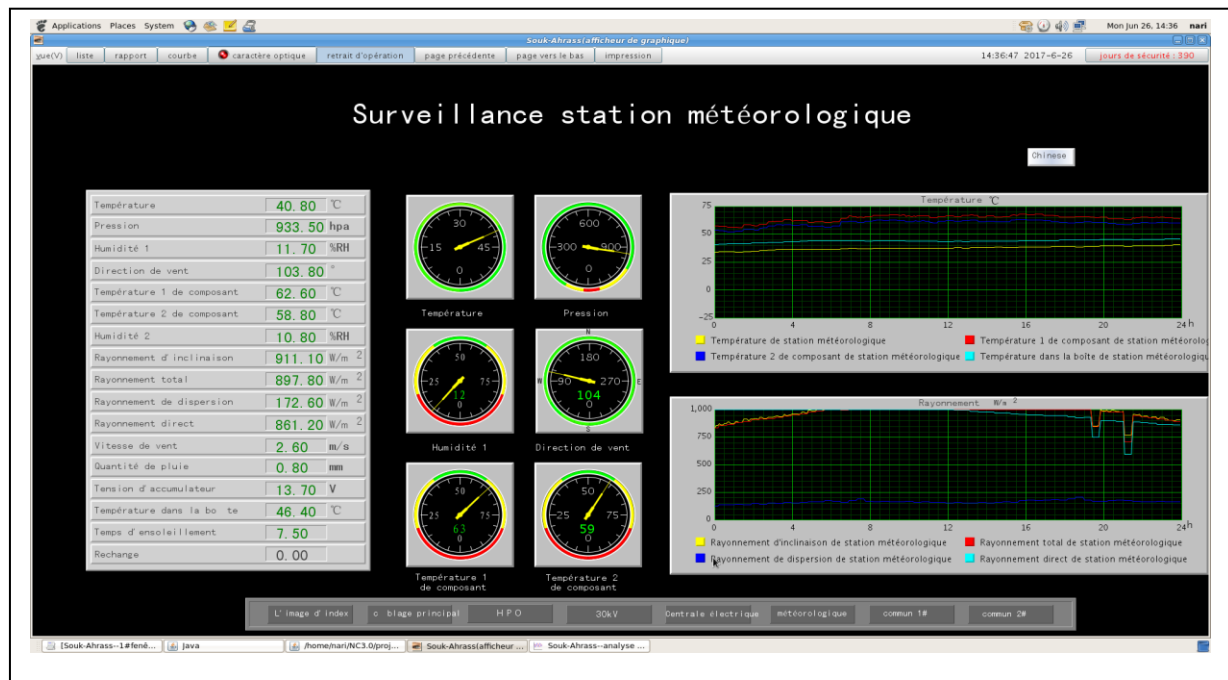


Figure 4.32. Surveillance météorologique de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT

4.19. Incident et fiabilité de fonctionnement des centrales photovoltaïque :

La surveillance de l'état de fonctionnement des centrales photovoltaïque et le diagnostic des défauts sont nécessaires pour augmenter la fiabilité et l'efficacité des systèmes photovoltaïques [69]. De plus, la classification des défauts est importante pour améliorer l'efficacité et la durée de vie des modules photovoltaïque [70], il y a donc :

- Défaut Électrique au niveau du redresseur : coté courant continu (CC) ou coté courant alternatif (CA), au niveau (défaut ligne, défaut ligne à la terre, défaut circuit ouvert)
- Défaut physique : défaut interne ou externe au niveau des panneaux photovoltaïques
- Défaut d'environnement : ombrage temporaire ou ombrage permanent

L'analyse des différents défauts responsables au mauvais fonctionnement des panneaux photovoltaïques est nécessaire [69] [70]. Les défauts dans un système photovoltaïque sont classés en fonction de leur emplacement, s'ils se produisent du côté courant continu (CC) et s'ils ne sont pas détectés, ils peuvent affecter de manière catastrophique le côté courant alternatif (CA), entraînant une diminution de la puissance de sortie et des risques d'incendie. Pour prévenir ces risques, une surveillance continue en temps réel avec classification des défauts est cruciale.

Cela, dans un système photovoltaïque, dépend de l'emplacement du défaut, par exemple, l'étage courant continu (CC) ou l'étage courant alternatif (CA) [71]. Le défaut CA comprend les courts-circuits et les interrupteurs ouverts et les défauts de commutation [56] [71], le défaut CC inclut les harmoniques induites par la défaillance du filtre [70] [71]. En plus, les défauts associés aux hacheurs convertisseurs CC-CC et l'échec du suivi du point de puissance maximale de l'algorithme (MPPT) [71] [72] [73].

4.20. Les paramètres de qualité de service (PQS) : [57] [74].

La puissance produite, transportée et distribuée au niveau de la société Société Nationale d'Electricité et de Gaz

4.21. Le paramètre END :

Ce paramètre représente l'Energie Non Distribuée (END) par suite d'indisponibilité d'ouvrages postes ou lignes du réseau de transport est calculé par la formule (4.1) suivante :

$$END (MWh) = \text{Puissance coupée (MW)} * \text{Durée de coupure (Heures)} \dots\dots\dots(4.1) [57] [74].$$

4.22. Le paramètre taux d'END :

Ce paramètre représente le taux des END est calculé par la formule (4.2) :

$$END(\%) = \frac{(END(MWh))}{Livraison (MWh)} 10000 \dots\dots\dots(4.2) [57] [74].$$

4.23. Le paramètre TIM :

Ce paramètre représente le temps d'interruption moyen (TIM) du système Électrique dû à l'Energie non distribuée pour cause de transport, est calculé par la formule (4.3), mesuré en minute :

$$TIM = \frac{\text{Le nombre d'heure de la période considérée} * 60 * END}{\text{Energie livrée}} \dots\dots\dots(4.3) [57] [74].$$

4.24. Le paramètre SAIFI :

Ce paramètre représente le nombre moyen de coupures par clients (SAIFI : System Average Interruption Frequency Index) [74] [75] [76] [77], c'est-à-dire le nombre de coupures par le nombre de clients connectés au réseau, est calculé par la formule (4.4) :

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i N_i}{N} = \frac{\text{Le nombre Total des coupures des clients}}{\text{Le nombre Total des clients connecté au réseau}} \dots\dots\dots(4.4) [57] [74].$$

4.25. Le paramètre SAIDI :

Ce paramètre représente la durée moyenne de coupures par clients (SAIDI : System Average Interruption Duration Index) [74] [75] [76] [77], est calculé par la formule (4.5):

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i N_i}{N} = \frac{\text{La durée de coupures des clients}}{\text{Le nombre Total des clients connecté au réseau}} \dots\dots\dots(4.5) [57] [74].$$

Le nombre de clients représente le nombre de clients distributeurs et clients industriels HT raccordés au réseau de transport Électrique.

4.26. Le paramètre CAIDI :

Ce paramètre représente la moyenne des durées des coupures des clients, c'est-à-dire il mesure la moyenne de la durée de reprise de l'alimentation des clients pour chaque coupure, (CAIDI : Customer Average Interruption Duration Index) [74] [75] [76], est calculé par la formule (4.6):

$$CAIDI = \frac{\text{La somme des durée de coupure de tous les clients}}{\text{Le nombre Total des coupure des clients}} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \dots\dots\dots(4.6) [57] [74].$$

4.27. Le paramètre CIC :

Ce paramètre représente le coût de coupure des clients en résultat le prix de puissance coupée du réseau (CIC : Customer Interruption Cost) [74] [76], calculée par la formule (4.7)

$$CIC = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{NLP} \lambda_j C_{jk}(r_j) L_k \dots\dots\dots(4.7) [57] [74].$$

4.28. Le paramètre ASAI :

Ce paramètre représente la disponibilité du réseau c'est-à-dire le temps d'exploitation des ouvrages de transport d'électricité (lignes et transformateurs) pendant une année (ASAI: Average Service Availability Index) [74] [75] [76], calculé par la formule (4.8) :

$$ASAI = \frac{\sum_{i=1}^N (N_i * 8760) - \sum_{i=1}^N (U_i * N_i)}{\sum_{i=1}^N (N_i * 8760)} \dots\dots\dots(4.8) [57] [74].$$

N_i : Le nombre d'heures pour entretiens fortuits suite incidents

U_i : Le nombre d'heures pour entretiens programmés

i : Le nombre des clients connectés au réseau

Le paramètre ASAI est généralement inférieur à 0,999.

4.29. Le paramètre Pertes réseau :

Ce paramètre représente les pertes par effet joules générées par le transit d'énergie sur le réseau transport, calculé par la formule (4.9)

$$\text{Pertes} = \text{Bilans des énergies injectées} - \text{Bilans des énergies livrées} - \text{Bilans des consommations spécifiques} \dots\dots\dots(4.9)$$

4.30. Le paramètre INC/100 km :

Le paramètre INC/100 km représente le paramètre incident ligne enregistré chaque 100Km, codifié INC/100 km, il concerne le nombre des incidents de types fugitifs, semi permanents ou permanents enregistrés sur les lignes et les câbles de transport, calculé par la formule (4.10) :

$$\text{Incidents aux } 100\text{Km} = \frac{\text{Nombre d'incidents}}{\text{Longueur du réseau}} * 100 \dots\dots\dots(4.10). [74]$$

Longueur du réseau : représente la longueur en km des lignes et des câbles 60kV, 90kV, 150 kV, 220kV et 400kV, l'objectif Annuel de ce paramètre ≤ 08 incident au 100 km

4.31. Le paramètre MFD :

Ce paramètre représente le paramètre Mauvais Fonctionnement Disjoncteur, indique la défaillance Électrique ou mécanique lors d'un fonctionnement disjoncteur HT lorsqu'il est sollicité par une protection, codifié MFD, calculé par la formule (4.11), l'objectif annuel de ce paramètre est de 0.8%.

$$\text{MFD} = \frac{\text{Nombre de défaillance disjoncteur}}{\text{Nombre disjoncteur en service}} * 100 \dots\dots\dots(4.11) [74]$$

4.32. Le paramètre MFP :

Ce paramètre représente le paramètre Mauvais Fonctionnement Protection, représente le fonctionnement incorrect ou/et insuffisant d'un relais de protection, lorsqu'il est sollicité (lors des défauts), codifié MFP, calculé par la formule (4.12), l'objectif Annuel de ce paramètre est de 01 %.

$$\text{MFP} = \frac{\text{Nombre de défaillance protection}}{\text{Nombre de fonctionnement de protection}} * 100 \dots\dots\dots(4.12) [74]$$

4.33. Les paramètres Électriques de la ligne 90kV EL AOUINET /OUED KEBRIT :

Le câble de la ligne étudié est de section 93.3 mm² théoriquement c'est l'équivalent de la section 94mm², d'où les paramètres Électriques en détail sont présentés comme suit :

$$Z = R + jX = R_0 \cdot l + jX_0 \cdot l = Z_0 \cdot l \dots\dots\dots(4.13)$$

$$Z_0 = R_0 + jX_0 \dots\dots\dots(4.14)$$

$$R_0 = \frac{\rho}{S} = 0,358/94 = 0,003808 \dots\dots\dots(4.15)$$

$$d_{moy} = 1,26 * d = 1,26 * 12,5 \dots\dots\dots(4.16)$$

$$X_0 = 0,144 + \log \frac{d_{moy}}{r_{\acute{e}q}} + \frac{0,016}{n} = 0,144 + [\log(1,26 * 12,5/6,25)] + (0,016/1) = 0,561400 \dots\dots(4.17)$$

$$Z_0 = 0,003808 + j 0,561400 \dots\dots\dots(4.18)$$

Départ 30kV MESLOULA :

Longueur L=29.45 Km

$$Z_0 = 0.003808 + j 0.561400$$

$$Z = 0.112145 + j 16.53323$$

Départ 30kV MESKANA :

Longueur L=46.6 Km

$$Z_0 = 0.003808 + j 0.561400$$

$$Z = 0.177453 + j 26.161265$$

Départ 30kV OUENZA 3 :

Longueur L=78.8 Km

$$Z_0 = 0.003808 + j 0.561400$$

$$Z = 0.3000704 + j 44.238362$$

Départ 30kV EL/AOUINET/OUED KEBRIT :

Longueur L=06 Km

$$Z_0 = 0.003808 + j 0.561400$$

$$Z = 0.022848 + j 3.3684$$

Le tableau 4.5 représente les incidents enregistrés au niveau de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT (15 cas étudiés) durant les quatre dernières années depuis 2018 jusqu'à 2021.

Tableau 4.5. Les cas des incidents étudiés enregistrés au niveau de la centrale OUED KEBRIT.

Numéro de cas étudié	Date de l'incident	Type de défaut
Cas N°1	06/06/2018	surcharge
Cas N°2	20/08/2018	surcharge
Cas N°3	11/12/2018	Chute de tension
Cas N°4	02/02/2019	Chute de tension
Cas N°5	08/04/2019	Chute de tension
Cas N°6	10/10/2019	Chute de tension
Cas N°7	21/07/2019	Chute de tension
Cas N°8	08/11/2020	surcharge
Cas N°9	15/11/2020	surcharge
Cas N°10	01/12/2020	Chute de tension
Cas N°11	10/01/2021	surcharge
Cas N°12	13/02/2021	surcharge
Cas N°13	12/03/2021	Chute de tension
Cas N°14	07/03/2021	Chute de tension
Cas N°15	22/03/2021	Chute de tension

Les paramètres de qualité de service cités dans les paragraphes 4.20 au 4.28 sont les plus utilisés pour évaluer la fiabilité du fonctionnement des systèmes Électriques [74] [75] [76] [77]. Le tableau 4.6 représente le calcul des paramètres de qualité de service de 15 cas étudiés au niveau de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT depuis l'année 2018, d'où CMI représente le nombre de minute de coupure de l'alimentation des clients (CMI : Customer Minute Interruption).

CHAPITRE N°4 : Fonctionnement de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT et études pour l'amélioration de ses paramètres de qualité de service

Tableau 4.6. Données des paramètres de qualité de service de la centrale OUED KEBRIT

Numéro de cas	Date de l'incident	Heure début	Heure fin	Durée	ENS MWh	SAID partiel (mn)	SAIFI partiel	CMI	CIC (€)
cas N° 1	06/06/2018	11:20:00	11:29:00	00:09:00	1,8	2,25	1	9	720
cas N° 2	20/08/2018	10:21:00	10:31:00	00:10:00	2	2,5	1	10	800
cas N° 3	11/12/2018	08:39:00	08:41:00	00:02:00	0,4	0,5	1	2	160
cas N° 4	02/02/2019	11:51:00	12:07:00	00:16:00	3,2	4	1	16	1 280
cas N° 5	08/04/2019	10:03:00	10:22:00	00:19:00	3,8	4,75	1	19	1 520
cas N° 6	10/10/2019	08:54:00	09:03:00	00:09:00	1,8	2,25	1	9	720
cas N° 7	21/07/2019	13:30:00	14:19:00	00:49:00	9,8	12,25	1	49	3 920
cas N° 8	08/11/2020	15:33:00	15:36:00	00:03:00	0,6	0,8	1	3	240
cas N° 9	15/11/2020	12:12:00	12:14:00	00:02:00	0,4	0,07	1	2	160
cas N° 10	01/12/2020	11:28:00	11:30:00	00:02:00	0,4	0,25	1	2	160
cas N° 11	10/01/2021	10:00:00	17:15:00	07:15:00	87	108,75	1	435	34 800
cas N° 12	13/02/2021	10:00:00	17:45:00	07:45:00	93	116,25	1	465	37 200
		07:30:00	13:45:00	06:15:00	75	93,75	0	375	30 000
cas N° 13	12/03/2021	10:00:00	16:45:00	06:45:00	81	101,25	1	405	32 400
		08:00:00	13:45:00	05:45:00	69	86,25	0	345	27 600
cas N° 14	07/03/2021	07:00:00	17:15:00	07:15:00	87	108,75	1	435	34 800
cas N° 15	22/03/2021	07:00:00	17:00:00	07:00:00	84	105	1	420	33 600
		08:15:00	08:30:00	00:15:00	3	3,75	0	15	1 200
		12:15:00	12:30:00	00:15:00	3	3,75	0	15	1 200
		08:00:00	13:45:00	05:45:00	69	86,25	0	345	27 600
Total				56:16:00	675,2	843,36	15	3376	270 080

Les paramètres de qualité de service prenant en compte les incidents mentionnés ci-dessus sont résumés dans le Tableau 4.7, d'où CHI représente le nombre d'heure de coupure de l'alimentation des clients (CHI : Customer Hour Interruption).

Tableau 4.7. Synthèses du résultat des paramètres de qualité de service de la centrale OUED KEBRIT

Paramètres	Valeurs
Nombre des clients	4
SAIFI Global	3,75
SAIDI Global (mn)	124,00
CAIDI (mn)	1:36:00
ASAI	0.999764
CIC (€)	270 080, 00
CMI	3376
CHI	56,26

Le retour sur investissement est retardé tant que le CIC est élevé [77]. Si nous examinons en profondeur les données enregistrées de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT, nous pouvons en déduire que certaines pannes peuvent être évitées. A cet effet, nous proposons dans la section suivante la modification du contrôle de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT.

4.34. Plan de protections au niveau de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT [74] :

4.35. Protections pour la barre 30kV :

Réglage des protections : $I_n=1250A$, $f=50Hz$, $I_{cc} = 25KA/1sec$

4.36. Protections pour les transformateurs principaux :

- F50-F51 : Protection à maximum de courant côté primaire.
- F51N : Protection à maximum de courant Neutre 30kV ou Neutre BPN 10 kV.
- 67N : Protection à maximum de courant de terre directionnelle à temps inverse (protection complémentaire).

4.37. Protections pour le départ ligne :

- F50-F51 : Protection à maximum de courant côté primaire.
- F51N : Protection à maximum de courant Neutre 30kV ou Neutre BPN 10 kV.
- 67N : Protection à maximum de courant de terre directionnelle à temps inverse.
- 81H/81 L : relai maximum de fréquence / relai minimum de fréquence
- 27/59 : Protection minimum de tension/ Protection maximum de tension
- Pour le temps de réponse des protections réglé à 50 ms
- Pour le temps de réponse de disjoncteur 30kV réglé à 20ms

4.38. Stratégie de contrôle modifiée appliquée à la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT :

L'amélioration des paramètres de qualité de service est un baromètre de la durabilité [78]. Après un examen approfondi des paramètres enregistrés de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT (les données des paramètres sont enregistrées toutes les secondes via le système SCADA) au cours des 4 dernières années, nous remarquons que de nombreuses pannes ont des incidences minimales et peuvent être évitées. Le contrôle modifié de la centrale repose sur plusieurs actions :

- Le premier est le réglage des paramètres de réponse des disjoncteurs [79].
- La deuxième action est basée sur l'optimisation MPPT en ajoutant un contrôle de limitation de puissance par logiciel ou un contrôle de limitation matériel basé sur la déconnexion des champs de puissance photovoltaïque si nécessaire [73].
- La mise en place de la stratégie de Commande proposée est la coordination entre les disjoncteurs et leurs protections Électriques [79] [80], cette stratégie est de type hardware, la figure 4.33 représente une cellule de protections Électriques de disjoncteur de la centrale OUED KEBRIT
- La limitation de fréquence peut être élargie pour les centrales photovoltaïque car aucune contrainte de rotation mécanique n'est utilisée.
- La limitation de tension peut également être étendue comme le permettent la plupart des fabricants de systèmes photovoltaïque.
- La temporisation du disjoncteur peut être augmentée car de nombreux défauts sont transitoires.

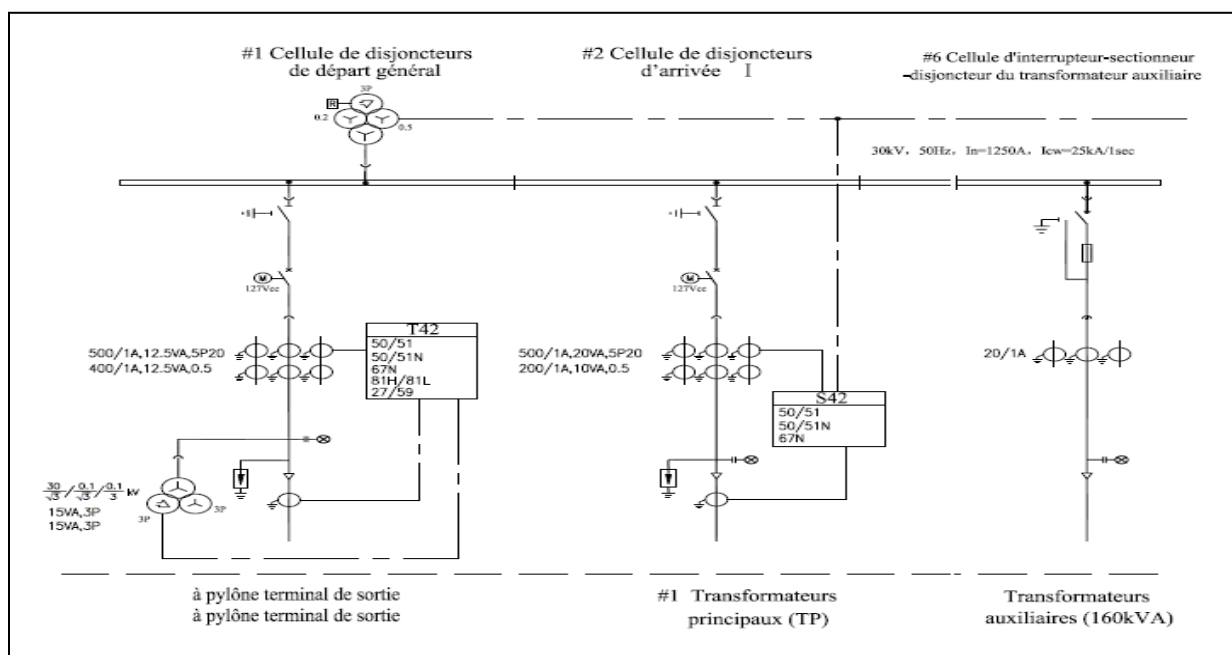


Figure 4.33. Cellule de protections Électriques de disjoncteur de la centrale d'OUED KEBRIT [57]

Un autre contrôle qui est un programme de logiciel intégré pour l'optimisation du circuit MPPT [73], ce programme permet d'imposer une limite à la puissance produite, évitant ainsi les coupures de surcharge comme le représente la figure 4.34

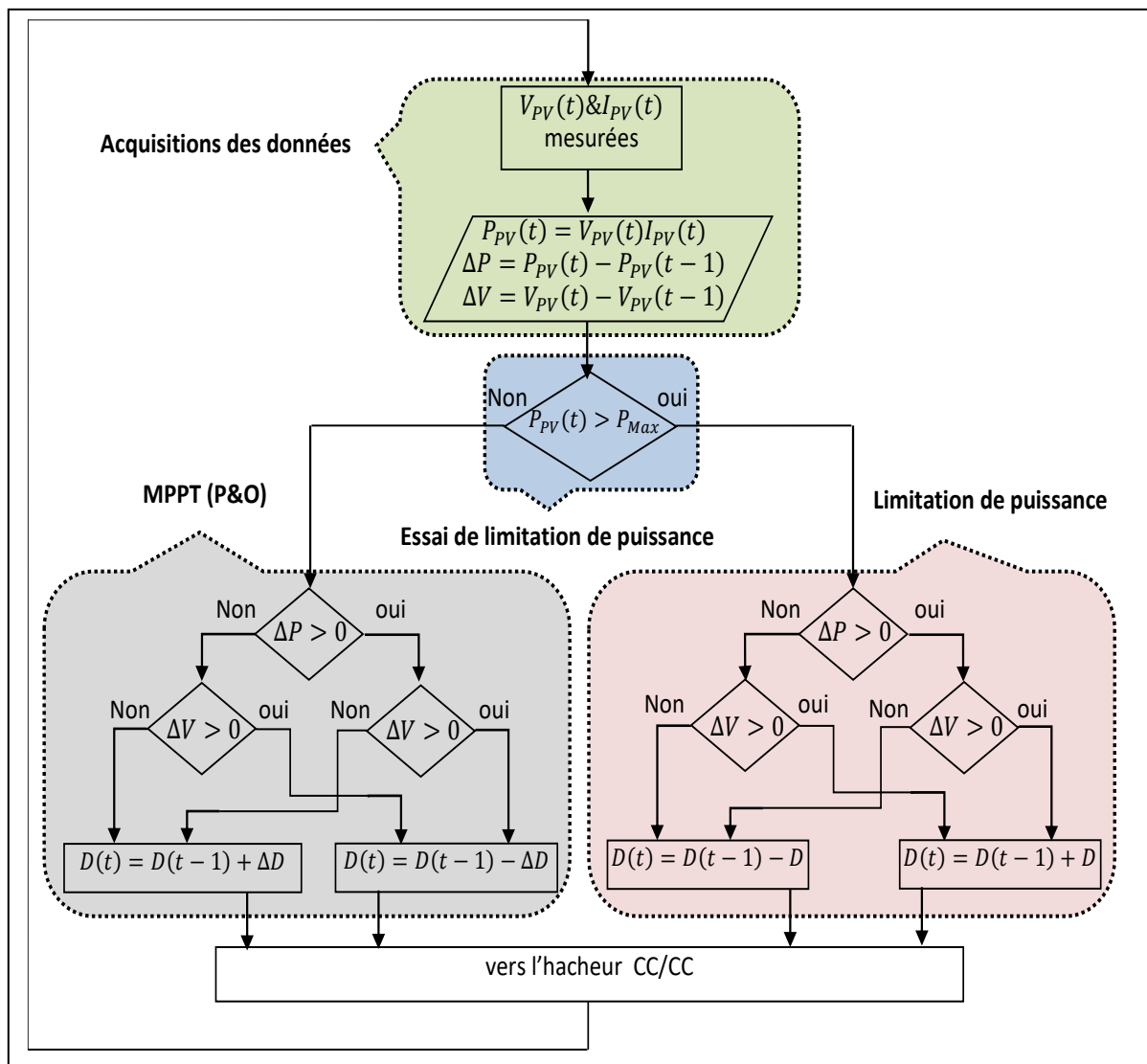


Figure 4.34. Logiciel de limitation de puissance et MPPT [57]

Après investigation et analyse de données enregistrées depuis l'année 2018, de nombreuses pannes ne sont pas nécessaires. Au contraire, la centrale photovoltaïque doit rester connectée et produire de l'électricité. Tableau 4.8 représente l'analyse des incidents avec les actions correctives.

Tableau 4.8 Analyse des incidents et actions correctives

Numéro de cas	Type de défaut	Cause de défaut	Actions correctives
<p>Cas N°1</p> <p>Cas N°2</p> <p>Cas N°9</p> <p>Cas N°11</p> <p>Cas N°12</p>	surcharge	La puissance produite et injectée par la centrale photovoltaïque dans le réseau dépasse légèrement sa capacité limite	<p>Logiciel de limitation de puissance Figure 4.34</p> <p>La centrale photovoltaïque OUED KEBRIT reste opérationnelle</p>
<p>Cas N°3</p> <p>Cas N°6</p>	Chute de tension	Chute de tension sur une phase dépassant les limites admissibles due au déséquilibre de tension au niveau du réseau extérieur à l'installation, détecté par les dispositifs de mesure et de protection de l'installation.	<p>Nouveaux ajustements des seuils de protections (Figure 4.33) dans les limites de la centrale photovoltaïque fournis par le constructeur.</p> <p>La centrale photovoltaïque OUED KEBRIT reste opérationnelle.</p>
<p>Cas N°4</p> <p>Cas N°7</p> <p>Cas N°10</p> <p>Cas N°13</p> <p>Cas N°14</p> <p>Cas N°15</p>	Chute de tension	La surcharge de la demande de puissance sur le réseau a provoqué une chute de tension globale. Arrêter la centrale Électrique ne fera qu'aggraver la situation.	<p>Nouveaux ajustements des seuils de protections (Figure 4.33) dans les limites de la centrale photovoltaïque fournis par le constructeur.</p> <p>La centrale photovoltaïque OUED KEBRIT reste opérationnelle.</p>

Numéro de cas	Type de défaut	Cause de défaut	Actions correctives
Cas N°5	Chute de tension	Court-circuit partiel à l'installation photovoltaïque	Arrêt en urgence de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT
Cas N°8	surcharge	La surcharge sur une phase dépassant les limites admissibles due au déséquilibre de tension au niveau du réseau extérieur à la centrale, imposant une autre répartition de la puissance produite entre les phases de la centrale photovoltaïque et détectée par ses dispositifs de mesure et de protection.	Nouveaux ajustements des seuils de protections (Figure 4.33) dans les limites de la centrale photovoltaïque fournis par le constructeur. La centrale photovoltaïque OUED KEBRIT reste opérationnelle.

Selon cette nouvelle stratégie, un ajustement du code de réseau modifié comme présenté dans le tableau 4.9 du plan de puissance est appliqué à la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT.

Tableau 4.9. Réglages des seuils des protections Électriques au jeu de barres 30 kV

Paramètres	Réglages existants	Réglages Proposés
I_{max} (A)	1250	1250
$K_{U_{min}}$	0,9	0,73
$K_{U_{max}}$	1,1	1,3
$K_{f_{min}}$	0,96	0,95
$K_{f_{max}}$	1,04	1,16
t_{max} (ms)	50	70

Selon le dernier code de réseau modifié, le cas N°5 est le seul vrai défaut pour lequel la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT doit être déconnectée. Les paramètres de qualité de service sont

grandement améliorés [79] [80], rendant la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT beaucoup plus rentable comme indiqué dans le tableau 4.10

Tableau 4.10. Cas de déconnexion obligatoire de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT

Numéro de cas	Date du défaut	Heure début	Heure fin	Durée	ENS MWh	SAID partiel (mn)	SAIFI partiel	CMI	CIC en €
cas N° 5	08/04/2019	10:03:00	10:22:00	00:19:00	3,8	4,75	1	19	710,60
Totale				00:19:00	3,8	4,75	1	19	710,60

4.39. Conclusion

L'évaluation de la fiabilité est une étape très importante dans les systèmes d'alimentation Électrique. Cette fiabilité est modélisée par des paramètres de qualité de service, détaillés ce chapitre. Il est démontré qu'il existe une relation très étroite entre la fiabilité et le code de réseau appliquée. En effet, consommateurs et sources d'alimentation ne sont pas gérés de la même manière.

De plus, il est également prouvé dans ce chapitre que les centrales photovoltaïques doivent bénéficier d'un mode de gestion plus spécifique afin d'améliorer la qualité de service, d'augmenter la fiabilité et la rentabilité. Pour mettre en évidence cette relation, une enquête basée sur les données enregistrées de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT au cours des 4 dernières années a été menée. Un code de réseau modifié basée sur la gestion logicielle et matérielle a été appliquée à la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT et comparée à celle existante. Un gain significatif a été réalisé tel que 3,8 MWh d'END (END : Energie Non Distribuée) au lieu de 675,2 MWh et 710,60 € de CIC (CIC : Cout d'Interruption de Clients) au lieu de 270 080, 00 €.

L'END peut être considérée comme un avantage social alors que la réduction du CIC est plutôt un avantage économique, qui augmente la rentabilité et améliore le retour sur investissement.

Annexe A : Caractéristiques de la ligne EL AOUINET / OUED KEBRIT : [81]

Caractéristique	Ligne 30kV
Longueur de la ligne	06 km
Nombre de pylônes	120 pylônes
Hauteur de pylône	10 m to 12 m
Type de pylône	95BS66 Poles
Section de conducteur	93,3 mm ²
Type de conducteur	ALMELEC
Type d'isolateur	CTV 175 normal
Terrain	Terrain : dénivelé, rocheux

Annexe B : Caractéristiques des onduleurs de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT :

Onduleur de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT	
Nombre des onduleurs	30
Puissance active nominale P:	500 kW
Puissance apparente nominale S:	550 kVA
Tension nominale U:	3015 V
Système de contrôle de l'onduleur	Facteur de puissance
	MPPT
	Surveillance du réseau
	Perte d'isolement
	Temperature
	demarrage
	Arrêt
	Limitation de puissance

Annexe C : Caractéristiques de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT

Centrale photovoltaïque OUED KEBRIT : 15 MWc	
Type de la source	Centrale photovoltaïque
Puissance nominale du module	250 Wc
module PHOTOVOLTAÏQUE	YL25OP-29b
Type module PHOTOVOLTAÏQUE	polycrystalline silicon
Tension nominale du module	29,8 V
Voc	37,6 V
Isc	8,92A

Annex D: Données enregistrées avant et après la modification de code de réseau.

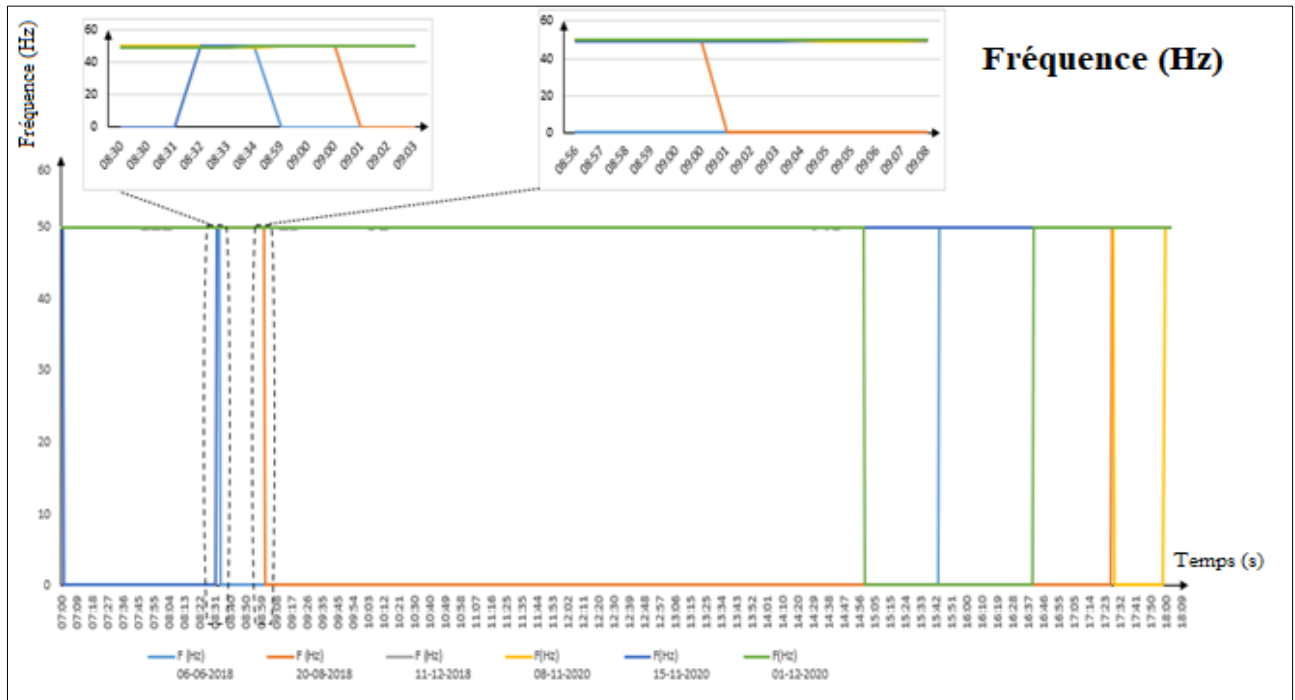


Figure 4.35. Fréquences enregistrées avant et après la modification de code de réseau.

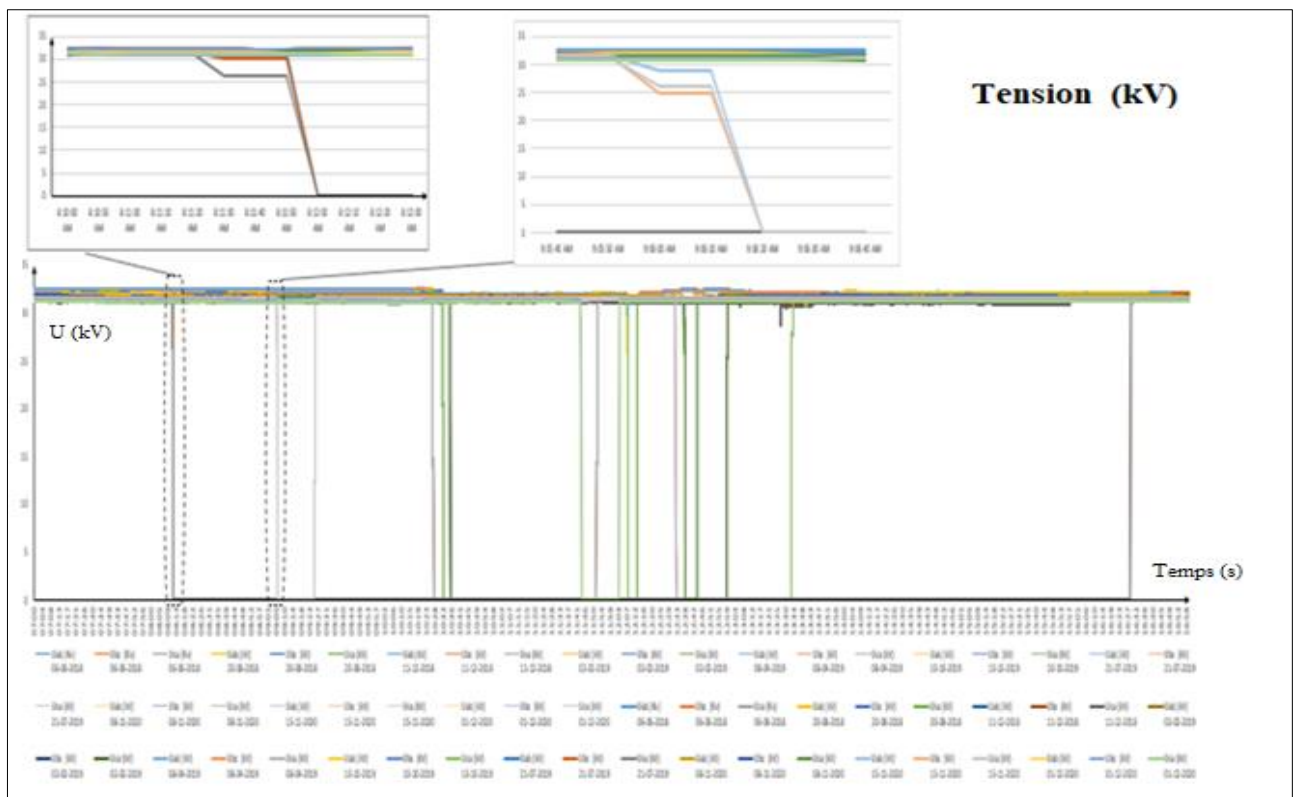


Figure 4.36. Tension enregistrées avant et après la modification de code de réseau.

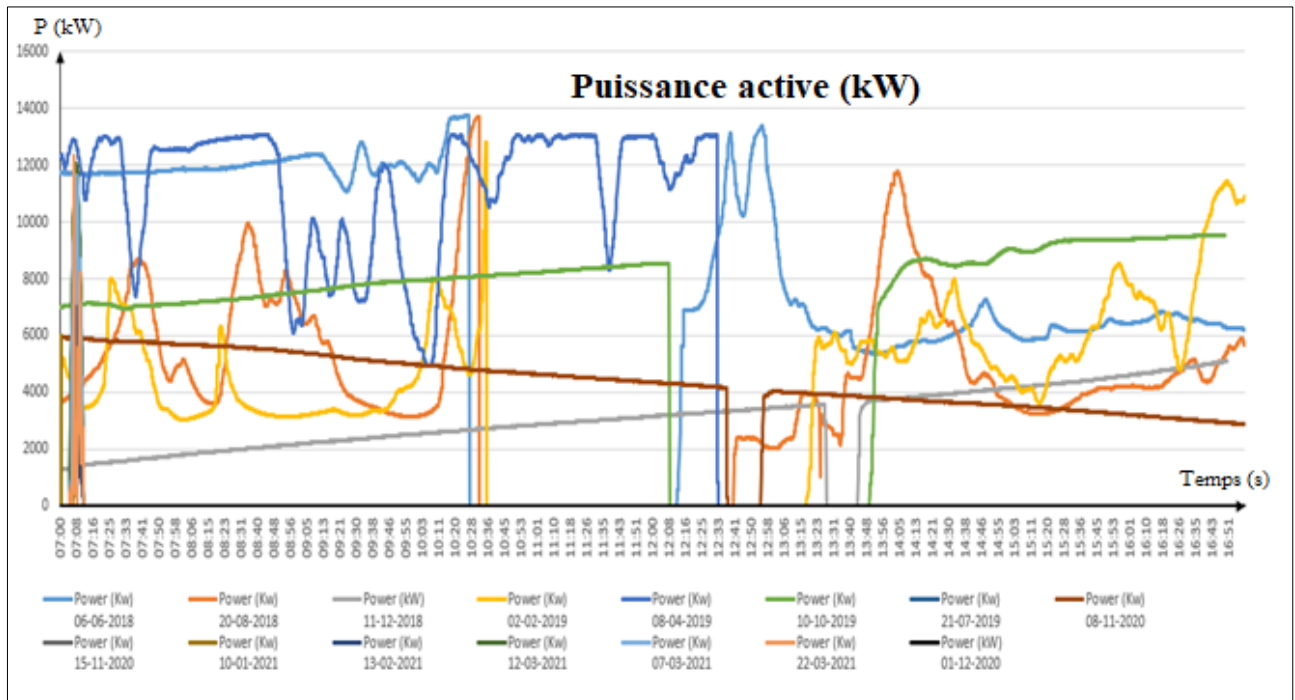


Figure 4.37. Puissance enregistrées avant et après la modification de code de réseau.

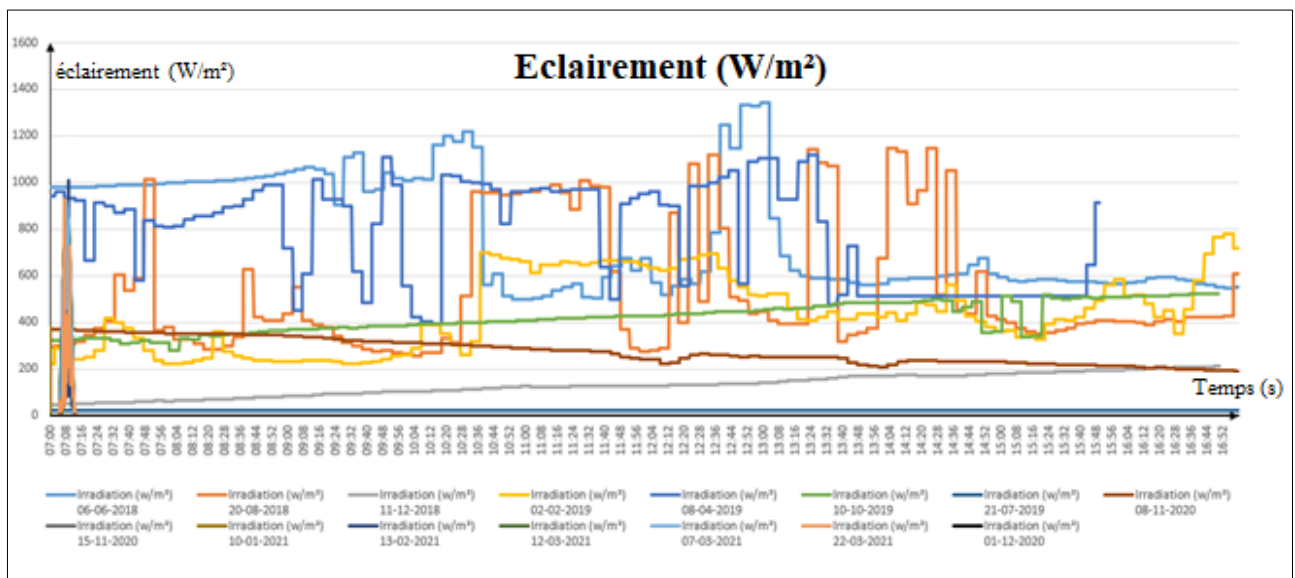


Figure 4.38. Eclairage enregistrés avant et après la modification de code de réseau.

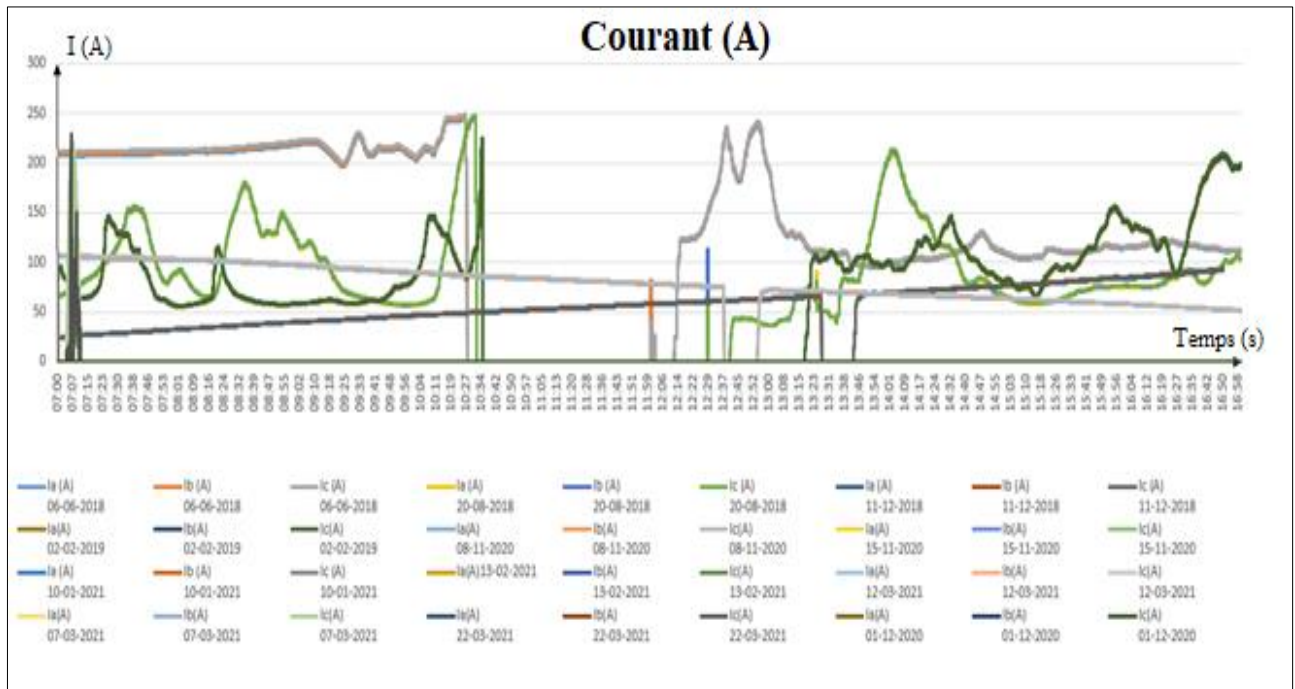


Figure 4.39. Courant enregistrés avant et après la modification de code de réseau.

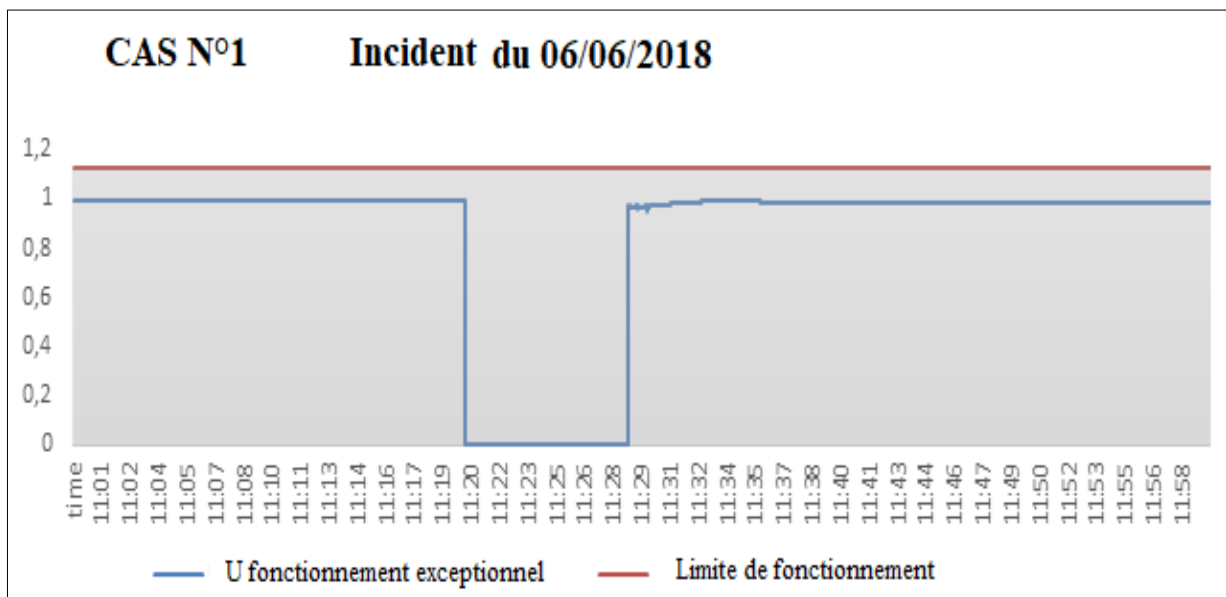


Figure 4.40. Incident enregistré le 06/06/2018.

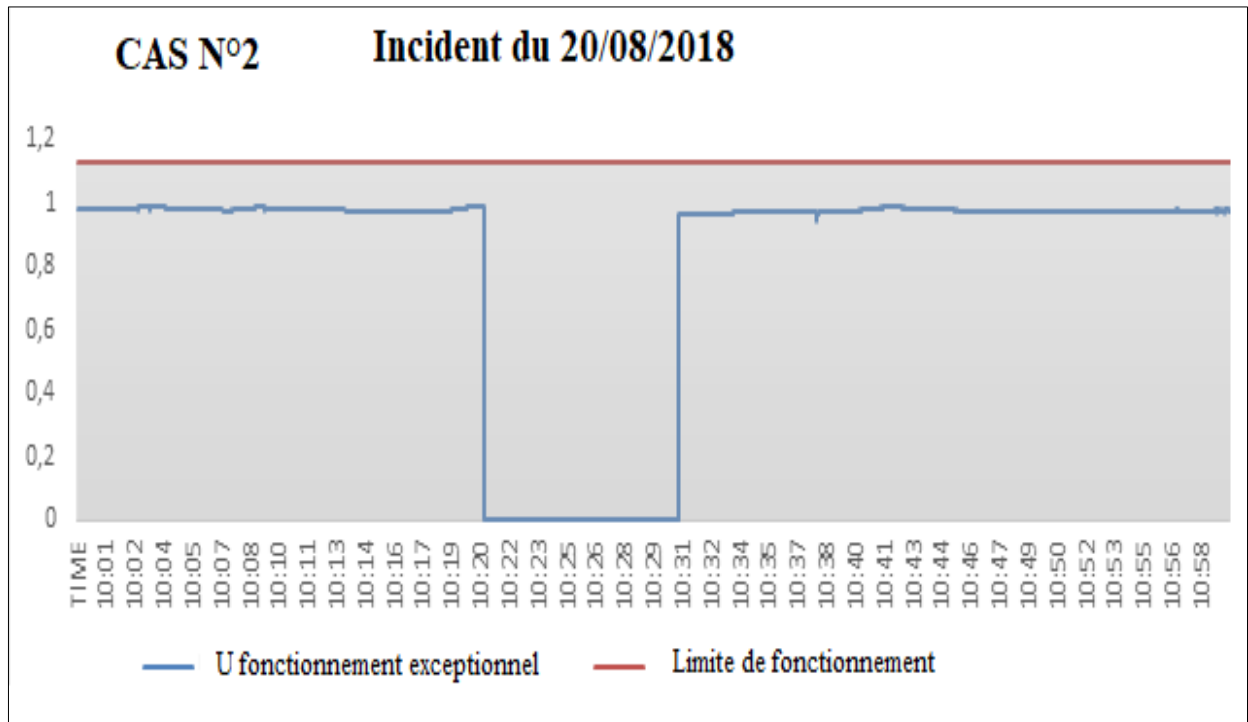


Figure 4.41. Incident enregistré le 20/08/2018.

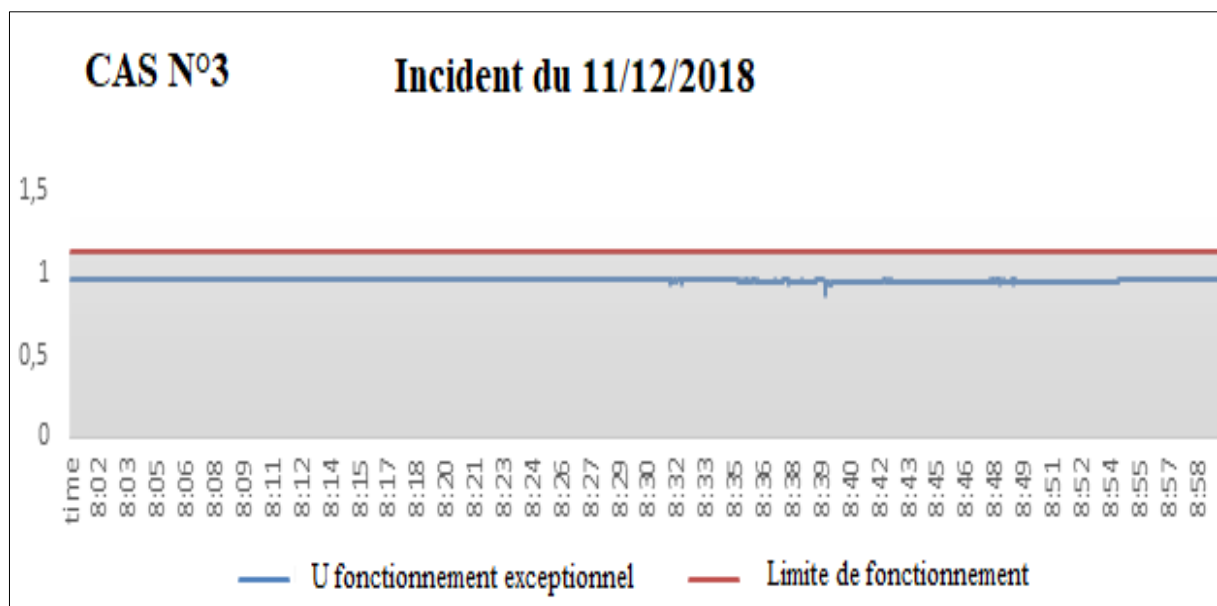


Figure 4.42. Incident enregistré le 11/12/2018.

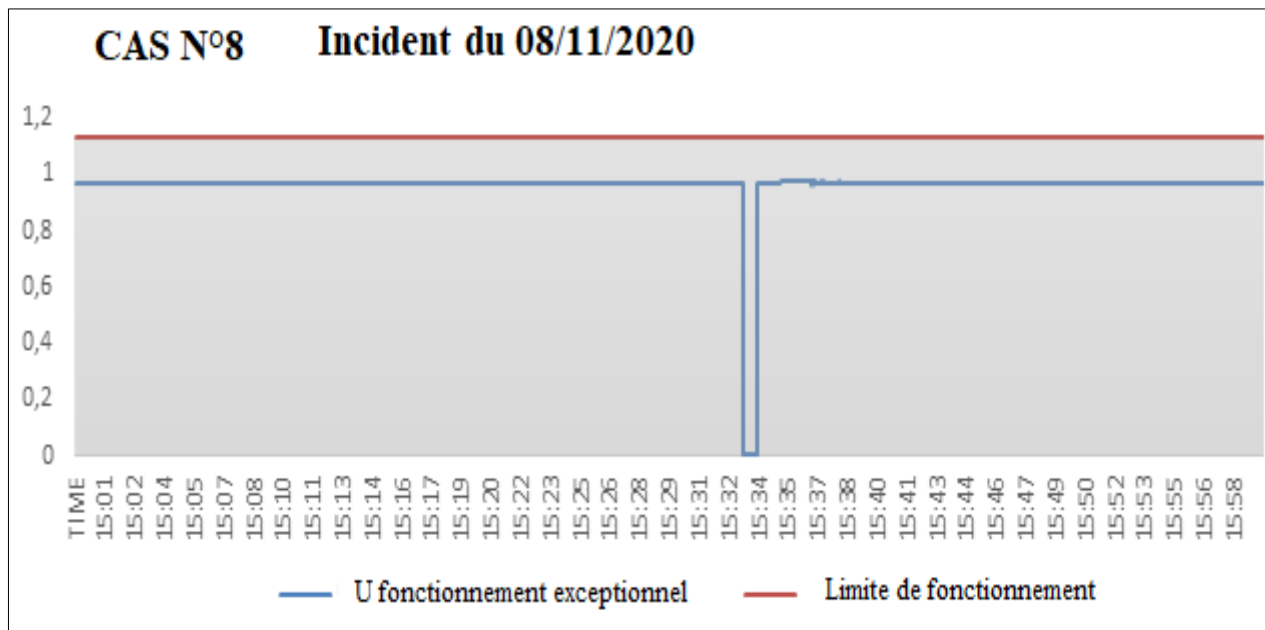


Figure 4.43. Incident enregistré le 08/11/2018.

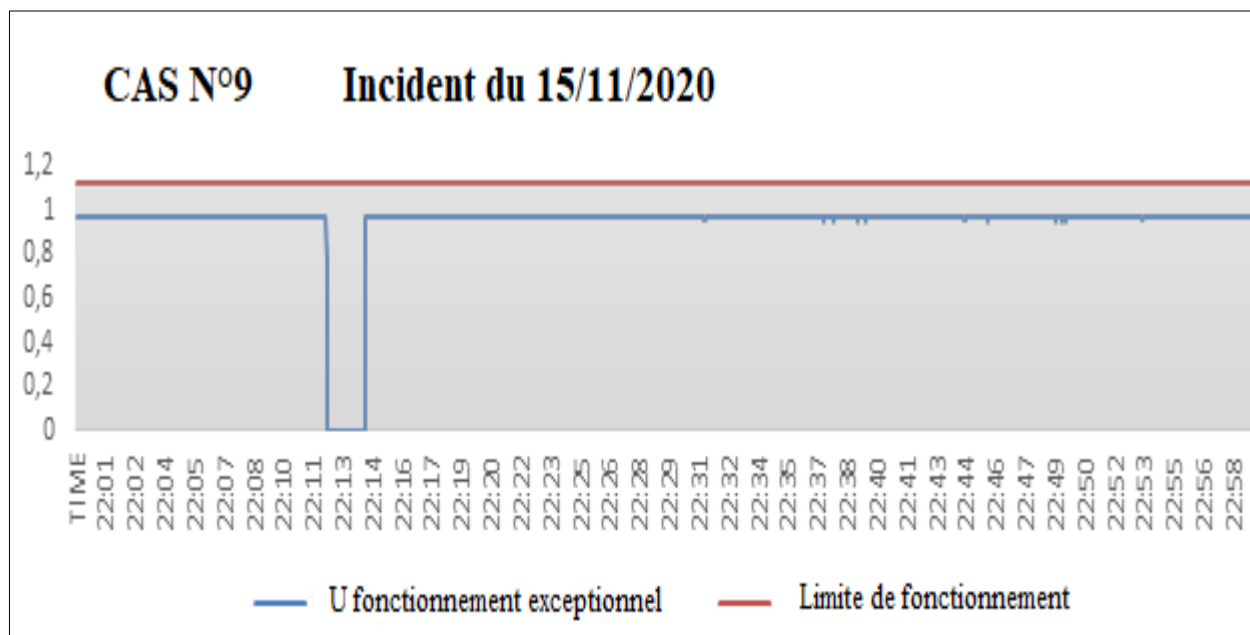


Figure 4.44. Incident enregistré le 15/11/2020.

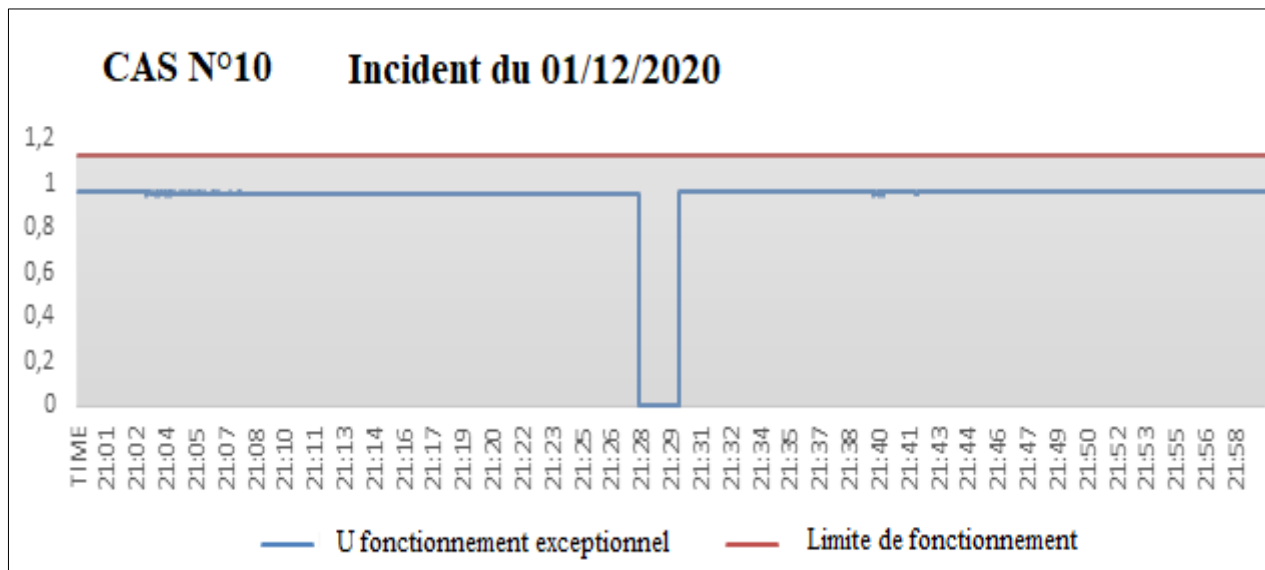


Figure 4.45. Incident enregistré le 01/12/2020.

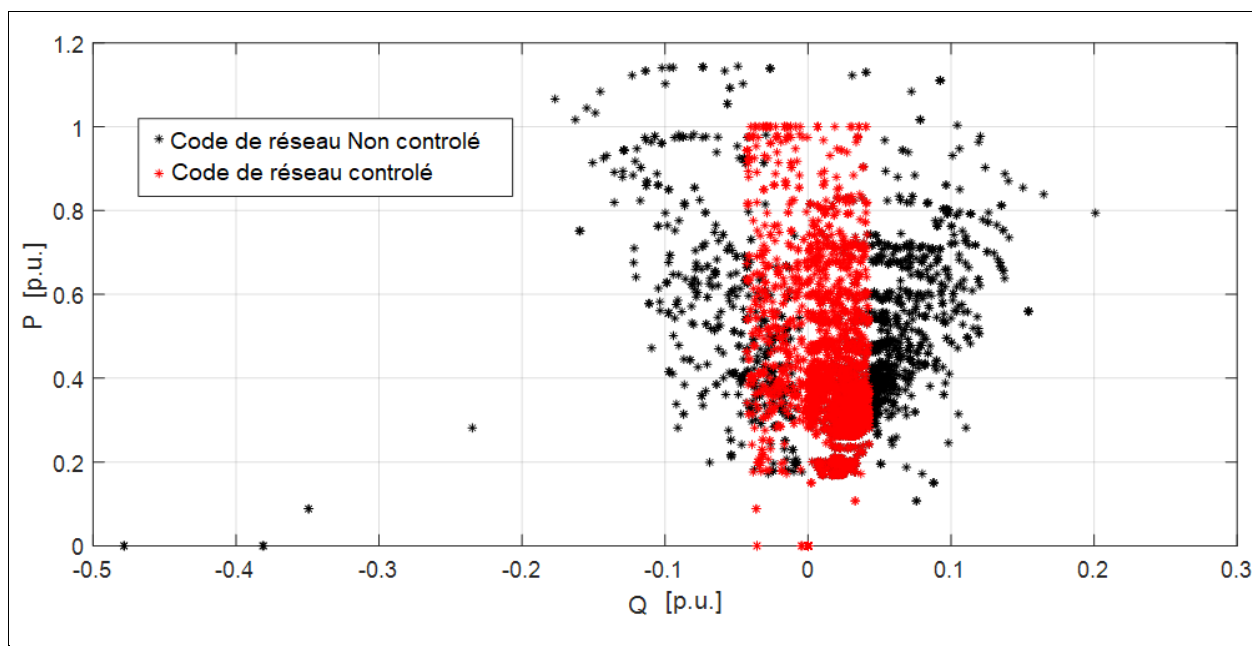


Figure 4.46. Comportement de la centrale OUED KEBRIT selon le nouveau code de réseau appliqué [57]

CHAPITRE N°5 :

Etude d'amélioration de l'intégration de l'Energie solaire

5.1. Introduction :

Dans ce chapitre une présentation du programme de développement des Energies renouvelables en Algérie et précisément l'énergie solaire qui est présentée dans la figure 5.1

Le projet de la centrale OUED KEBRIT a permis de soutenir le réseau Électrique de la région de la Wilaya de SOUK AHRAS et de lutter contre les coupures Électriques, souvent enregistrées durant la période estivale, aussi a contribué également à générer de nouveaux postes d'emploi, notamment dans les spécialités techniques liées à ce domaine, à l'instar des filières d'Energies renouvelables [56].

Ce projet a été mis en place pour l'évacuation de 15MWc vers le poste 90/30kV EL AOUNET, néanmoins la limite de transit de la ligne 30kV OUED KEBRIT/EL AOUNET ne permet que l'évacuation de 12 MWc.

L'objectif essentiel de ce chapitre est l'étude d'une solution pour le problème de limite de transit de la ligne 30kV OUED KEBRIT/EL AOUNET et d'examiner l'impact de l'intégration de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT de puissance 15MWc sur le réseau de distribution 30kV, une étude de trois ans pour améliorer l'intégration de l'énergie solaire de la centrale OUED KEBRIT au réseau Électrique a été évoquée.

5.2. Intégration des Energies Renouvelables (ENR) en Algérie :

5.3. Objectifs du programme des ENR en Algérie à l'horizon de 2030 :

La révision du programme national porte essentiellement sur le développement du photovoltaïque et de l'éolien à grande échelle, sur l'introduction des filières de la biomasse (valorisation des déchets), de la cogénération et de la géothermie et également sur le report, à 2021, du développement du solaire thermique Concentrated Solar Power (CSP).

Ce programme a connu une première phase consacrée à la réalisation de projets pilotes et de tests des différentes technologies disponibles, durant laquelle des éléments pertinents concernant les évolutions technologiques des filières considérées sont apparus sur la scène énergétique et ont conduit à la révision de ce programme. Conformément à la réglementation en vigueur, la réalisation de ce programme national est ouverte aux investisseurs du secteur public et privé nationaux et étrangers [81].

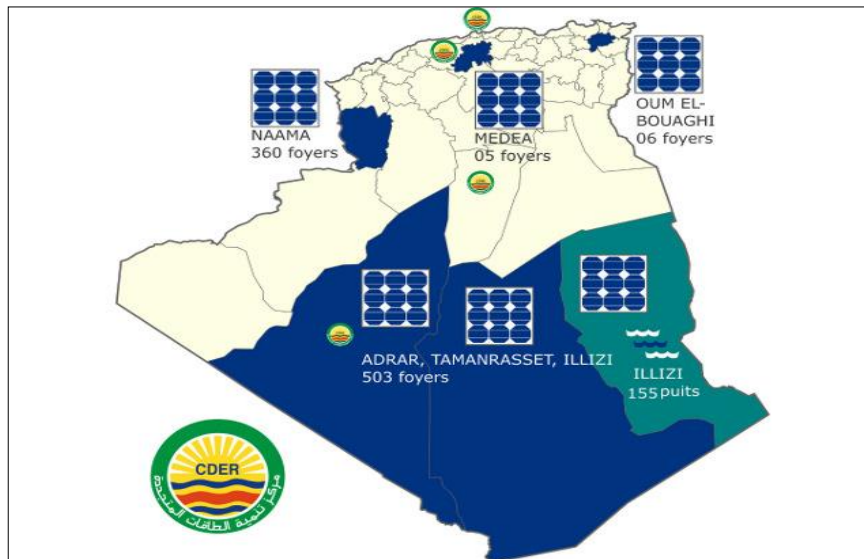


Figure 5.1. Répartition des energies renouvelables (ENR) sur le territoire Algérien [56] [81].

Le programme en energies renouvelables (ENR) consiste à réaliser pour le marché national sur la période 2015-2030 est de 22 000 MW, dont plus de 4500 MW seront réalisés d'ici 2020. Ce programme consiste au développement du photovoltaïque, l'éolien à grande échelle, et les filières de la biomasse, de la cogénération et de la géothermie avec l'introduction du solaire thermique (CSP) à partir de 2021. Les capacités en energie renouvelables seront installées selon les spécificités de chaque région : Région du Sud, pour l'hybridation des centrales existantes et l'alimentation des sites éparses compte tenu de la disponibilité des espaces et de l'important potentiel solaire et éolien qui privilégie ces régions ; Région des Hauts Plateaux pour leur potentiel d'ensoleillement et de vent avec possibilité d'acquisition des terrains ; Région du littoral selon la disponibilité des assiettes de terrain avec l'exploitation de tous les espaces tels que les toitures et terrasses des bâtiments et autres espaces non utilisés [56] [81].

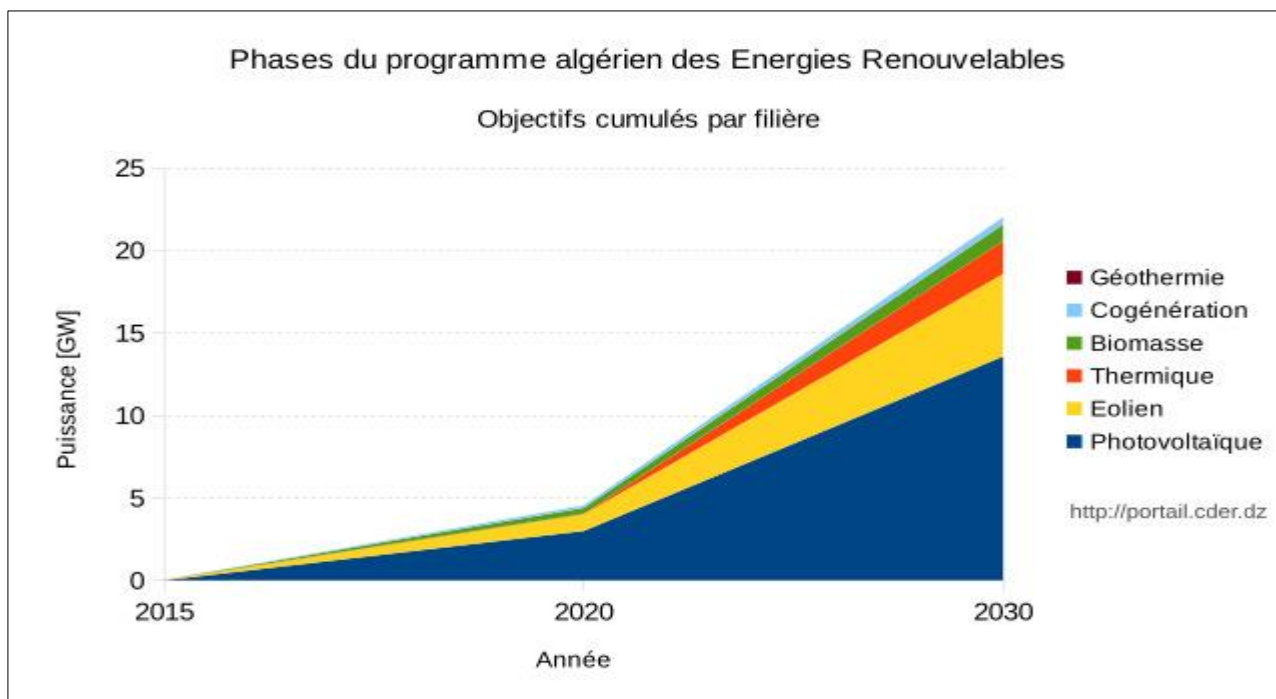


Figure 5.2. Programme algérien des énergies renouvelables à l'horizon de 2030 [56] [81].

Les besoins complémentaires pour d'autres domaines d'application sont intégrés dans la capacité totale du photovoltaïque, tels que le résidentiel, l'agriculture, le pompage, les ressources en eau, l'industrie, l'éclairage public et les services.

La répartition de ce programme par filière technologique est présentée dans le tableau 5.1 suivant :

Tableau 5.1. Répartition du programme des énergies renouvelables par filière technologique [56].

Solaire photovoltaïque	13575 MW
Eolien	5010 MW
Solaire thermique	2000 MW
Biomasse	1000 MW
Cogénération	400 MW
Géothermie	15 MW

Le graphique de la figure 5.2 représente le programme des énergies renouvelables par secteur à l'horizon de 2030

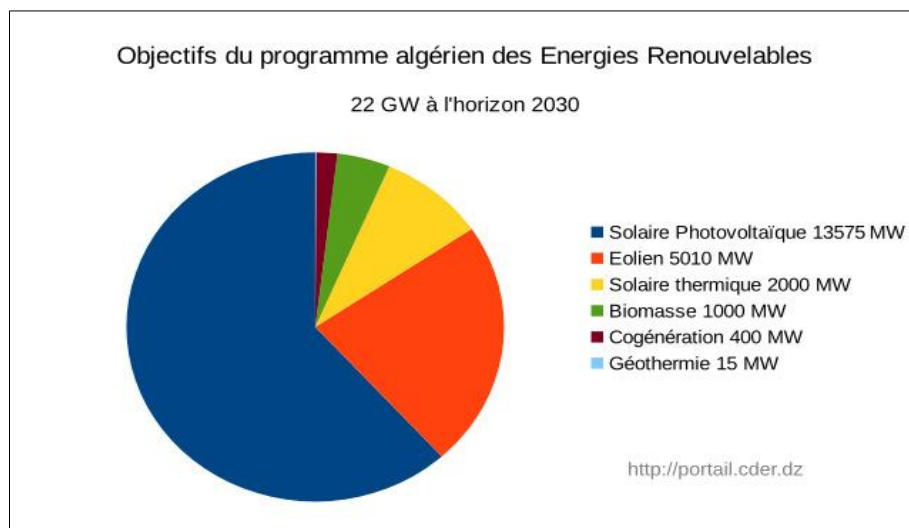


Figure 5.3. Graphique présente le programme Algérien des énergies renouvelables en Algérie [56].

La réalisation du programme permettra d'atteindre à l'horizon 2030 une part de renouvelables de près de 27% dans le bilan national de production d'électricité et 37 % de la capacité installée. Le volume de gaz naturel épargné par les 22 GW en renouvelables, atteindra environ 300 milliards de m³, soit un volume équivalant à 8 fois la consommation nationale de l'année 2014. Le programme de développement des ENR se présente dans le tableau 5.2 suivant :

Tableau 5.2. Programme de développement des énergies renouvelables [56] [81].

/	1 ^{ère} phase	2 ^{ème} phase	TOTAL [MW]
	2015-2020 [MW]	2021-2030 [MW]	
photovoltaïque	3000	10575	13575
Eolien	1010	4000	5010
CSP	-	2000	2000
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1000
Géothermie	05	10	15
TOTAL	4525	17475	22000

L'évolution des objectifs du programme de développement des Energies renouvelables se présente dans la figure 5.4 suivante.

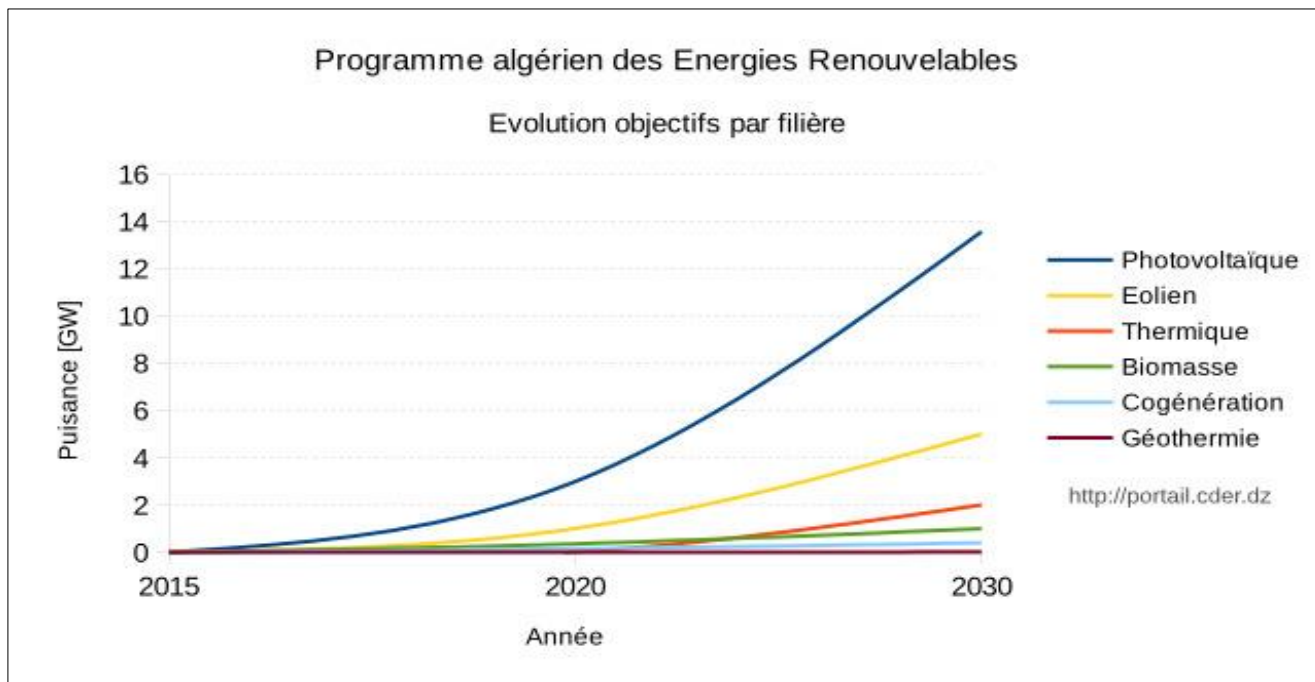


Figure 5.4. Evolution objectifs du programme algérien des energies renouvelables [56]

5.4. Le cadre réglementaire et incitatif des energies renouvelables (ENR) :

L'adoption du cadre juridique favorable à la promotion des ENR et à la réalisation d'infrastructures y afférentes est défini principalement à travers les mesures ci-après [56] [81].

5.5. Loi n° 11-11 du 18 juillet 2011 :

Portant loi de finances complémentaire pour 2011 a relevé le niveau de la redevance pétrolière qui alimente essentiellement le Fonds National pour les Energies renouvelables et la cogénération (FNER) de 0,5% à 1% et a étendu son champ d'application aux installations de cogénération.

5.6. Décret exécutif n°11-423 du 08 décembre 2011 :

Fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spécial n° 302 -131 intitulé "Fonds national pour les Energies renouvelables et la cogénération".

5.7. Décret exécutif n°13-218 du juin 2013 :

Fixant les conditions d'octroi des primes au titre des coûts de diversification de la production d'électricité.

5.8. Décret exécutif n°13-424 du 18 décembre 2013 :

Modifiant et complétant le décret exécutif n° 05-495 du 26 décembre 2005 relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie.

5.9. Arrêtés ministériels du 02 février 2014 :

Fixant les tarifs d'achat garantis pour la production d'électricité à partir d'installations utilisant la filière photovoltaïque, la filière éolienne et les conditions de leur application.

5.10. Loi n° 11-11 du 18 juillet 2011 :

Portant loi de finances complémentaire pour **2011** a relevé le niveau de la redevance pétrolière qui alimente essentiellement le Fond National pour les ENR de **0.5%** à 1% et a étendu son champ d'application aux installations de cogénération.

La réglementation en vigueur a également prévu un mécanisme d'encouragement basé sur les tarifs d'achat garantis, le producteur d'énergie renouvelable bénéficie ainsi de tarifs d'achat qui sont garantis pour une durée de **20 ans** pour les installations en photovoltaïque et en éolien.

Outre le cadre général régissant le développement de l'investissement dont le régime spécifique de la convention peut être ouvert à la promotion des Energies renouvelables, le cadre juridique en vigueur prévoit des soutiens directs et indirects aux Energies renouvelables.

Aussi et afin d'encourager et soutenir les industriels dans la réalisation de ce programme, il est prévu, entre autres, la réduction des droits de douane et de la TVA à l'importation pour les composants, matières premières et produits semi-finis utilisés dans la fabrication des équipements en Algérie, dans le domaine des Energies renouvelables et de l'efficacité énergétique [56] [81].

La majorité des centrales des Energies renouvelables sont localisées au sud d'Algérie comme présenté dans la figure 5.5.

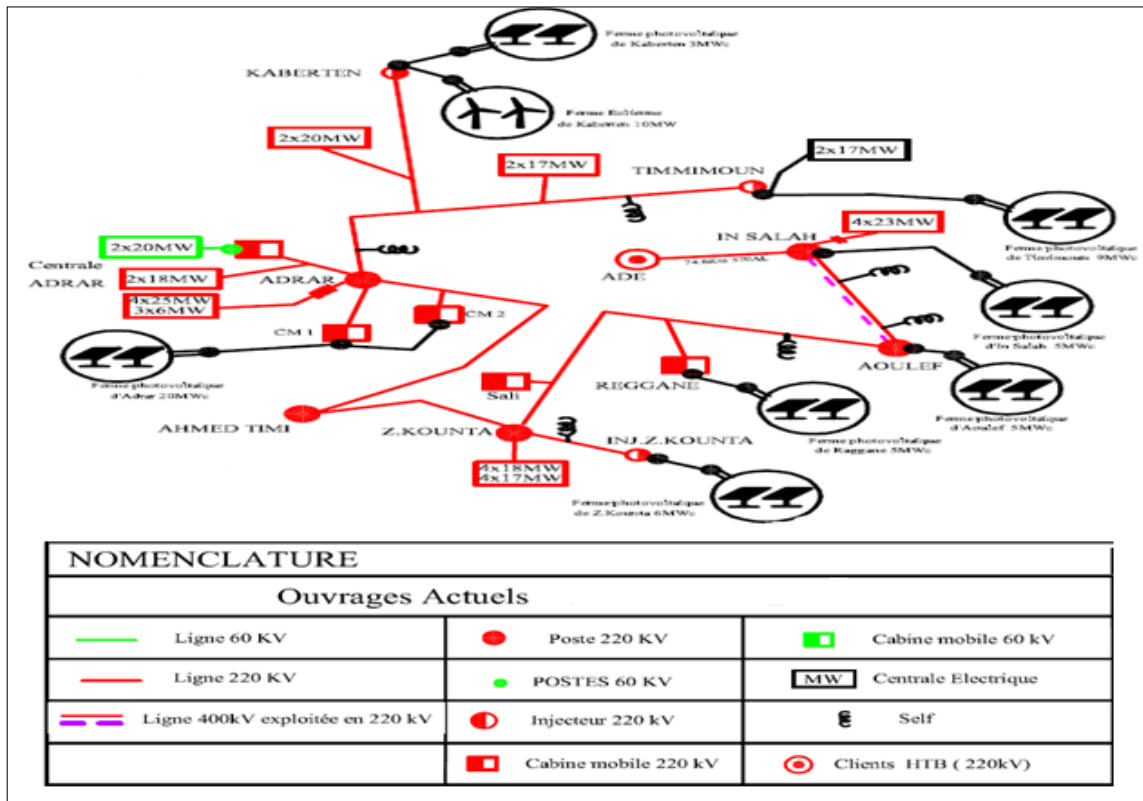


Figure 5.5. Boucle des énergies renouvelables au Sud de l'Algérie [56]

5.11. Les centrales des énergies renouvelables en Algérie :

Les centrales des énergies renouvelables en Algérie sont présentées dans le tableau 5.3 suivant

Tableau 5.3. Les centrales des énergies renouvelables en Algérie. [56]

Nom de la centrale	Type de la centrale	Localité	Puissance
OUED KEBRIT	PHOTOVOLTAÏQUE	Souk Ahras	15 MWc
El Hadjira	PHOTOVOLTAÏQUE	Tougourt	10 MWc
Ain El Melh	PHOTOVOLTAÏQUE	M'Sila	20 MWc
Ain El Bel	PHOTOVOLTAÏQUE	Djelfa	20 MWc
Ain Skhouna	PHOTOVOLTAÏQUE	Saida	30 MWc
E.B.S Chikh	PHOTOVOLTAÏQUE	El Bayadh	24 MWc
Telga	PHOTOVOLTAÏQUE	Tlemcen	12 MWc
Naama	PHOTOVOLTAÏQUE	Naama	20 MWc
Kaberten	PHOTOVOLTAÏQUE	Sud Algérie	03 MWc
Kaberten	Eolienne	Sud Algérie	10 MW

Timimoune	PHOTOVOLTAÏQUE	Sud Algérie	09 MWc
Ain Salah	PHOTOVOLTAÏQUE	Sud Algérie	05 MWc
Aoulef	PHOTOVOLTAÏQUE	Sud Algérie	05 MWc
Reggane	PHOTOVOLTAÏQUE	Sud Algérie	05 MWc
Z.Kounta	PHOTOVOLTAÏQUE	Sud Algérie	06 MWc
Adrar	PHOTOVOLTAÏQUE	Sud Algérie	20 MWc

5.12. Problématique de la centrale OUED KEBRIT :

L'investissement de la centrale OUED KEBRIT est prévu pour produire une capacité de 15MWc, néanmoins la production de la centrale est limitée à 12MWc car elle transit de l'énergie sur une ligne 30kV dont la limite thermique de cette dernière est de 120A/HT, à cause de l'état vétuste de la ligne 30kV OUED KEBRIT/EL AOUNET, une énergie disponible de 03MWc non produite et non consommée, c'est pour cette raison qu'une étude de fiabilisation de la ligne est nécessaire. Cette ligne croise les 02 lignes 220kV KHROUB/EL AOUNET et EL AOUNET /AIN BEIDA [56].

La ligne est ripée sur la travée 30kV ex travée M'DAOUROUCHE au poste 90/30kV EL AOUNET

5.13. Caractéristique de la ligne 30kV OUED KEBRIT / EL AOUNET :

Le tableau 5.4 résume les caractéristiques géométriques de la ligne 30kV OUED KEBRIT/EL AOUNET, les types des supports de la ligne sont représentés dans la figure 5.6

Tableau 5.4. Caractéristiques de la ligne 30kV OUED KEBRIT/EL AOUNET [56] [58].

Type des pylônes	Hauteurs des poteaux	Section du câble conducteur	Type des isolateurs	Limite de transit coté HT	Longueur
Poteaux 95BS66 Poteaux en béton	Entre 10m et 12m	93,30 mm ²	CTV 175	120A	6 Km



Figure 5.6. Les types des supports de la ligne 30kV OUED KEBRIT / EL AOUNET [56] [58].

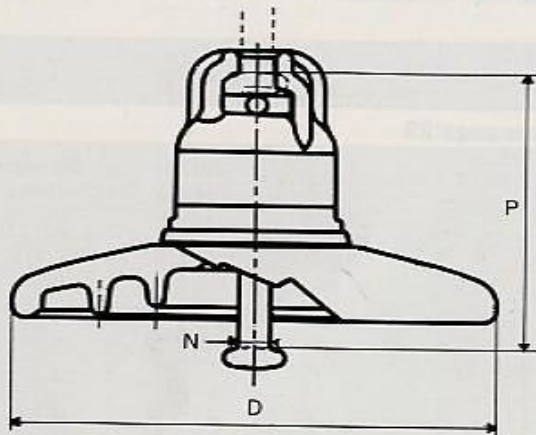
Les isolateurs utilisés dans la ligne 30kV OUED KEBRIT / EL AOUNET sont de type est caractéristique comme le présente la figure 5.7.

ISOLATEURS SUSPENDUS MT

Isolateurs 1508 B et 1508 N

1508 B

1508 N



Utilisation :

isolement des lignes 20 et 30 kV.

Montage :

par logement de rotule et rotule norme de 11.

Anti-parasitage :

les isolateurs avec tresse anti-parasites prennent les références : 1508 B AP et 1508 N AP.

Désignation	D	P	N	Longueur de ligne de fuite	Charge de rupture par contrainte électromécanique (kN)	Poids net approximatif (kg)
1508 B	175	110	11	185	40	1,5
1508 N	175	110	11	185	50	1,6

Dimensions en millimètres

CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES EN CHAÎNE

Nombre d'isolateurs par chaîne	Tension tenue (kV)	
	A fréquence industrielle sous pluie	Au choc de foudre (onde 1,2/50)
1	32	70
2	54	133
3	78	195
4	102	255

Matières :

diélectrique : verre trempé
 capot : alliage métallique
 tige : acier galvanisé
 goupille : alliage métallique

Normes :

logement et rotule : UTE NF C 66.495 et publication CEI 120
 goupille : UTE NF C 66.496 et publication CEI 372
 essais : UTE NF C 66.330 et publication CEI 383

Figure 5.7. Caractéristiques d'isolateur de la ligne 30kV OUED KEBRIT / EL AOUINET [56].

La ligne 30kV OUED KEBRIT/EL AOUINET raccorde le poste 90/30kV EL AOUINET à la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT comme le présente la figure 5.8



Figure 5.8. Raccordement de la centrale OUED KEBRIT vers le poste EL AOUINET [56] [58].

5.14. Modélisation des lignes électriques : [55]

5.15. Modélisation en Pi des lignes électriques :

5.16. Modélisation d'une ligne Électrique longue :

Cette modélisation en Pi permet de représenter le comportement Électrique attendu des lignes Électriques. Le calcul des paramètres Électriques utilisé pour la modélisation repose sur les équations de Maxwell. Elle est basée sur les équations des télégraphistes. Le modèle avec une seule section en Pi n'est valable que pour de faibles fréquences et des lignes Électriques courtes, dans le cas contraire plusieurs sections en Pi doivent être connectées en série. Une portion de ligne Électrique peut être représentée par le quadripôle comme le présente la figure 5.9 d'où :

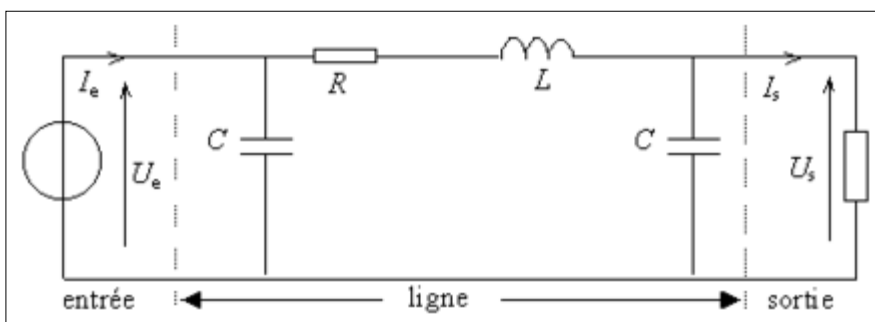


Figure 5.9. Modèle en Pi d'une ligne Électrique [55].

- La résistance série mesurée par unité de longueur du conducteur: Représente la résistance linéique R est exprimée en ohms / unité de longueur.
- La self mesuré par Henry / unité de longueur : Représente l'inductance linéique L
- Condensateur C shunt mesurée par Farad / unité de longueur : Représente la capacité linéique entre les 2 conducteurs.
- La résistance shunt mesurée en Siemens / unité de longueur : Représente La conductance linéique G du milieu diÉlectrique séparant les 2 conducteurs, dans ce modèle la résistance a une valeur de 1 ohms.

Dans ce modèle, on définit la tension en tout point éloigné d'une distance x du début de la ligne et à tout instant t la tension et le courant. Les équations s'écrivent : [55].

$$\frac{\partial U}{\partial x}(x, t) = -L \frac{\partial I}{\partial t}(x, t) - RI(x, t) \quad (5.1)$$

$$\frac{\partial I}{\partial x}(x, t) = -C \frac{\partial U}{\partial t}(x, t) - GU(x, t) \quad (5.2)$$

Dans les formules (5.1) et (5.2) on peut tirer 2 équations (5.3) et (5.4) aux dérivées partielles, ne faisant chacune intervenir qu'une variable : [55].

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}(x, t) = LC \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}(x, t) + (RC + GL) \frac{\partial U}{\partial t}(x, t) + GRU(x, t) \quad (5.3)$$

$$\frac{\partial^2 I}{\partial x^2}(x, t) = LC \frac{\partial^2 I}{\partial t^2}(x, t) + (RC + GL) \frac{\partial I}{\partial t}(x, t) + GRI(x, t) \quad (5.4)$$

Les impédance et admittance dans le modèle en Pi représentés par la figure.IV.10 suivante :

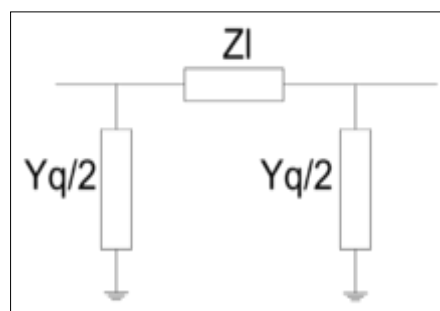


Figure 5.10. Impédances d'une ligne Électrique du modélisé en Pi [55].

En considérant les pertes, l'impédance Z_l et l'admittance Y_q se calcule comme présenté dans les équations (5.5) et (6.6) suivantes :

$$Z_l = \Gamma \cdot \sinh(\gamma \cdot l) \quad (5.5)$$

$$\frac{Y_q}{2} = \frac{1}{\Gamma} \tanh\left(\gamma \cdot \frac{l}{2}\right) \quad (5.6)$$

L'équation (5.7) représente la constante de propagation :

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{Z' \cdot Y'} \quad (5.7)$$

L'équation (5.8) représente l'impédance de la ligne :

$$\Gamma = \sqrt{\frac{Z'}{Y'}} \quad (5.8)$$

D'où :

Z' : Représente l'admittance linéique de la ligne.

Y' : Représente l'admittance linéique de la ligne.

5.17. Modélisation d'une ligne Électrique sans perte : [55].

Pour une ligne sans perte on utilise les équations (5.9) et (5.10) suivantes :

$$Z_l = \Gamma \cdot j \cdot \sin(B \cdot l) \quad (5.9)$$

$$\frac{Y_q}{2} = \frac{1}{\Gamma} j \cdot \tan\left(B \cdot \frac{l}{2}\right) \quad (5.10)$$

5.18. Modélisation d'une ligne Électrique courte :

Pour une ligne aérienne courte, inférieure à 80 km, on peut négliger les capacités et simplifier l'impédance.

5.19. Nombre de Pi à utiliser :

Une section en Pi n'est constituée que d'éléments concentrés. Avec une seule section, le modèle en Pi n'est valable qu'en basse fréquence pour de faible longueur de ligne. Quand la longueur ou la fréquence augmente, le nombre de sections en Pi à connecter en série pour avoir une modélisation correcte doit être augmenté.

Une ligne peut être considérée comme "courte", c'est-à-dire modélisable avec une seule section en Pi, jusqu'à 200 km pour une ligne aérienne en 50 Hz et de 100 km pour un câble. Le nombre de sections en Pi doit augmenter proportionnellement avec la fréquence et inversement proportionnel à la longueur de ligne [55].

5.20. Conducteur équivalent :

Les lignes à haute tension, surtout à plus de 220 kV, ne possèdent pas un conducteur unique par phase, mais de faisceaux de conducteurs en contenant de 2 à 4 comme le présente la figure 5.11, il est possible de modéliser un faisceau de conducteurs par un conducteur équivalent de rayon.

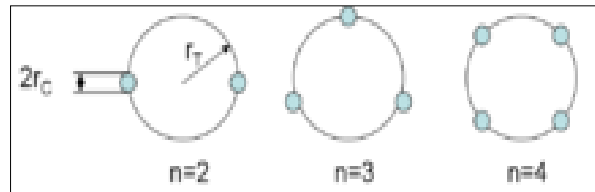


Figure 5.11. Faisceaux de conducteur de 2, 3 ou 4 conducteurs [55]

Où $r_{\text{equivalent}}$ est le rayon équivalent du faisceau, r_c le rayon des conducteurs, r_T le rayon du cercle formé par le faisceau, n le nombre de conducteurs par faisceau comme le présente la figure 5.12

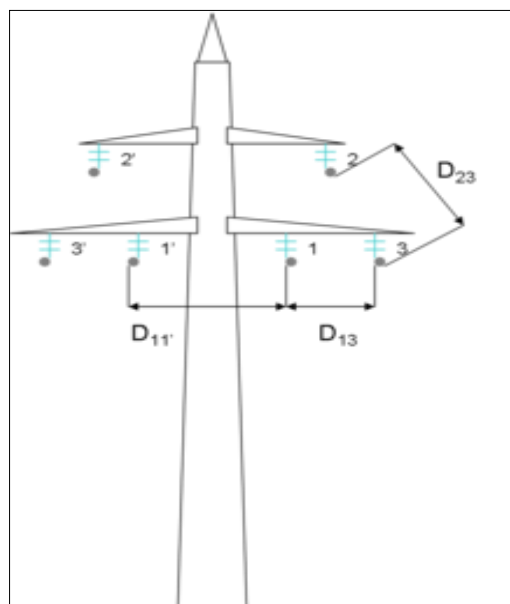


Figure 5.12. Distance entre les faisceaux de conducteur sur un pylône [55]

Pour un système triphasé, il est possible de définir une distance équivalente entre les conducteurs, ou faisceaux de conducteurs selon le cas, en calculant la moyenne géométrique .

Pour le cas d'un système double (deux lignes triphasés de chaque côté du pylône) : [55]

\mathcal{R} : La résistance linéaire d'un conducteur à 20 °C avec :

s : La section du câble

ρ : La résistivité du matériau du conducteur. Pour un conducteur en cuivre la résistivité est de l'ordre de $1,8 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ pour de l'aluminium de $3 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$.

La résistance de la ligne dépend également de la température : Où

τ : Le coefficient de température est la différence en kelvins entre la température et $20^\circ C$.

Dans le cas d'un faisceau de conducteurs, ces derniers étant en parallèle la résistance doit être divisée par le nombre de conducteurs.

Tableau 5.5 cité ci-après représente les valeurs des résistances pour chaque niveau de tension.

Tableau 5.5. Résistances pour chaque niveau de tension de ligne Électrique [56]

Tension de la ligne (kV)	Nombre de conducteurs par faisceau	Résistance (Ω/km)
70	1	0,09-0,35
110	1	0,12
220	2	0,04-0,09
380	4	0,03

Le tableau 5.6 cité ci-après représente les valeurs des inductances pour chaque niveau de tension

Tableau 5.6. Inductances pour chaque niveau de tension de ligne Électrique [56]

Tension de la ligne (kV)	Nombre de conducteurs par faisceau	Inductance (Ω/km)
70	1	0,2 - 0,4
110	1	0,4
220	2	0,3
380	4	0,25

5.21. Etudes des solutions pour la problématique :

Dans ce chapitre on va étudier 03 variantes de solution pour résoudre le problème de la limite de transit de la ligne 30kV OUED KEBRIT/EL AOUNET et d'examiner l'impact de l'intégration de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT 15MWc sur le réseau de distribution 30kV,

5.22. Etude variante N°01 :

Cette étude consiste à la rénovation de la ligne 30kV EL AOUNET /OUED KEBRIT afin d'assurer une limite thermique plus grande par le remplacement des câbles conducteurs de section $93,3 \text{ mm}^2$ type ALU par des câbles de section de 116 mm^2 type ALMELEC, les paramètres Électriques de la ligne seront calculés par les équations suivantes [58].

$$Z = R + jX = R_0 \cdot l + jX_0 \cdot l = Z_0 \cdot l \text{ avec} \quad (5.11)$$

$$Z_0 = R_0 + jX_0 \text{ d'où :} \quad (5.12)$$

$$R_0 = \frac{\rho}{s} \quad (5.13)$$

$$X_0 = 0,144 + \log \frac{d_{moy}}{r_{\acute{e}q}} + \frac{0,016}{n} \text{ avec :} \quad (5.14)$$

$$d_{moy} = 1,26 * d \quad (5.15)$$

$$b_0 = c_0 * \omega = 7,58 * \log \frac{d_{moy}}{r_{\acute{e}q}} \quad (5.16)$$

Donnée de la variante d'étude N°1 : [56] [58]

- Longueur de la ligne : 06 Km
- $X_0 = 0,326$ "ohm (Ω)"
- $XL = 1,956$ "ohm. Kilomètre ($\Omega.Km$)"
- $B_0 = 3,51710^{-6}$ "siemens (S)"
- $A = D = 0,99 + j 1,79 * 10^{-5}$
- $B = 1,69 + j 1,95$
- $C = 1,88 * 10^{-10} + j 2,11 * 10^{-5}$

L'application numérique des équations suscitées donnent :

$$R_0 = \frac{0,358}{93,3} = 0,003808$$

$$d_{moy} = 1,26 * 12,5$$

$$X_0 = 0,144 + \log \frac{d_{moy}}{r_{\acute{e}q}} + \frac{0,016}{n} = 0,144 + [\log (1,26 * 12,5 / 6,25)] + (0,016 / 1) = 0,561400$$

Ce qui donne : $Z_0 = 0,003808 + j 0,561400$

$$b_0 = 7,58 * 10^{-6} * \log \frac{2}{0,014} = 3,517 * 10^{-6} \text{ siemens}$$

- Départ 30kV MESLOULA, longueur de 29,45 Km :

$$Z_0 = 0,003808 + j 0,561400$$

$$Z = 0,112145 + j 16,53323$$

- Départ 30kV MESKANA, longueur de 46,6 Km :

$$Z_0 = 0,003808 + j 0,561400$$

$$Z = 0,177453 + j 26,161265$$

- Départ 30kV OUENZA 3, longueur de 78,80 Km :

$$Z_0 = 0,003808 + j 0,561400$$

$$Z = 0,3000704 + j 44,238362$$

- Départ 30kV EL AOUNET /OUED KEBRIT, longueur de 06 Km :

$$Z_0 = 0,003808 + j 0,561400$$

$$Z = 0,022848 + j 3,3684$$

5.23. Remplacement des câbles conducteurs : [58].

Cette étude consiste à remplacer les câbles conducteurs existants de section 93,3 mm² ALU par des câbles de section 116mm² type ALMELEC ainsi que protection de la ligne par l'installation des parafoudres à la sortie de la centrale d'OUED KEBRIT et à l'entrée du poste 90/30kV EL AOUNET puisque les poteaux BS ne dispose pas de dispositif de raccordement des câbles de garde pour fiabiliser le fonctionnement de la ligne.

La figure 5.13 présente le tracé de la ligne 30kV EL AOUNET /OUED KEBRIT ainsi que le profil en long de l'étude de la Var N°1 sur le logiciel Google Earth.

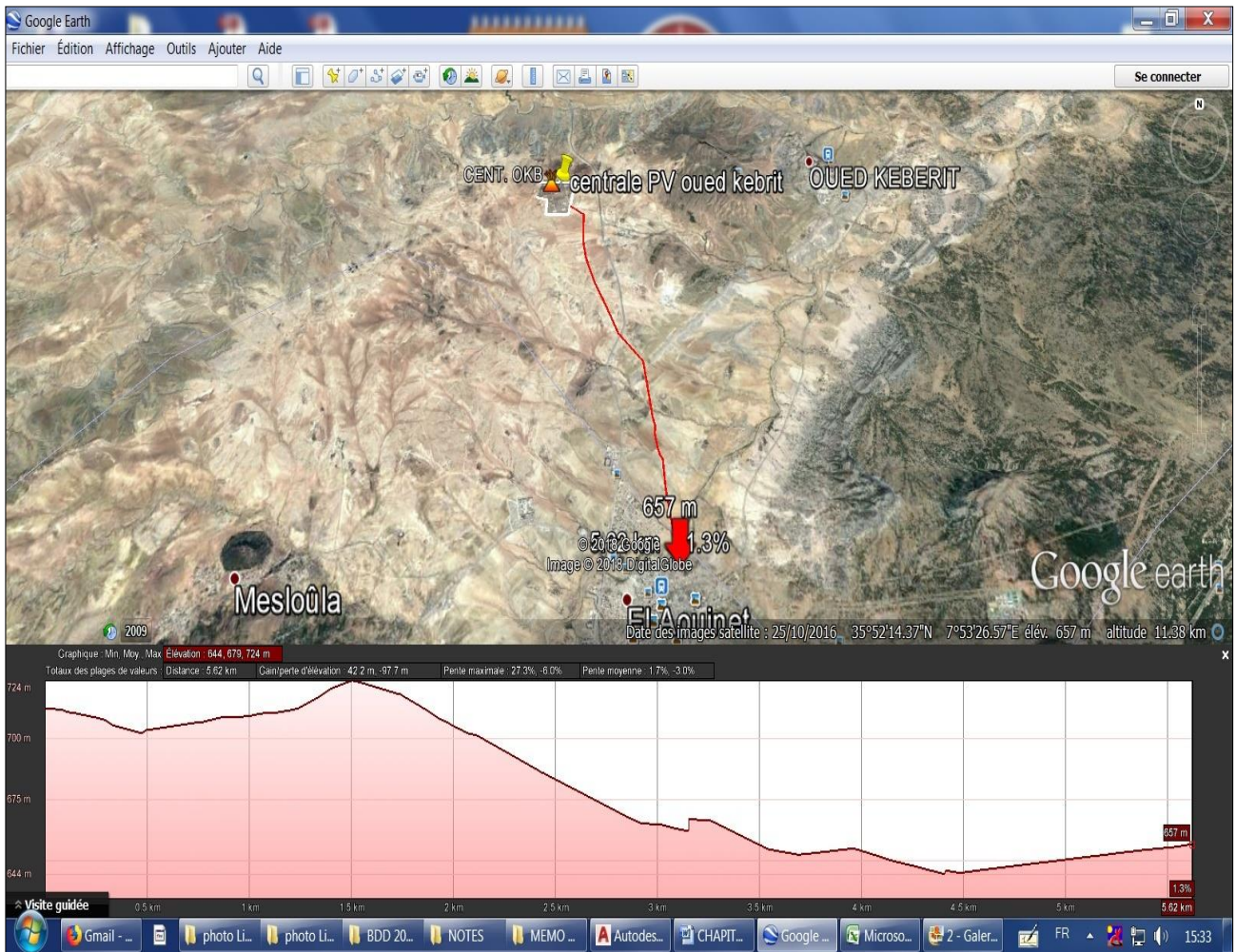


Figure 5.13. Tracé et profil en long de la ligne Électrique de l'étude de la variante N°1.

Les caractéristiques des câbles conducteurs à utiliser dans cette étude (variante N°1) sont présentés dans le tableau 5.7 cité ci-après :

Tableau 5.7. Caractéristiques des câbles conducteur étude variante N°1 [56].

Câbles aluminium-acier								
a) Câbles équilibrés								
Section nominale mm ²	Composition		Diamètre extérieur mm	Charge de rupture nominale daN	Résistance électrique à +20 °C par kilomètre ohms	Masse du câble graissé intérieurement kg/km	Module d'élasticité E daN/mm ²	Coefficient de dilatation α
	Acier mm	Aluminium mm						
37,7	3 fils de 2	9 fils de 2	8,3	1 540	1,02	158	8 650	17,1 × 10 ⁻⁶
59,7	7 fils de 2	12 fils de 2	10	3 050	0,765	279	10 150	15,4 × 10 ⁻⁶
75,5	7 fils de 2,25	12 fils de 2,25	11,25	3 840	0,605	351	10 150	15,4 × 10 ⁻⁶
116,2	7 fils de 2	30 fils de 2	14	4 740	0,306	439	7 850	18 × 10 ⁻⁶
147,1	7 fils de 2,25	30 fils de 2,25	15,75	5 950	0,243	555	7 850	18 × 10 ⁻⁶
181,6	7 fils de 2,5	30 fils de 2,5	17,5	7 290	0,197	683	7 850	18 × 10 ⁻⁶
228	7 fils de 2,8	30 fils de 2,8	19,6	9 000	0,157	861	7 850	18 × 10 ⁻⁶
288	7 fils de 3,15	30 fils de 3,15	22,05	11 320	0,1225	1 091	7 850	18 × 10 ⁻⁶
b) Câbles non équilibrés								
297	19 de 2,25	36 de 2,8	22,45	13 950	0,1305	1 238	8 700	16,9 × 10 ⁻⁶
412	19 de 2,4	32 de 3,6	26,4	16 960	0,0898	1 618	8 150	17,6 × 10 ⁻⁶
612	19 de 2,65	42 de 2,61 20 de 4,24	32,2	22 750	0,0566	2 281	7 650	18,3 × 10 ⁻⁶
865	19 de 3,15	66 de 3,72	38,1	31 890	0,0405	3 229	7 650	18,3 × 10 ⁻⁶
1 195	37 de 2,8	54 de 2,8 66 de 3,5	44,8	47 090	0,0300	4 604	7 850	18 × 10 ⁻⁶

Nota : Pour plus de détails, se reporter à la norme française NFC 34-120.

TABLEAU II								
Câbles alliage d'aluminium-acier								
a) Câbles équilibrés								
Section nominale mm ²	Composition		Diamètre extérieur mm	Charge de rupture nominale daN	Résistance électrique à +20 °C par kilomètre ohms	Masse du câble graissé intérieurement kg/km	Module d'élasticité E daN/mm ²	Coefficient de dilatation α
	Acier mm	Aluminium allié mm						
75,5	7 fils de 2,25	12 de 2,25	11,25	5 770	0,695	351	10 500	15,3 × 10 ⁻⁶
147,1	19 de 2,25	18 de 2,25	15,75	13 685	0,466	810	12 400	14,2 × 10 ⁻⁶
147,1	7 fils de 2,25	30 de 2,25	15,75	8 185	0,279	565	8 350	18,1 × 10 ⁻⁶
181,6	19 de 2,5	18 de 2,5	17,5	16 895	0,378	1 000	12 400	14,2 × 10 ⁻⁶
181,6	7 fils de 2,5	30 de 2,5	17,5	10 120	0,227	685	8 350	18,1 × 10 ⁻⁶
228	19 de 2,8	18 de 2,8	19,6	21 200	0,300	1 257	12 400	14,2 × 10 ⁻⁶
228	7 fils de 2,8	30 de 2,8	19,6	12 680	0,180	861	8 350	18,1 × 10 ⁻⁶
288	19 de 3,15	18 de 3,15	22,05	26 800	0,237	1 587	12 400	14,2 × 10 ⁻⁶
299	19 de 2,5	42 de 2,5	22,5	20 875	0,162	1 341	9 900	16,3 × 10 ⁻⁶
376	37 de 2,8	24 de 2,8	25,2	38 960	0,225	2 237	13 330	13,5 × 10 ⁻⁶
b) Câbles non équilibrés								
94,1	19 de 1,68	15 de 2,10	12,6	8 035	0,642	486	11 600	14,7 × 10 ⁻⁶
412	19 de 2,4	32 de 3,6	26,4	23 830	0,103	1 618	8 600	17,8 × 10 ⁻⁶
612	19 de 2,65	42 de 2,61 20 de 4,24	32,2	32 690	0,0651	2 281	8 100	18,6 × 10 ⁻⁶
865	19 de 3,15	66 de 3,72	38,1	46 000	0,0465	3 229	8 150	18,5 × 10 ⁻⁶
1 195	37 de 2,8	54 de 2,8 66 de 3,5	44,8	66 750	0,0345	4 604	8 400	18,1 × 10 ⁻⁶

Nota : Se référer pour plus de détails à la norme française NFC 34-125.

5.24. Déroulage des câbles conducteurs :

La méthode de déroulage des câbles conducteurs appliquée sera sous tension mécanique avec le respect des distances géométriques comme le présente la figure 5.14

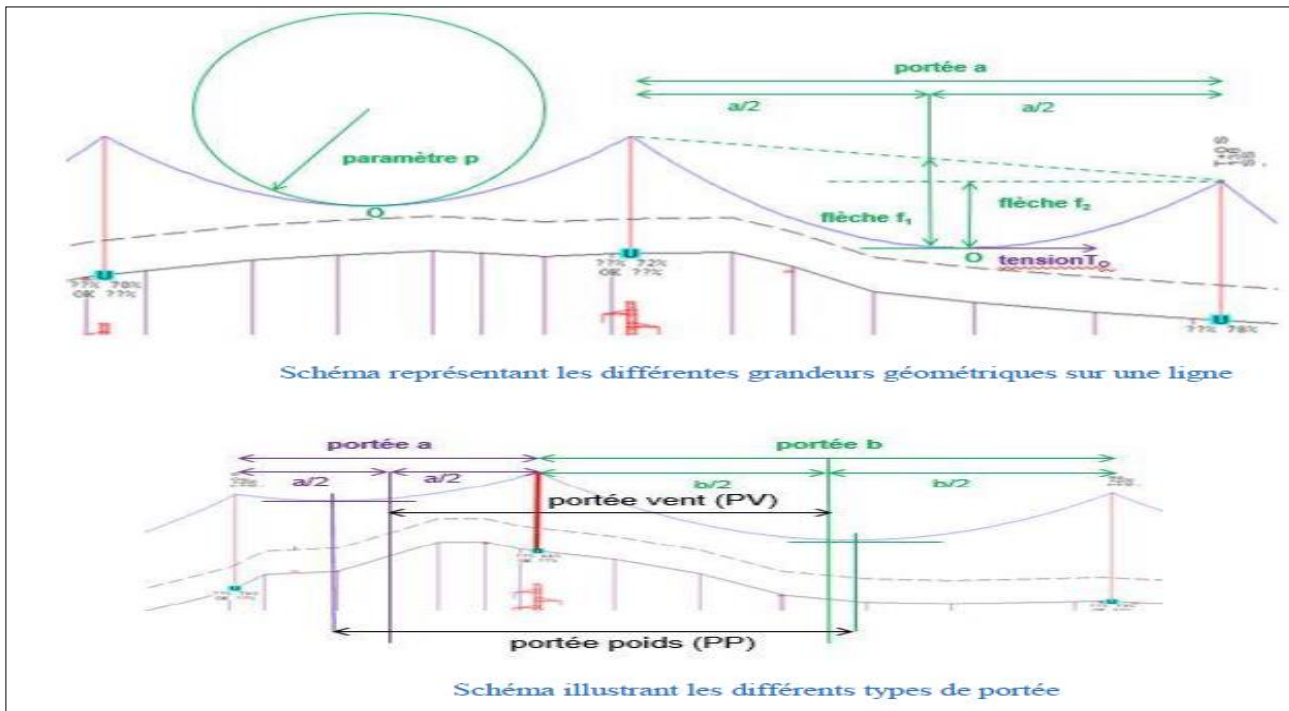


Figure 5.14. Grandeurs géométriques sur une ligne Électrique [56].

5.25. Plan de déroulage :

Dans l'étude théorique le déroulage est basé sur le dossier d'études de croisement et de déroulage qui sont composés de ce qui suit :

- Plan de traversées et de croisement avec la localisation géométrique (distance verticales et horizontales) des objets croisant chaque portée de la ligne Électrique.
- Plan de déroulage constitué de :
 - Descriptif de protection adoptées et des mesures de sécurité et des moyens de communication utilisés.
 - Les dispositions de sécurité adoptées aux traversées de la ligne Électrique.
 - Schéma planimétrique indiquant la position des machines (treuil, freineuse) à chaque tir.
 - Les obstacles existants dans chaque portée de la ligne Électrique.
 - La répartition des tourets dans chaque canton de la ligne Électrique.
 - Les coupures des lignes Électriques nécessaires durant la période des travaux.
 - Les durées des périodes de réalisation des travaux.
- Planning des travaux de déroulage sans la coupure de l'électricité.
- Planning des travaux de déroulage avec la coupure de l'électricité.
- Programme global de consignation des lignes Électriques.

- Liste des moyens humains et matériels nécessaire pour chaque consignation [56].

5.26. Dispositions préliminaires durant d'haubanage des pylônes :

- Les pylônes encadrant le tronçon à dérouler devront être haubanés, avant tout déroulage de câbles.
- La surveillance en permanence des accessoires de la ligne à savoir : manchons, haubans et poulies durant toute la période d'haubanage des pylônes les manilles
- L'opération d'haubanage est seulement indispensable lors de l'ancrage des câbles aux pylônes [56].

5.27. Confection des manchons :

- L'opération de manchonnage des câbles est réalisée à l'aide d'une manchonneuse Électrique.
- La vérification dimensionnelle des matrices de la manchonneuse utilisée.
- Les torons endommagés ou brins manquants (Les extrémités défectueuses de câble) sont à éliminer.
- Avant d'enfiler les extrémités des câbles dans les manchons, application de la graisse neutre préconisée par le fabricant puis le nettoyage spécifique.
- L'exécution des frettes avec un matériau compatible
- La coupe du câble à la cisaille est à proscrire, la coupe des brins extérieurs
- Le centrage de la partie aluminium du manchon de jonction avec le repérage précis.
- Compression de tous les manchons nécessaires à la jonction des câbles et à leur ancrage [56].

5.28. Réglage des câbles :

- L'établissement de tableau de traversée avec l'utilisation d'un logiciel de contrôle des distances géométriques par la saisie des données comme présenté dans la figure 5.15 Société Nationale d'Electricité et de Gaz utilise le logiciel NC
- Le résultat du tableau de traversée comme présenté dans la figure 5.16 donne les valeurs des distances de croisement admissibles.
- L'établissement du tableau de pose pour la vérification des flèches avec l'utilisation d'un logiciel de vérification des tensions mécaniques du réglage du câble par la saisie des données comme présenté dans la figure 5.17.
- Le résultat du tableau de pose comme présenté dans la figure 5.18 donne les valeurs de flèches ou de tensions mécaniques adoptées, en fonction de la température ambiante et du fluage ainsi que la relaxation du câble Électrique

- L'établissement du profil en long de la ligne Électrique sur le logiciel AUTOCAD avec les données confirmées par le logiciel NC comme présenté sur la figure 5.19
- L'opération de réglage des câbles doit être exécutée dans un climat bien choisie : sans vent, jusqu'à la fin des travaux de fixation.
- L'opération de réglage des câbles Électrique doit être exécutée à l'aide des appareils optiques (théodolite, jumelles, niveau, etc. ...)
- Le choix de deux portées au minimum par canton, devra être choisies pour le contrôle du réglage de la flèche du câble Électrique.
- La portée de réglage doit être située le plus près possible du poste de tirage.

The screenshot shows a software window titled 'C:\DOCUME~1\XPMUser\Bureau\NC\SUITEN-1\EtudLig\EtudeLig\EDIT.COM'. The window contains a table with the following data:

EAO/OKB							
30.							
3							
01	711.00	11.00	02	709.0	11.00	1200.	50.0
ROUTE		710.00		00.0	20.0		8.0
02	709.00	11.00	03	708.0	11.00	1200.	50.0
TERRAIN		708.00		00.0	20.0		6.0
03	708.00	11.00	04	707.0	11.00	1200.	50.0
LIGNE BT		707.00		06.0	10.0		4.0

Figure 5.15. Données d'entrées tableau de traversée (Etude variante N°1) [58].

The screenshot shows a software window titled 'C:\DOCUME~1\XPMUser\Bureau\NC\SUITEN-1\EtudLig\EtudeLig\EDIT.COM'. The window displays a table titled 'TABLEAU DES TRAVERSEES' with the following data:

TABLEAU DES TRAVERSEES										
LIGNE : 30. KV EAO/0 -										
SUPPORT	*SUPPORT*	PORTEE	*PARAMETRE*	OBSTACLE	*DIST / AUX SUP.*	*DISTANCE DE*	*DISTANCE*	TYPE DE		
* N	* N		*A °C SV*	*TRAVERSEE*	LE PLUS PROCHE	*CROISEMENT *	* LIMITE *	TRAVERSEE		
		(M)	(M)		(M)	*OU TRAVER.*	(M)	(M)		
* 1 *	* 2 *	* 50.00 *	* 1200. *	* ROUTE *	* 20.00 *	* 10.95 *	* 2.00 *			
* 2 *	* 3 *	* 50.00 *	* 1200. *	* TERRAIN *	* 20.00 *	* 11.35 *	* 2.00 *			
* 3 *	* 4 *	* 50.00 *	* 1200. *	* LIGNE BT *	* 10.00 *	* 5.63 *	* 4.00 *			

Figure 5.16. Résultat tableau de traversée sur logiciel NC (Etude variante N°1) [58].

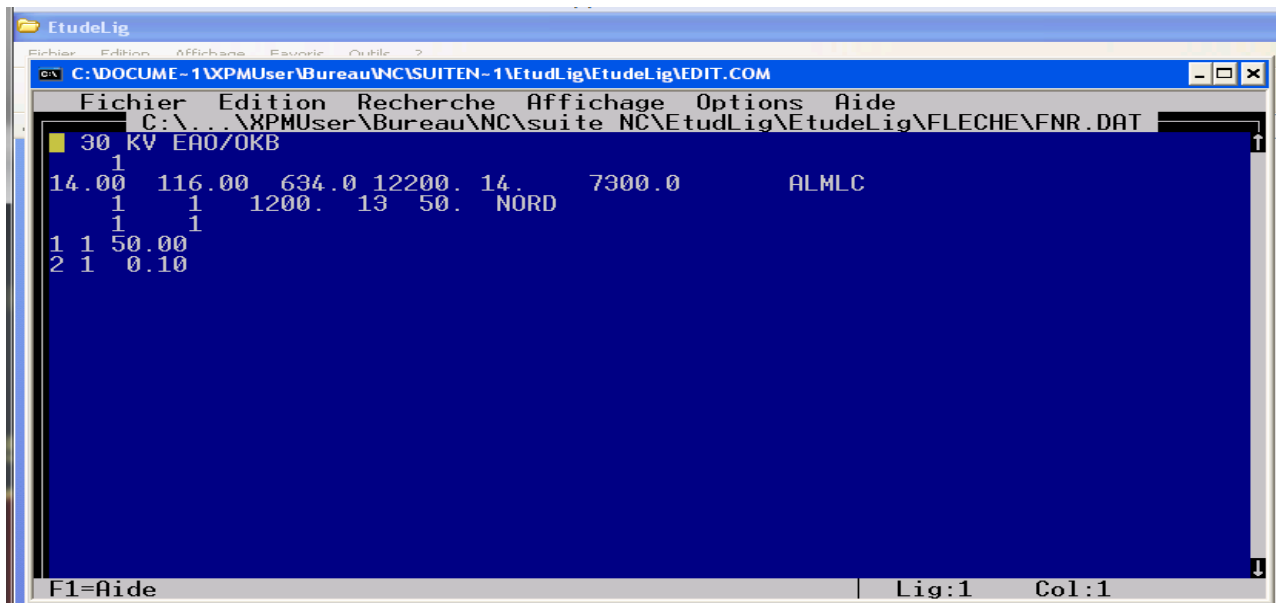


Figure 5.17. Données d'entrées du tableau de pose sur logiciel NC (Etude variante N°1) [58].

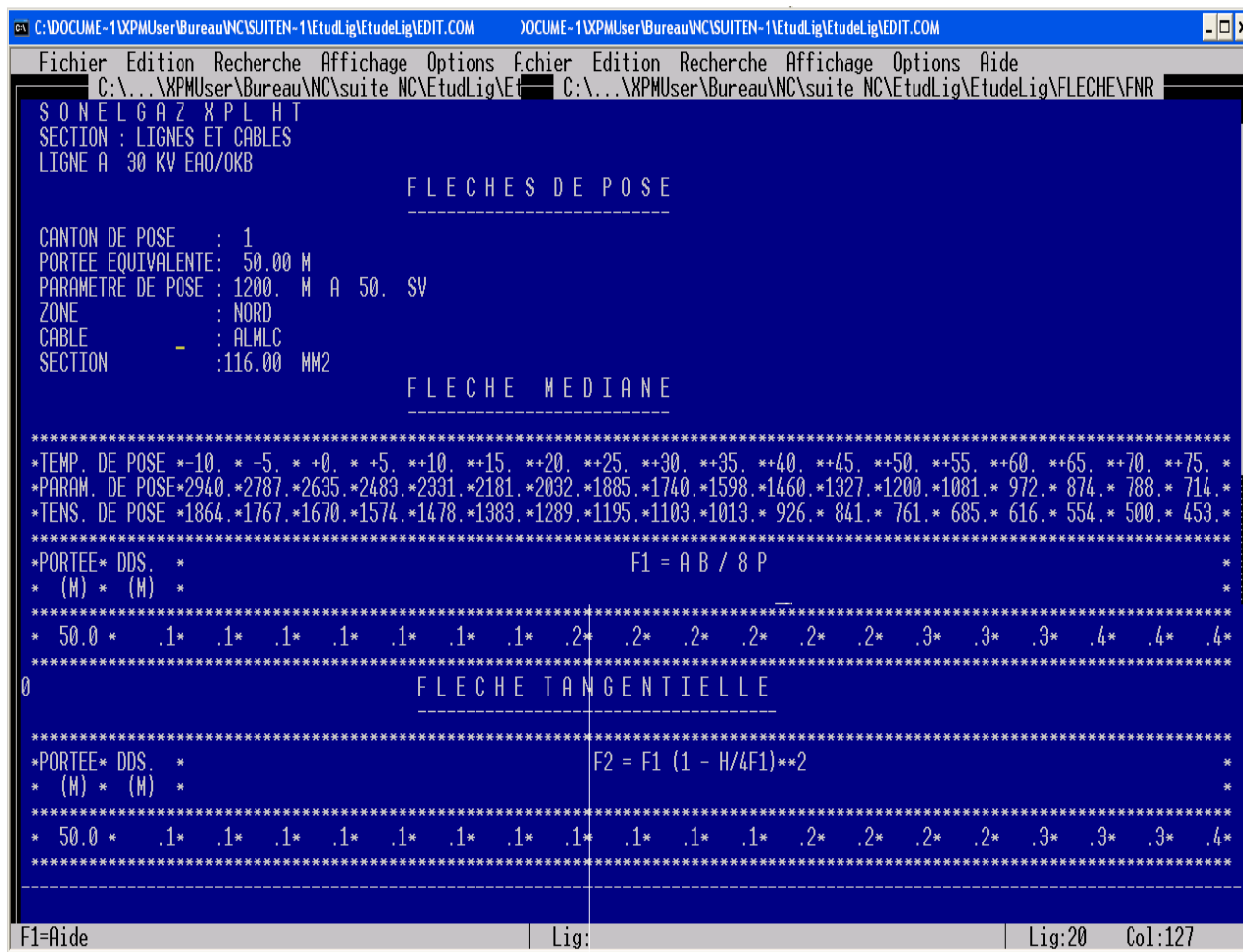


Figure 5.18. Résultat du tableau de pose sur logiciel NC (Etude variante N°1) [58].

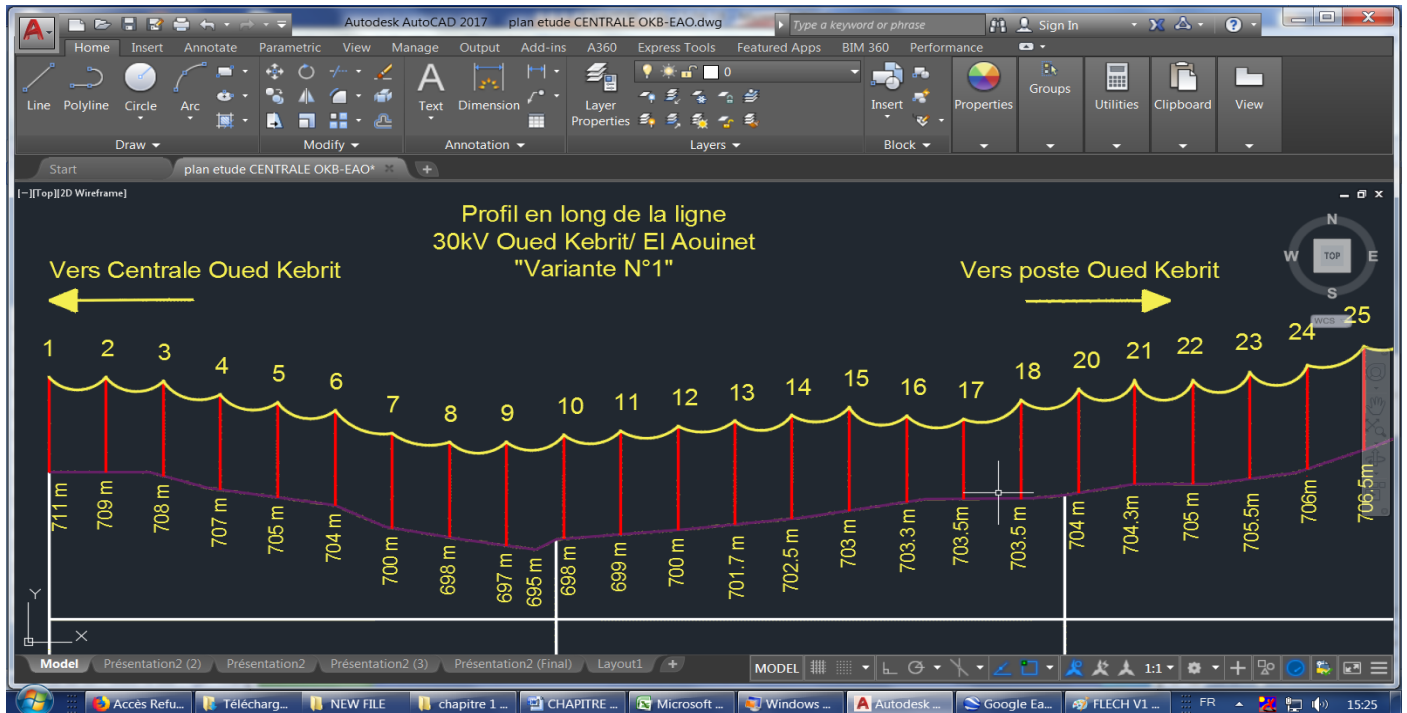


Figure 5.19. Profil on long de la ligne 30kV sur AUTOCAD (Etude variante N°1) [58].

5.29. Mise sur pince des câbles électriques :

- Au plus tard, 48 heures après la fin des premières opérations de réglage, la mise sur pince interviendra dès la fin de l'opération de réglage des câbles Électriques.
- Le tarage des câbles doit être effectué selon les prescriptions du fabricant.
- Le serrage des pinces devra être exécuté à l'aide de clés dynamométriques
- Par mesure de sécurité de l'induction en cas de parallélisme avec d'autres lignes d'énergie, les câbles conducteurs seront mis à la terre, lors de la mise sur pince.

5.30. Travaux de dépose des câbles :

L'opération de travaux de dépose des câbles est basée sur la tension spécifique est la tension résultant de l'effort maximum que subit le conducteur sous l'effet du vent et de la température.

CHAPITRE N°5 : Etude d'amélioration de l'intégration de l'énergie solaire

5.31. Estimation quantitative de l'étude de la variante N°01 :

L'estimation de l'étude de la Var N°1 est de **25 668 232,00DA** dont le détail est au niveau du tableau 5.8 cité ci-après :

Tableau 5.8. Estimation détaillée des coûts et des quantités de la variante N°01.

DESIGNATION	Unité	Quantité	P.U [DA]	TOTAL [DA]
FOURNITURE DU MATERIEL				
La fourniture et pose du câble conducteur de section 116mm ² ALMELEC sur une longueur de 6Km = (6Km X 0,634T/Km X 3X1,3) =14,8 T	T	14,8	220000	3263832,00
La F/P d'équipement ancrage double complet pour câble conducteur de section 116mm ² AL/AC y compris les manchons d'ancrage (Pour 29 poteaux d'ancrage) =29X6=174	U	174	20 000	3480000,00
La F/P d'équipement suspension simple pour câble conducteur de section 116mm ² AL/AC (Pour 91 poteaux d'ancrage) =91X3=273	U	273	18 000	4914000,00
TRAVAUX DE DEPOSE				
Dépose des câbles conducteurs des lignes MT et BT croisant cette ligne	forf	forf	forf	100 000,00
Dépose de l'ancien câble conducteur 3 X 93,3 mm ² AL	Km	6	100 000	600 000,00
TRAVAUX DE DEROULAGE				
Mise sur poulies de déroulage du câble conducteur 3 X 116 mm ² AL/AC avec montage accessoires, réglage et ancrage au niveau des Poteaux d'angle et d'ancrage	Km	6	70 000	420 000,00
Mise en place des câbles conducteurs des lignes BT	forfait	forfait	forfait	50 000,00
TRAVAUX DIVERS				

CHAPITRE N°5 : Etude d'amélioration de l'intégration de l'énergie solaire

Transport du nouveau matériel à installer câbles et accessoires au chantier = Nombre de navette X Nombre de semie remorque X PU)	forfait	forfait	forfait	150 000,00
Transport de l'ancien matériel déposé au poste EL AOUNET : (Accessoires lignes entreposés dans des caisses en bois identifiées et câbles conducteurs enroulés en couronnes) = Nombre de navette X Nombre de semie remorque X PU)	forfait	forfait	forfait	100 000,00
Coupure de la ligne 30 KV OUED KEBRIT/EL AOUNET de 12 jours sans restitution pour le déroulage et le raccordement = 12jrs X [(3000DA X Nombre de Cadre+2000DA X Nombre de Métrise + 1000DA X Nombre d'Exécution) + 2700DA X Energie transitée par la ligne MW/h + Prix de location engin X Nombre d'engin/jour]	forfait	forfait	forfait	4478400,00
Coupure des lignes BT situées dans le couloir de servitude de la ligne 30kV OUED KEBRIT/EL AOUNET	forfait	forfait	forfait	300 000,00
Coupure production centrale OUED KEBRIT de (12) douze jours sans restitution pour le déroulage et le raccordement= 12 X 2700DA X Energie produite par la centrale/jour	forfait	forfait	forfait	6912000,00
Coupure des ligne 220 KV EL AOUNET / KHROUB et EL AOUNET /TEBESSA d'une 01 journée pour les travaux de proximité = 01jour X [(3000DA X Nombre de Cadre+2000DA X Nombre de Metrise + 1000DA X Nombre d'Exécution) + 700 DA X Energie transitée de la ligne + Prix de location engin X Nombre d'engin	forfait	forfait	forfait	600 000,00
Frais des indemnisations des propriétaires des terrains pour le passage des engins et des dégâts agricole = Surface affectée X PU	forfait	forfait	forfait	300 000,00
Estimation totale HT en (DA)				25668232,00

5.32. Etude de la variante N°02 :

Etude pour la construction d'une nouvelle ligne 30kV comme présentée dans la figure 5.20 ayants les avantages suivants :

- Utilisation des pylônes plus grands pour garantir un bon réglage des câbles conducteur.
- Le choix d'un nouveau terrain avec un tracé plus court que l'existant.
- Réduction des fréquences d'agression des lignes.
- Amélioration de la garde au sol de la ligne.
- Amélioration des paramètres de qualité de service.
- Diminution du nombre des déclenchements.

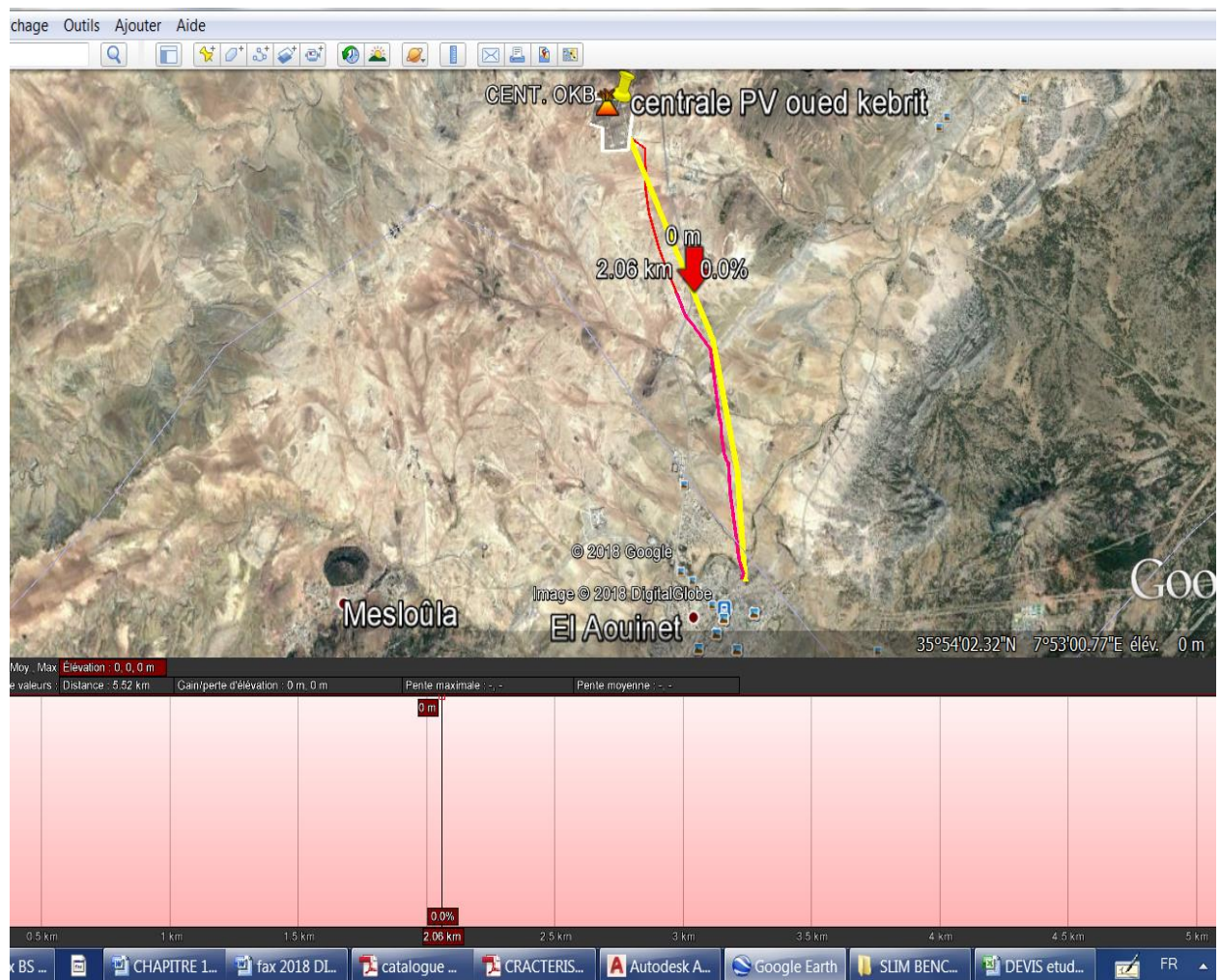


Figure 5.20. Tracé de la ligne sur le logiciel Google Earth (Etude de la variante N°2) [58].

5.33. Pylônes choisis dans l'étude de la variante N°2 :

Les poteaux choisis dans l'étude de la variante N°2 sont de type **126 BS 77** (BS : Bout soudé) de hauteur de 14m comme le présente la figure 5.21

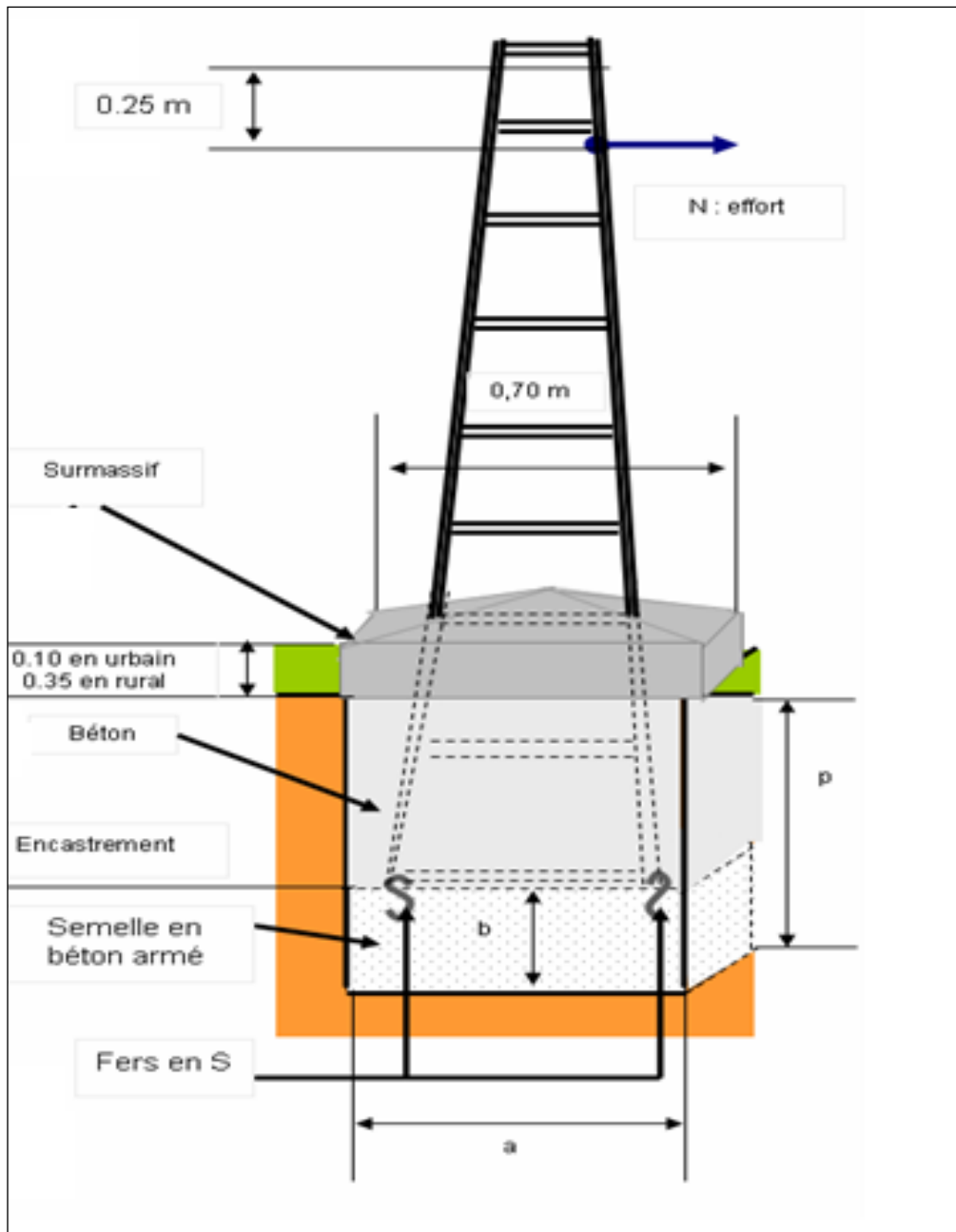


Figure 5.21. Silhouette des supports type BS avec le détail de la fondation [56].

5.34. Surmassifs du génie civil du poteau BS :

Dans la figure 5.22 la présentation des coupes des surmassifs prévus pour tous les supports. Ayant des hauteurs de 35 cm en zone rurale (terrains de labours) et de 10 cm en zone urbaine.

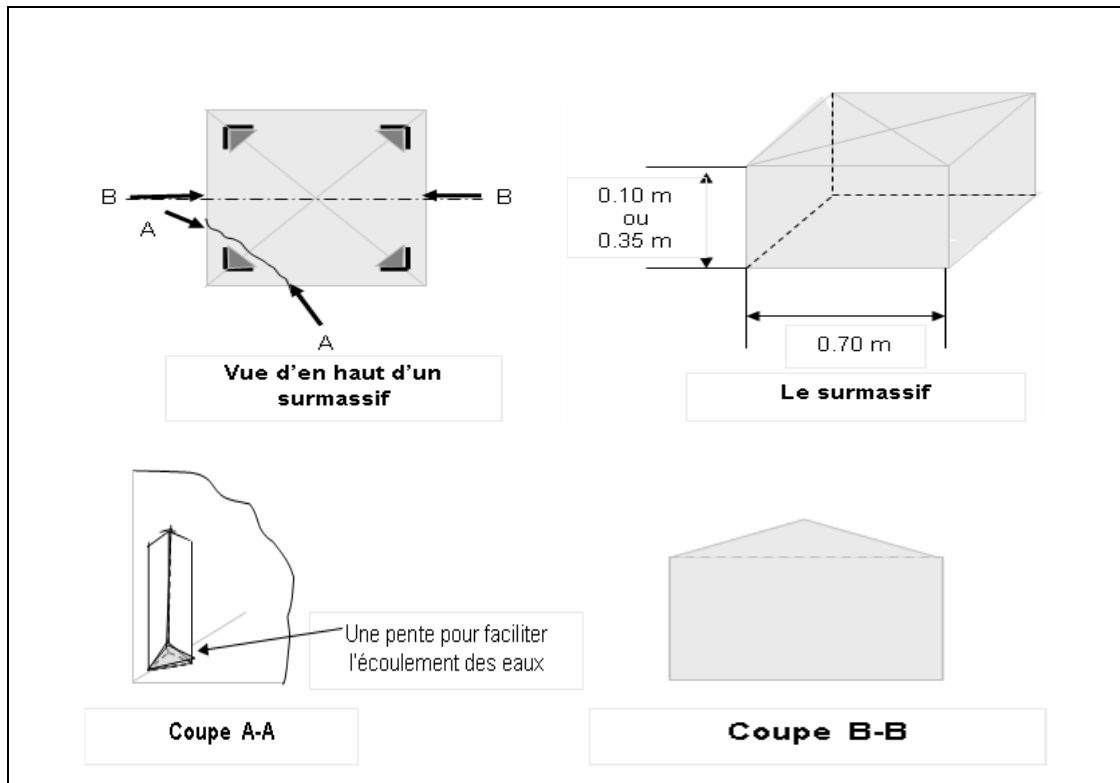


Figure 5.22. Detail du surmassifs du génie civil du support BS [56].

5.35. Détail du génie civil du poteau BS :

Dans le tableau 5.9 le détail du génie civil des support BS pour tous types de terrain

Tableau 5.9. Détail du génie civil des poteaux BS [56].

Guide du Surveillant des Travaux Electricité

Terrain ferme (sol de contrainte Q = 30000 kg/m²)

Support			Effort (daN)		Dimensions des fouilles		Dimensions des massifs	Encast	Volumes de béton (m ³)			Coefficient de stabilité
Type bs	Poids (kg)	Hauteur totale (m)	Effort H	Effort V	axb xp (m)	Volume (m ³)	axb xh (m)	mètre	Sans surmassif	Surmassif 70x70x10cm	Surmassif 70x70x35cm	Conditions normales
95bs66	317	11	450	600	0.70x0.70x1.50	0.735	0.70x0.70x1.50	1.40	0.735	0.801	0.923	1.194
106bs66	351	12	450	600	0.70x0.70x1.50	0.735	0.70x0.70x1.50	1.40	0.735	0.801	0.923	1.053
126bs77	551	14	590	1000	0.95x0.95x1.70	1.534	0.95x0.95x1.70	1.40	1.534	1.600	1.722	1.021
106bs88	572	12	950	800	1.15x1.15x1.70	2.248	1.15x1.15x1.70	1.40	2.248	2.314	2.436	1.018

Terrain rocheux (sol de contrainte Q = 60000 kg/m²)

Support			Effort (daN)		Dimensions des fouilles		Dimensions des massifs	Encast	Volumes de béton (m ³)			Coefficient de stabilité
Type bs	Poids (kg)	Hauteur totale (m)	Effort H	Effort V	axb xp (m)	Volume (m ³)	axb xh (m)	mètre	Sans surmassif	Surmassif 70x70x10cm	Surmassif 70x70x35cm	Conditions normales
95bs66	317	11	450	600	0.70x0.70x1.20	0.588	0.70x0.70x1.20	1.10	0.588	0.654	0.776	2.679
106bs66	351	12	450	600	0.70x0.70x1.20	0.588	0.70x0.70x1.20	1.10	0.588	0.654	0.776	2.356
126bs77	551	14	590	1000	0.70x0.70x1.20	0.588	0.70x0.70x1.20	1.10	0.588	0.654	0.776	1.249
106bs88	572	12	950	800	0.70x0.70x1.20	0.588	0.70x0.70x1.20	1.10	0.588	0.654	0.776	1.086

5.36. Isolateurs utilisés dans l'étude de la variante N°2 :

Afin d'augmenter la ligne de fuite des isolateurs car la ligne est située dans une zone polluée, dans cette étude le remplacement des isolateurs type CTV 175 par des isolateurs type Anti-pollution U120AS norme 16 présentés dans la figure 5.23.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION		Norme IEC					
		Isolateurs antipollution					
Minimum effort de rupture mécanique		kN	100	120	160	210	240
Minimum effort de rupture mécanique (kN)		100	120	160	210	240	
Modèle catalogue		E100PP/146	E120PP/146	E160P/170	E210P/170	E240P/170	
Caractéristiques Dimensionnelles	Pas (P) mm.	146	146	170	170	170	
	Diamètre (D) mm.	280	280	320	320	320	
	Ligne de Fût mm.	445	445	545	530	530	
	Désignation de l'assemblage	16A	16A	20	20	24	
Caractéristiques Électriques	Tension tenue a fréquence industrielle						
	à sec (kV)	85	85	90	90	90	
	sous pluie (kV)	50	50	55	55	55	
	Tension tenue au choc (kV)	125	125	140	140	140	
	Tension perforation dans l'huile (kV)	130	130	130	130	130	
Caractéristiques Emballage	Poids net. Approx. (Kg)	5,6	5,7	8,3	9,4	10,2	
	N° de isolateurs/caisse bois	6	6	6	6	6	

Les essais et tolérances des dimensions sont conformes aux normes CEI-383 et CEI-305

Figure 5.23. Caractéristiques des isolateurs anti-pollution [56].

5.37. Caractéristiques des chaînes isolateurs type d'ancrage double :

Tableau 5.10 présente les propriétés mécaniques et Électriques de la chaine d'isolateur de type ancrage double.

CHAPITRE N°5 : Etude d'amélioration de l'intégration de l'énergie solaire

Tableau 5.10. Caractéristiques mécaniques et Électriques des chaines isolateurs d'ancrage [56].

Caractéristiques mécaniques	Valeurs	Unité
Charge de rupture	2 X 150	KN
Dimension	769	mm
Poids	(*)	kg
Caractéristiques Électriques	Valeurs	Unité
Tenue au courant de court-circuit (I _{cc})	31,5	kA/s
Courant nominal (I _n)	780	A

5.38. Caractéristiques des chaînes de suspension simple :

Le tableau 5.11 présente les Caractéristiques mécaniques et électriques de la chaîne d'isolateur de type ancrage double.

Tableau 5.11. Caractéristiques mécaniques et électriques des chaines isolateurs suspension [56].

Caractéristiques mécaniques	Valeurs	Unité
Charge de rupture	150	KN
Dimension	669	mm
Poids	22,67	kg
Caractéristiques Électriques	Valeurs	Unité
Tenue au courant de court-circuit (I _{cc})	31,5	kA/s
Courant nominal (I _n)	780	A

5.39. Etude variante N°2 :

Les données de la variante d'étude N°2 sont les suivantes [56] [58].

- Longueur de la ligne : 05 Km
- $X_0 = 0,326 \Omega$
- $X_L = 1,63 \Omega.Km$
- $R = 1,41 \Omega.Km$
- $Z = 1,41 + j1,63$
- $b_0 = 3,51710^{-6} S$
- $A = D = 0,99 + j1,24 * 10^{-5}$
- $b = 1,41 + j1,63$
- $C = -1,09 * 10^{-10} + j1,75 * 10^{-5}$

5.40. Profil en long de l'étude de la variante N°2 :

Dans cette étude après la collecte des données géométriques du nouveau tracé de la ligne a donné le profil on long présenté sur le logiciel AUTOCAD dans la figure 5.24 suivante.

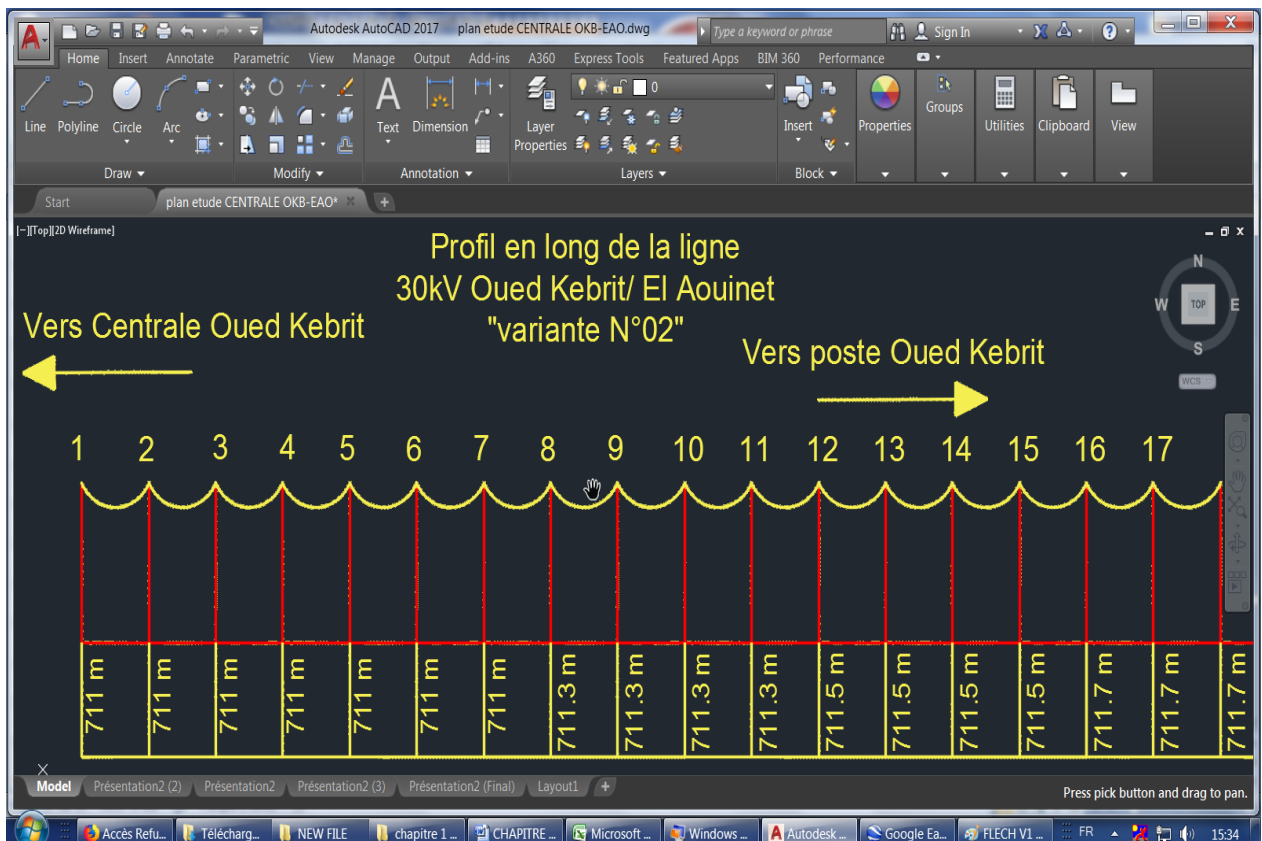


Figure 5.24. Profil on long de la ligne 30kV sur AUTOCAD (Etude de la variante N°2) [58].

5.41. Simulation de l'étude de la variante N°2 :

5.42. Simulation traversée de l'étude de la variante N°2 :

Les données d'entrée de traversée de la variante N°02 ainsi que les résultats de la traversée sont présentés respectivement dans la figure 5.25 et la figure 5.26

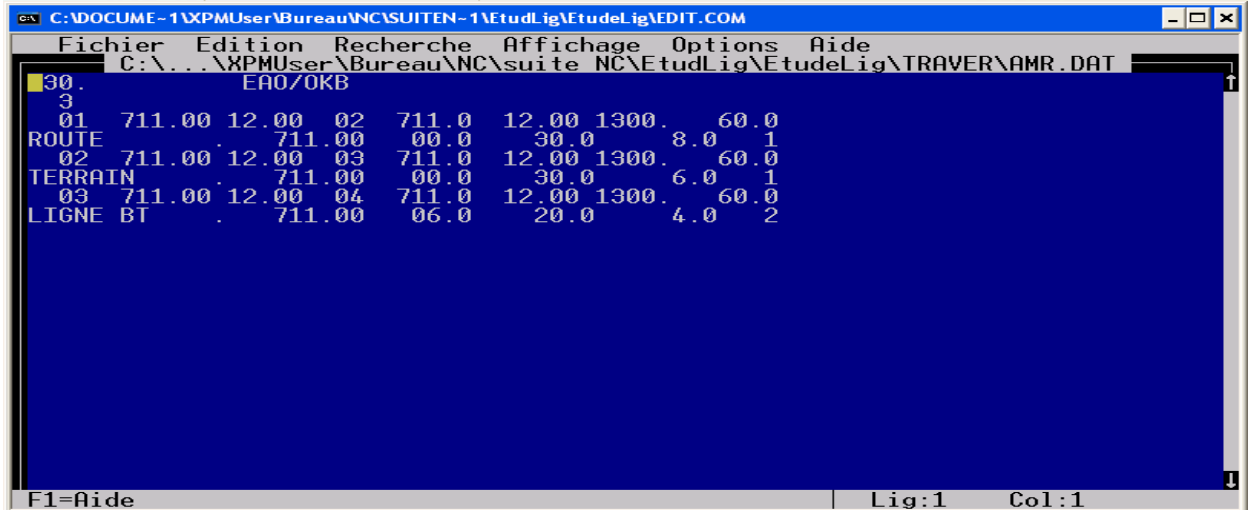


Figure 5.25. Données d'entrées de la traversée sur logiciel NC (Etude de la variante N°02) [58].

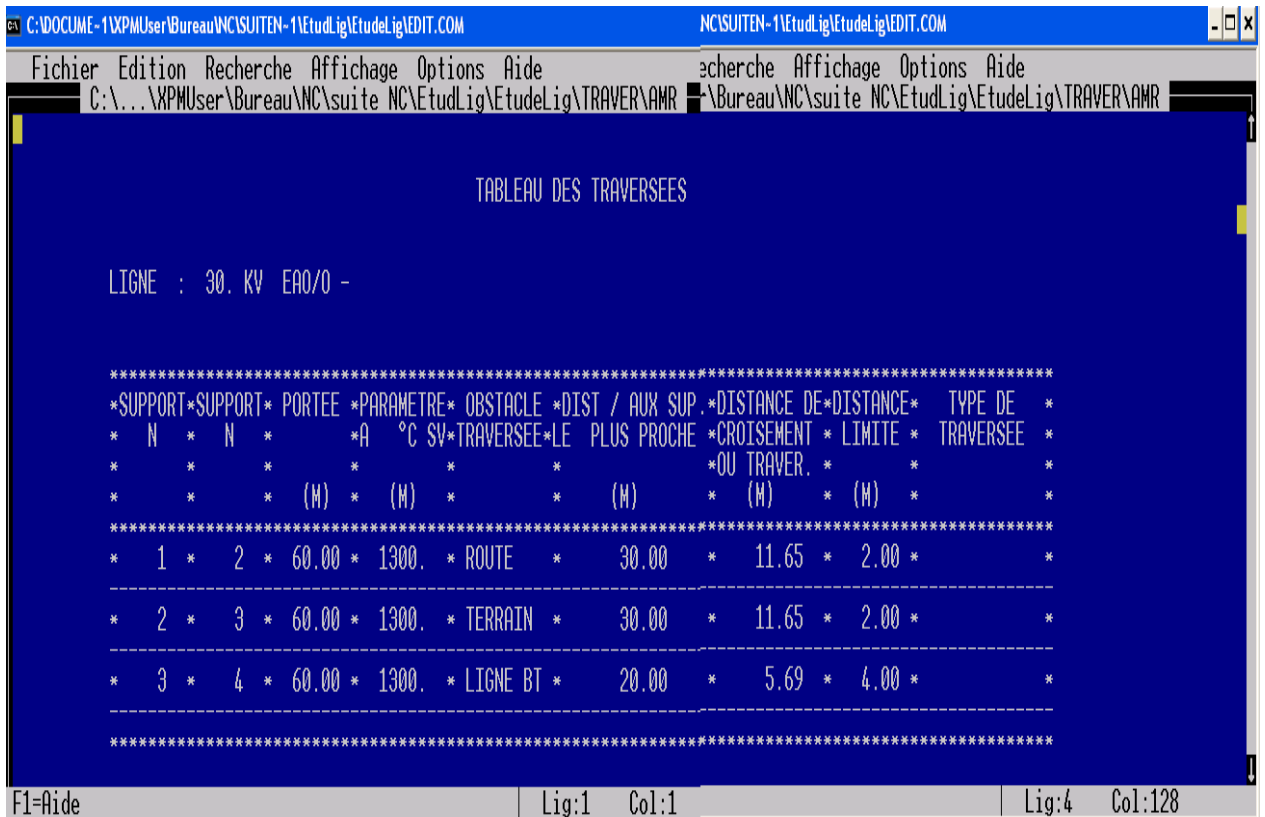


Figure 5.26. Résultat des traversées sur logiciel NC (Etude de la variante N°02) [58].

5.43. Simulation flèche de l'étude de la variante N°2 :

Les données d'entrée de tableau de pose (flèche) de la variante N°02 ainsi que les résultats de la traversée sont présentés respectivement dans la figure 5.27 et la figure 5.28

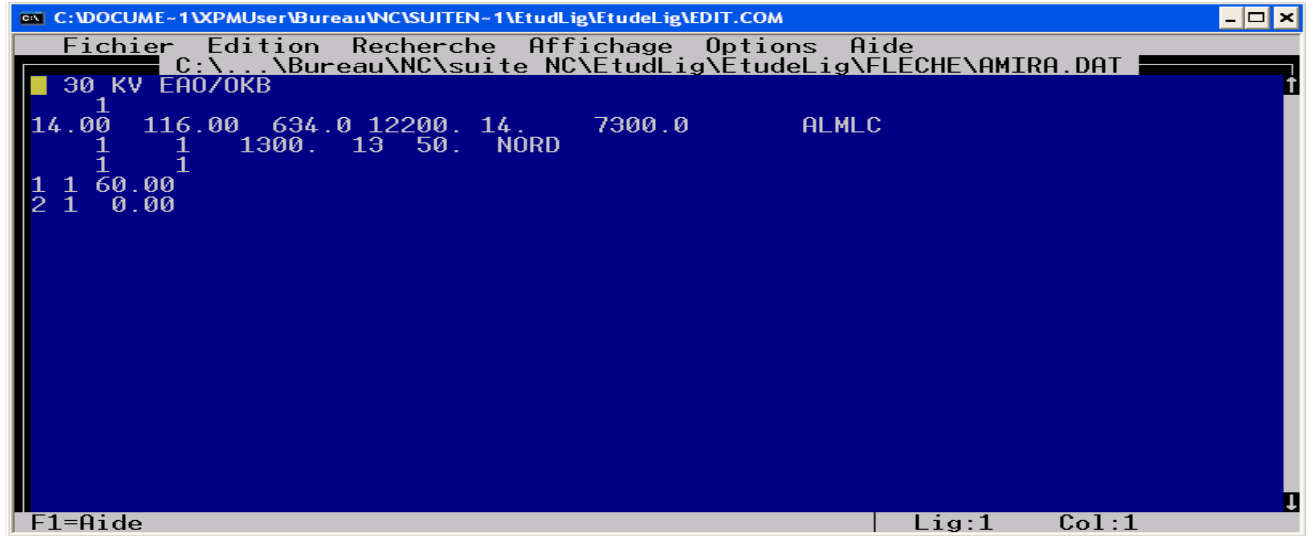


Figure 5.27. Données d'entrées Tableau de Pose (Etude de la variante N°02) [58].

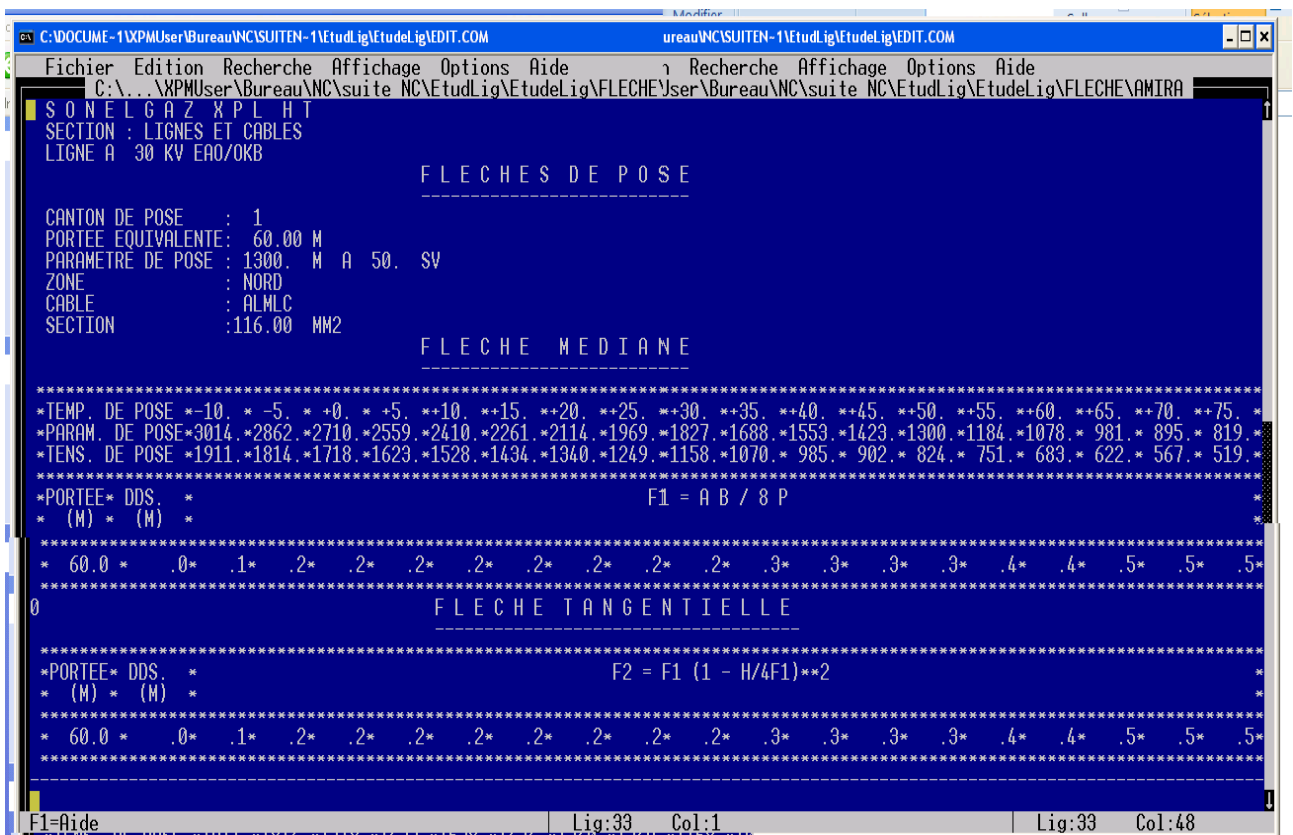


Figure 5.28. Résultat des Tableaux de Pose (Etude de la variante N°02) [58].

CHAPITRE N°5 : Etude d'amélioration de l'intégration de l'énergie solaire

5.44. Estimation quantitative de l'étude de la variante N°02 :

L'estimation de l'étude de la variante N°2 est de **4 344 640,00 DA** dont le détail est au niveau du tableau 5.12 cité ci-après :

Tableau 5.12. Estimation détaillée des coûts et des quantités de la variante N°02.

N°	DESIGNATION	Unité	Quantité	P.U [DA]	TOTAL [DA]
	ETUDE				
1	Relevé topographique et étude technique	Km	5	12000,00	60000,00
	FOURNITURE DU MATERIEL				
2	12 Poteaux BS type 126BS77	U	12	160 000,00	1920000,00
3	72 Poteaux BS type 106BS66	U	72	140 000,00	10080000,00
4	Fourniture et pose du câble conducteur de section 116mm ² type ALMELEC sur une longueur de 6 Km = (5Km X 0,634T/Km X3X1,3) =12,4 T	T	12,4	220 000,00	2 719 860,00
5	Fourniture et pose F/P d'équipement ancrage double complet pour isolateurs antipollution U100AS norme 16 pour câble conducteur de section 116mm ² AL/AC y compris les manchons d'ancrage (Pour 12 poteaux d'ancrage) =12 X 6=72	U	72	20 000,00	1 440 000,00
6	Fourniture et pose d'équipement suspension pour isolateurs antipollution U100AS norme 16 pour câble conducteur de section 116mm ² AL/AC (Pour 72 poteaux d'ancrage) = 72 X 3 =216	U	216	18 000,00	3 888 000,00
7	Fourniture et pose Isolateurs Antipollution U100AS norme 16 = 12 X 6 X 2 X 4 + 72 X 3 X3 = 1224	U	1224	2 000,00	2 448 000,00
8	Fourniture et pose du câble cuivre 48 mm ² pour mise à la terre (12 X 8m + 72 X 6m) X 0,44kg/m	Kg	232,32	800,00	185 856,00

CHAPITRE N°5 : Etude d'amélioration de l'intégration de l'énergie solaire

9	Fourniture et pose des gaines pour la protection du câble de mise à la terre =72 + 12 = 84	ml	84	200,00	16 800,00
10	Fourniture et pose de bloc complet pour mise à la terre = 72 + 12 = 84	U	84	800,00	67 200,00
	TRAVAUX DE GENIE-CIVIL				
11	Piquetage des axes de poteaux et axes de fouilles	U	84	500,00	42 000,00
12	Réalisation fouilles y compris l'évacuation les terres excédentaires à la décharge publique = 72 X 0,735 + 12 X 1,534 = 71,33 m ³	m3	71,33	5 000,00	356 640,00
13	Fourniture et confection béton dosé à 350kg/m3 et confection de chapes en béton dosé à 350 kg/m3 avec toutes sujétions de bonne exécution =72 X 0,923 + 12 X 1,722 = 87,12m ³	m3	87,12	2 000,00	174 240,00
14	Réglage de l'aplomb des poteaux, installation des mises à la terre	U	84	100,00	8 400,00
15	Démolition des surmassifs en béton de 120 poteaux de l'ancienne ligne sur une hauteur de 0,1m au-dessous de sol y compris leur évacuation vers la décharge publique	U	120	100,00	12 000,00
	TRAVAUX DE MONTAGE				
16	Levage de (84) poteaux BS de différents types = 07 T X 84 = 588	T	588	500,00	294 000,00
17	Mise en place des câbles conducteurs des lignes BT	forfait	forfait	forfait	100 000,00
	TRAVAUX DE DEPOSE				
18	Dépose des câbles conducteurs des lignes MT et BT croisant cette ligne	forfait	forfait	forfait	100 000,00
19	Dépose de l'ancien câble conducteur 3 X 93,3 mm ² AL	Km	6	100 000,00	600 000,00
	TRAVAUX DE DEROULAGE				

CHAPITRE N°5 : Etude d'amélioration de l'intégration de l'énergie solaire

20	Mise sur poulies de déroulage du câble conducteur 3 X 116 mm ² AL/AC avec montage accessoires, réglage et ancrage au niveau des poteaux d'angle et d'ancrage	Km	5	70 000,00	350 000,00
21	Mise en place des câbles conducteurs des lignes BT	forfait	forfait	forfait	50 000,00
	TRAVAUX DIVERS	forfait	forfait	forfait	
22	Transport du nouveau matériel à installer poteaux, câbles et accessoires au chantier = Nombre de navette X Nombre de semie remorque X PU)	forfait	forfait	forfait	300 000,00
23	Transport de l'ancien matériel déposé au poste EL AOUNET : (Poteaux BS, Accessoires lignes entreposés dans des caisses en bois identifiées et câbles conducteurs enroulés en couronnes)= Nombre de navette X Nombre de semie remorque X PU)	forfait	forfait	forfait	200 000,00
24	Coupe de la ligne 30 KV OUED KEBRIT/EL AOUNET d'une journée sans restitution pour le raccordement =01 jour X [(3000DA X Nombre de Cadre + 2000DA X Nombre de Métrise + 1000DA X Nombre d'Exécution) + 2700DA X Energie transitée par la ligne MWh + Prix de location engin X Nombre d'engin	forfait	forfait	forfait	450 000,00
25	Coupe des lignes BT situées dans le couloir de servitude de la ligne 30kV OUED KEBRIT/EL AOUNET	forfait	forfait	forfait	30 000,00
26	Coupe production centrale OUED KEBRIT d'une journée sans restitution pour le raccordement = (12000 KWh X 24h X 2DA)	forfait	forfait	forfait	576 000,00

CHAPITRE N°5 : Etude d'amélioration de l'intégration de l'énergie solaire

27	Coupure des ligne 220 KV EL AOUINET / KHROUB et EL AOUINET /TEBESSA d'une 01 journée pour les travaux de proximité =01jour X [(3000DA X nbre de Cadre + 2000DA X nombre de Métrise + 1000DA X nombre d'Exécution) + 700DA X Energie transitée de la ligne + Prix de location engin X nombre d'engin	forfait	forfait	forfait	500 000,00
28	Frais des indemnisations des propriétaires des terrains pour l'occupation du sol et pour le passage des engins et des dégâts agricole = Surface affectée X PU	forfait	forfait	forfait	600 000,00
	Estimation totale HT en (DA)				4 344 640,00

5.45. Etude variante N°3 : [58]

Cette étude consiste à améliorer les paramètres techniques pour l'optimisation de l'injection de l'énergie photovoltaïque de la centrale OUED KEBRIT dans un réseau Électrique via une liaison souterraine avec un câble sous-terrain de 35Km de longueur comme présenté dans la figure 5.29

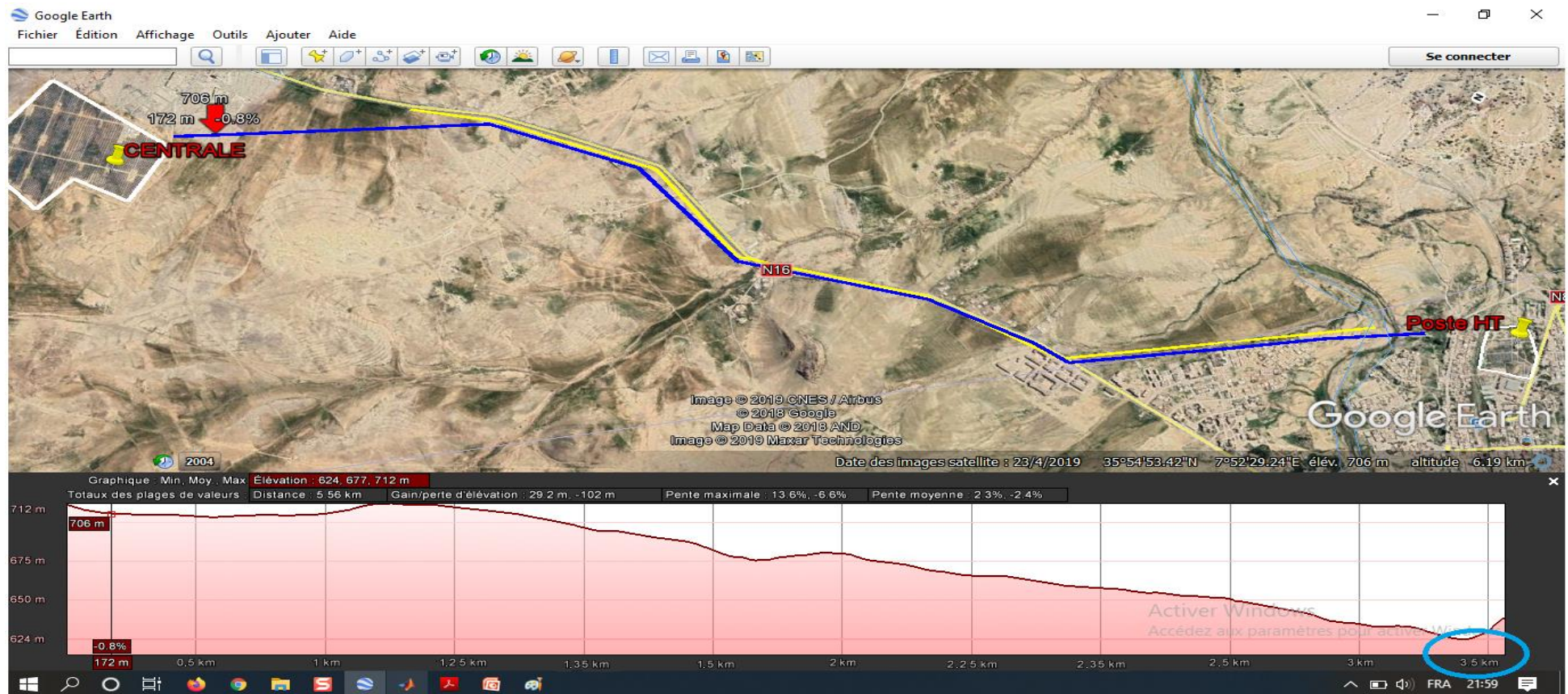


Figure 5.29. Profil en long et disposition de la ligne sur Google Earth (Etude variante N°3) [58].

5.46. Donnée de la variante d'étude N°3 :

- Longueur du câble : 3,5 Km
- $R = 0,196 \Omega.Km$
- $C = 0,170 \mu F.Km$
- $L = 0,400 mH.Km$ [58].

5.47. Travaux de génie civil :

5.48. Travaux de terrassement :

L'opération de terrassement du terrain est réalisée à l'aide des moyens mécanique appropriée tout le long de l'itinéraire du câble à installer, quel que soit la nature du terrain, avec une profondeur de 1,60m et largeur de 0,60m y compris l'évacuation des décombres, les ruines et les remblais à la décharge publique [81].

5.49. Les remblais :

- Les remblais doivent être des remblais d'apport et mis en place comme indiqué sur la figure 5.30.
- Les remblais seront exécutés suivant les indications et cotes des plans, ils ne doivent contenir ni masses, ni racines, ni débris végétaux ou animaux.
- La mise en place des remblais se fera en couches successives de 20 cm, arrosées et bien compactées soigneusement par des moyens mécaniques appropriés de façon à obtenir le meilleur degré de compacité [81].

5.50. Réalisation des caniveaux :

Réalisation des caniveaux simple en béton armé avec des dalles et une hauteur variable entre 1m et 2,5m

5.51. Mise en place de TVC :

- Ces travaux consistent à mettre en place une couche de TVC (tout Venant de Carrière) sur une épaisseur de 20 cm après décapage de la terre végétale côte façade postérieur gauche du poste.
- La surface de la couche de TVC doit être arrosée et bien compacté à l'aide d'un compacteur mécanique et ne représentera aucune déformation.
- Les dimensions seront conformes aux plans d'exécution comme indiqué sur la figure 5.30.

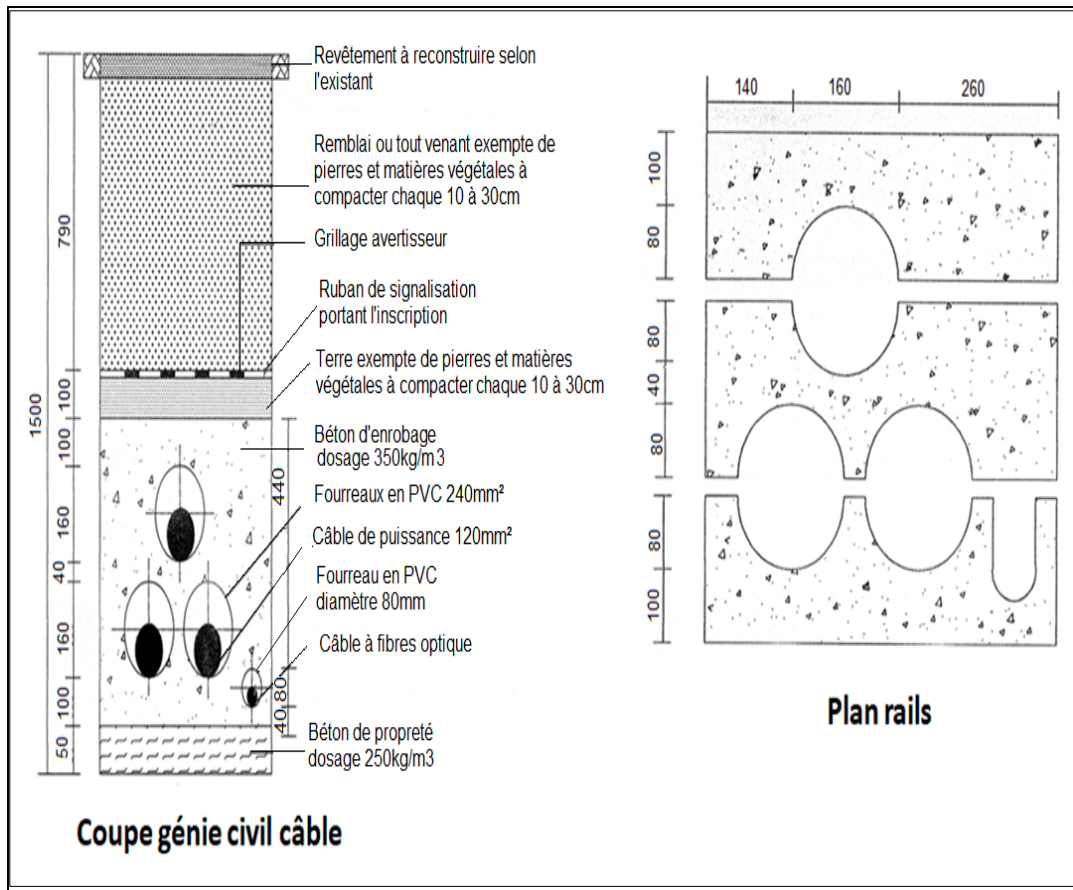


Figure 5.30. Coupe transversale de la disposition du câble (Etude variante N°3) [81].

5.52. Mise en place des coffrages :

- Les coffrages doivent être neufs et présenter une rigidité suffisante pour résister sans déformation aux charges et aux chocs qu'ils peuvent subir pendant la mise en œuvre du béton.
- Doivent être de dimensions conformes aux indications portées sur les plans d'exécution.
- Doivent être suffisamment étanches pour éviter les fuites de liant au niveau des joints, lors la mise en œuvre du béton.
- Doivent être bien assemblés pour éviter tout risque d'effondrement.
- Doivent être libres de corps étrangers (clous, attaches, boulons...) et d'eau stagnante [81].

5.53. Mise en place du ferrailage :

- Les barres d'acier seront coupées à la bonne longueur suivant les plans d'exécution.
- Les armatures doivent être disposées de telle sorte que leur position et leur écartement ne soient pas changés pendant le coulage du béton comme indiqué dans la figure 5.31.
- Les écartements prescrits seront réalisés à l'aide des cales en béton préfabriqué récent.
- Le déplacement des armatures pendant le coulage du béton est strictement interdit.
- Le ferrailage doit subir d'une façon générale au contrôle par le maître de l'ouvrage [81].

5.54. Mise en œuvre du béton :

5.55. Préparation du béton :

- La préparation du béton se fait par mélange préalable des matériaux secs seulement, auxquels l'eau ne doit être rajoutée qu'après quelques rotations.
- Le béton doit être parfaitement malaxé dans des bétonnières mécaniques ou centrale à béton de type agréée, de façon à obtenir un mélange homogène.
- Le béton doit être exécuté conformément au dosage et autres indications indiquées dans les plans d'exécution fournis par le maître de l'ouvrage [81].

5.56. Mise en place du béton :

- Le béton préparé doit être transporté à pied d'œuvre par un procédé permettant d'éviter tout début de prise ou toute ségrégation avancée.
- Le béton ne doit pas tomber librement d'une hauteur supérieure à 1,40 mètre.
- Le béton doit être parfaitement vibré pendant et après la mise en place à l'aide de vibreurs mécaniques, pour expulser tout vide ou poche d'air comme indiqué dans la figure 5.31 [81].

5.57. Description technique des matériaux :

Les matériaux utilisés doivent satisfaire aux spécifications suivantes :

5.58. Gravier :

- Le gravier utilisé doit provenir des carrières agréées, être propre et libre de toute matière étrangère telle l'argile, le charbon, le gypse, les débris végétaux.
- Le gravier qui sera utilisé est le gravier de carrière de dimension 5/15 et 15/25 [81].

5.59. Sable :

- Le sable doit être grenu et libre des fines particules argileuses, marneuses ou matières organiques. Sa granulométrie doit satisfaire aux normes et règles en vigueur.
- Le sable qui sera admis pour la fabrication du béton et mortier est de préférence un sable de carrière, libre de toutes impuretés [81].

5.60. Ciment :

- Le ciment doit être de fabrication récente. S'il est fourni en sac, le stockage se fera dans des abris secs, fermé et aérés.
- Le ciment qui sera confectionné pour le béton et le mortier sera du type CPA325 (ciment portland artificiel) ou l'équivalent CPJN50 comme indiqué dans la figure 5.31 [81].

5.61. Eau de gâchage :

- L'eau doit être propre et libre de toute impureté.

5.62. Acier :

- L'acier qui sera utilisé pour le ferrailage du béton armé est un acier de haute adhérence.
- Son façonnage sera conforme aux plans de ferrailage fournis par le maître de l'ouvrage.
- Les armatures doivent être parfaitement propres, sans excès de rouille.
- Les aciers doivent être stockés sans contact direct avec le sol, classés en lots par diamètre.
- Le ferrailage sera réceptionné par le maître de l'ouvrage avant tout coulage du béton [81].



Figure 5.31. Travaux de génie civil du câble électrique sous terrain [58] [81].

5.63. Confection des boîtes de jonction :

L'opération de la confection des boîtes de jonction des câbles électriques doit être réalisée selon les règles de l'art comme indiqué dans la figure 5.32 :

- Confection des boîtes d'extrémité dans les connections des câbles sous terrain.
- Confection des boîtes de jonction dans les jonctions aéro-souterraines des câbles.



Figure 5.32. Travaux de confection des boîtes de jonction des câbles Électrique [58] [81].

5.64. Remise en état des lieux :

- L'installation du grillage avertisseur de couleur rouge (indication de l'existence d'une installation Électrique souterraine pour les tiers). Comme indiqué dans la figure 5.31
- Une fois ces travaux terminés, la surface du trajet du câble doit être bien arrosée et compactée à l'aide d'un compacteur mécanique, et ne représentant aucune déformation.
- Installation des indicateurs de chemin de câble Électrique tout le long du trajet [81].

5.65. Estimation quantitative de l'étude de la variante N°03 :

L'estimation de l'étude de la variante N°3 est de **34 313 000,00 DA** dont le détail est au niveau du tableau 5.13 cité ci-après

CHAPITRE N°5 : Etude d'amélioration de l'intégration de l'énergie solaire

Tableau 5.13. Estimation détaillée des coûts et des quantités de la variante N°03 [58].

N°	DESIGNATION	Unité	Quantité	P.U [DA]	TOTAL [DA]
Fourniture					
1	Câble de puissance 120mm ² type blindé (3500x3)	ML	3500	7 000	24 500 000,00
2	Boite de jonction	U	105	20 000	2 100 000,00
3	Boite d'extrémité	U	3	50 000	150 000,00
4	Fourreaux en PHOTOVOLTAÏQUEC Ø160mm ²	ML	3500	400	1 400 000,00
5	Ruban de signalisation portant l'inscription	ML	3500	50	175 000,00
6	Grillage avertisseur	ML	3500	150	525 000,00
7	Remblai à tout venant exempt de pierre et matière végétales à compacter chaque 10 cm à 30cm	Forfait	Forfait	14 000	14 000,00
8	Revêtement à reconstruire selon l'existant	Forfait	Forfait	200 000	200 000,00
Réalisation des caniveaux en béton armé doubles et simple					
9	Réalisation des caniveaux simple en béton armé avec des dalles et une hauteur de 1m y compris fouilles, remblaiement et dégagement des déblais excédentaires à la décharge publique.	ML	3000	700	2 100 000,00
10	Réalisation des caniveaux simple en béton armé avec des dalles et une hauteur variable entre 1m et 2,5m y compris fouilles, remblaiement et dégagement des déblais excédentaires à la décharge publique	ML	500	800	400 000,00

CHAPITRE N°5 : Etude d'amélioration de l'intégration de l'énergie solaire

11	Fourniture et pose une couche de gravier épaisseur 10cm autour des caniveaux simple (1m de part et d'autre) sur une longueur de 500ml (0,1×500ml)	M ³	50	2200	110 000,00
Réalisation des tubes en photovoltaïque simple et double					
12	Fourniture et pose des tubes photovoltaïque à pression 6 bars de diamètre 160mm en nappe sur une longueur de 3000 ML sur le tracé y compris fouilles, remblaiement et dégagement des déblais excédentaire à la décharge publique	ML	3000	450	1 350 000,00
13	Fourniture et pose des tubes photovoltaïque à pression 6 bars de diamètre 160mm en nappe sur une longueur de 500 ML sur le tracé simple y compris fouilles, remblaiement et dégagement des déblais excédentaire à la décharge publique	ML	500	450	225 000,00
Réalisation fouille pour émergences câbles HT					
14	Fouille pour émergences câbles HT 30KV y compris : l'évacuation des déblais à la décharge public Remblaiement de la fouille avec toutes sujétions de bonne exécution avec la remise à l'état initial	M ³	220	1600	352 000,00
15	Fourniture et pose tubes en PHOTOVOLTAÏQUEC accordéons à côté des charpentes (500ml X 3)	ML	50	500	25 000,00
Génie civil pour la charpente d'une boîte d'extrémité et borne signalétique					
16	Fourniture et pose de la charpente pour boîte d'extrémité peinte avec une couche anti-rouille et deux couche laquées	U	3	45 000	135 000,00

CHAPITRE N°5 : Etude d'amélioration de l'intégration de l'énergie solaire

17	Réalisation des bornes signalétiques en béton armé 350kg/m3 de dimension (0,2×0,2×0,4) , (peinte en rouge) avec inscription peinte : « Danger Câble HT 30KV »	U	6	2000	12 000,00
18	Fourniture et mise en œuvre béton armé 350kg/m3 pour 03 charpentes pour boîte d'extrémité (1m x1m x 1m)	M ³	3	30 000	90 000,00
19	Coupure de la ligne 30 KV OUED KEBRIT/EL AOUNET d'une journée sans restitution pour le raccordement =01 jour X [(3000DA X nombre de Cadre+2000DA X nombre de Métrise + 1000DA X nombre d'exécution) + 2700DA X Energie transitée par la ligne MWh + Prix de location engin X nombre d'engin	Forfait	Forfait	450 000,00	450 000,00
20	Coupure production centrale OUED KEBRIT d'une journée sans restitution pour le raccordement = (12000 KWh X 24h X 2DA)	Forfait	Forfait	50000,0 0	50000,00
Estimation totale HT en (DA)					34 313 000,00

5.66. Les simulations des études :

5.67. Simulation de la centrale photovoltaïque raccordée au réseau :

La simulation du fonctionnement de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT a été exécuté avec le logiciel MATLAB comme présenté dans la figure 5.33.

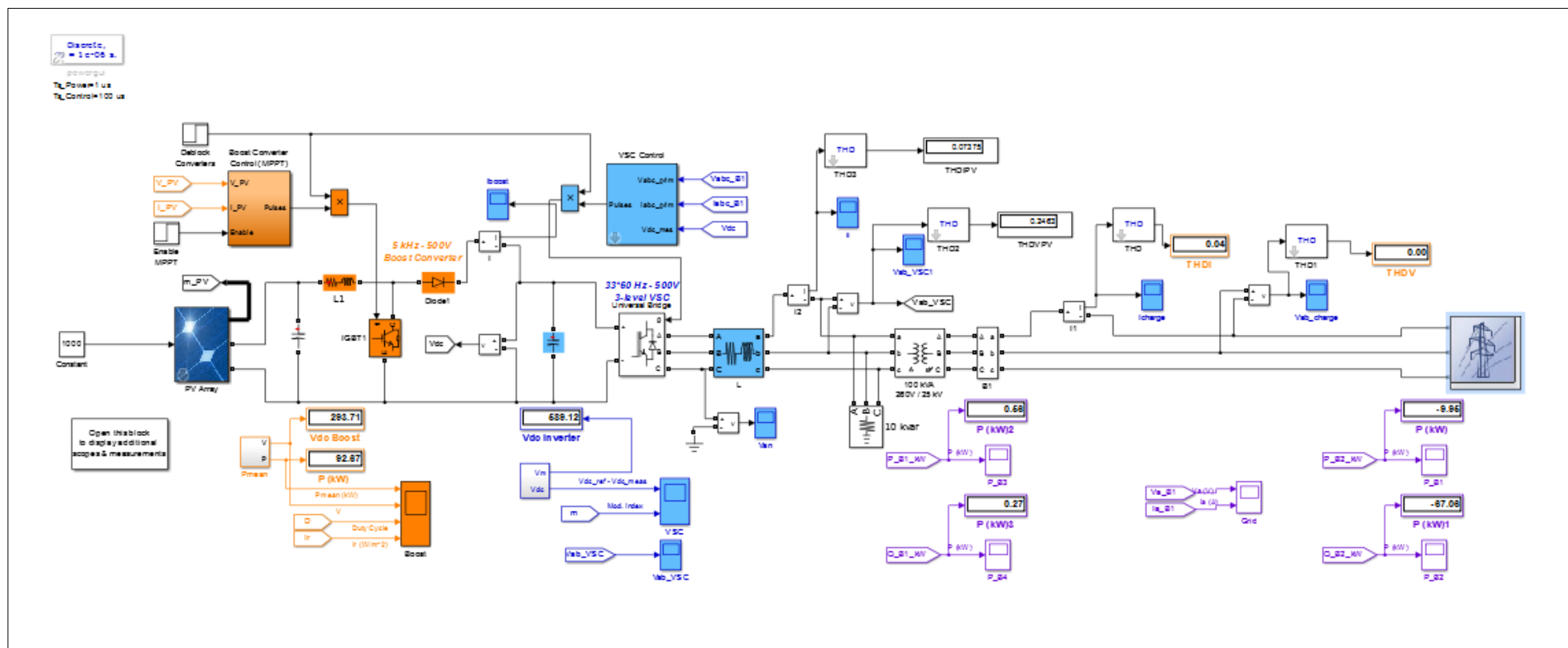


Figure 5.33. Simulation de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT sur le logiciel MATLAB.

5.68. Simulation du réseau connecté à la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT :

La simulation du réseau électrique 30kV raccordée à la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT est présentée dans la figure 5.34

La simulation sous le logiciel MATLAB est appliquée à un éclairage constant pour prédire l'énergie injectée dans le réseau. Ce type de prédiction est important lors de l'étude de faisabilité d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau.

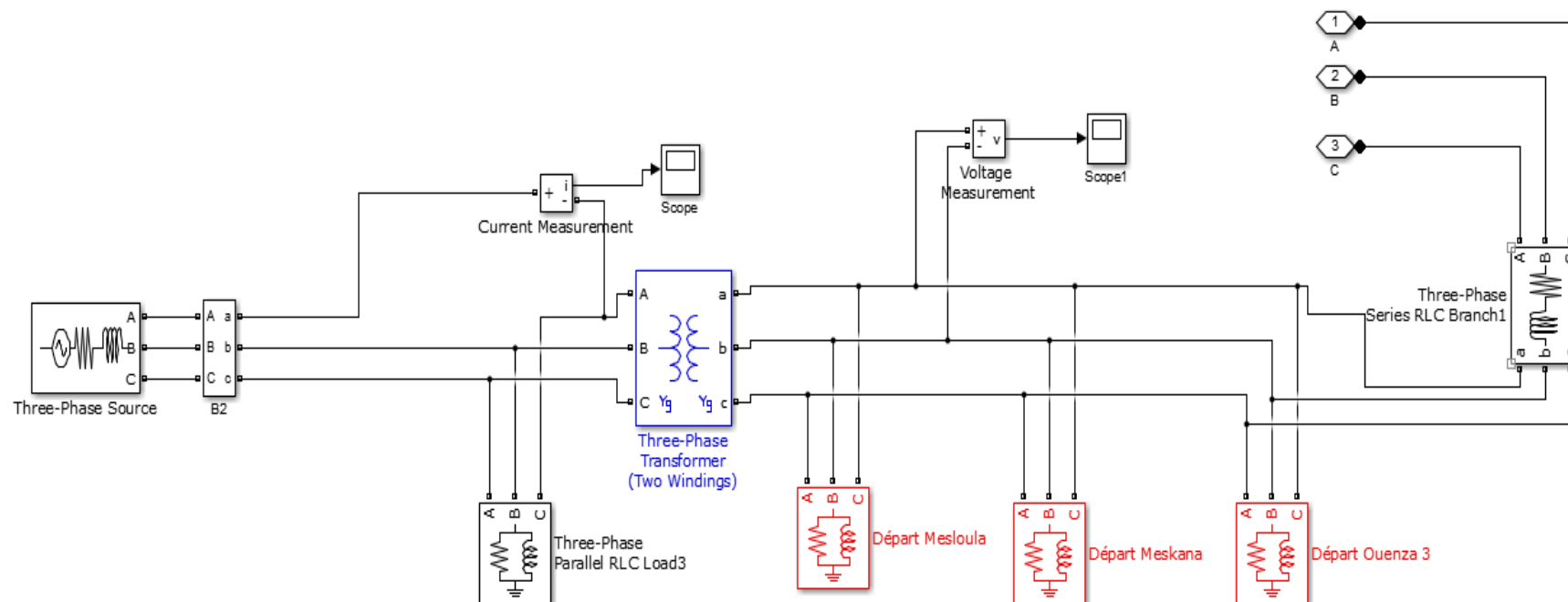


Figure 5.34. Simulation du réseau électrique raccordée à la centrale photovoltaïque d'OUED KEBRIT sur le logiciel MATLAB.

5.69. Résultat des simulations de l'étude de la variante N°01 :

La puissance et la tension à la sortie de l'hacheur est présenté dans la figure 5.35.

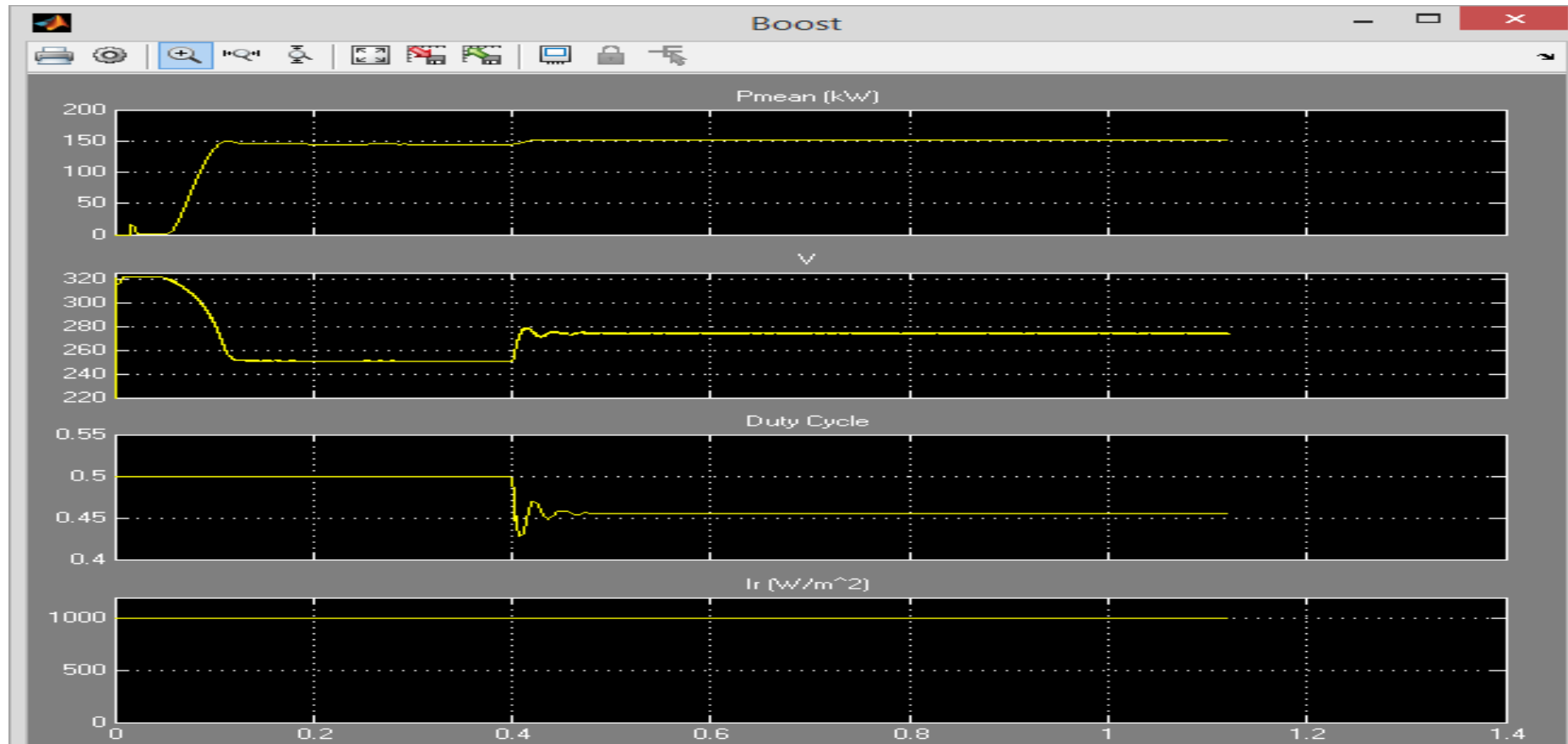


Figure 5.35. Résultats de la tension et de la puissance à la sortie de l'hacheur (Etude de la variante N°01).

Le courant à la sortie de l'onduleur est présenté dans la figure 5.36.

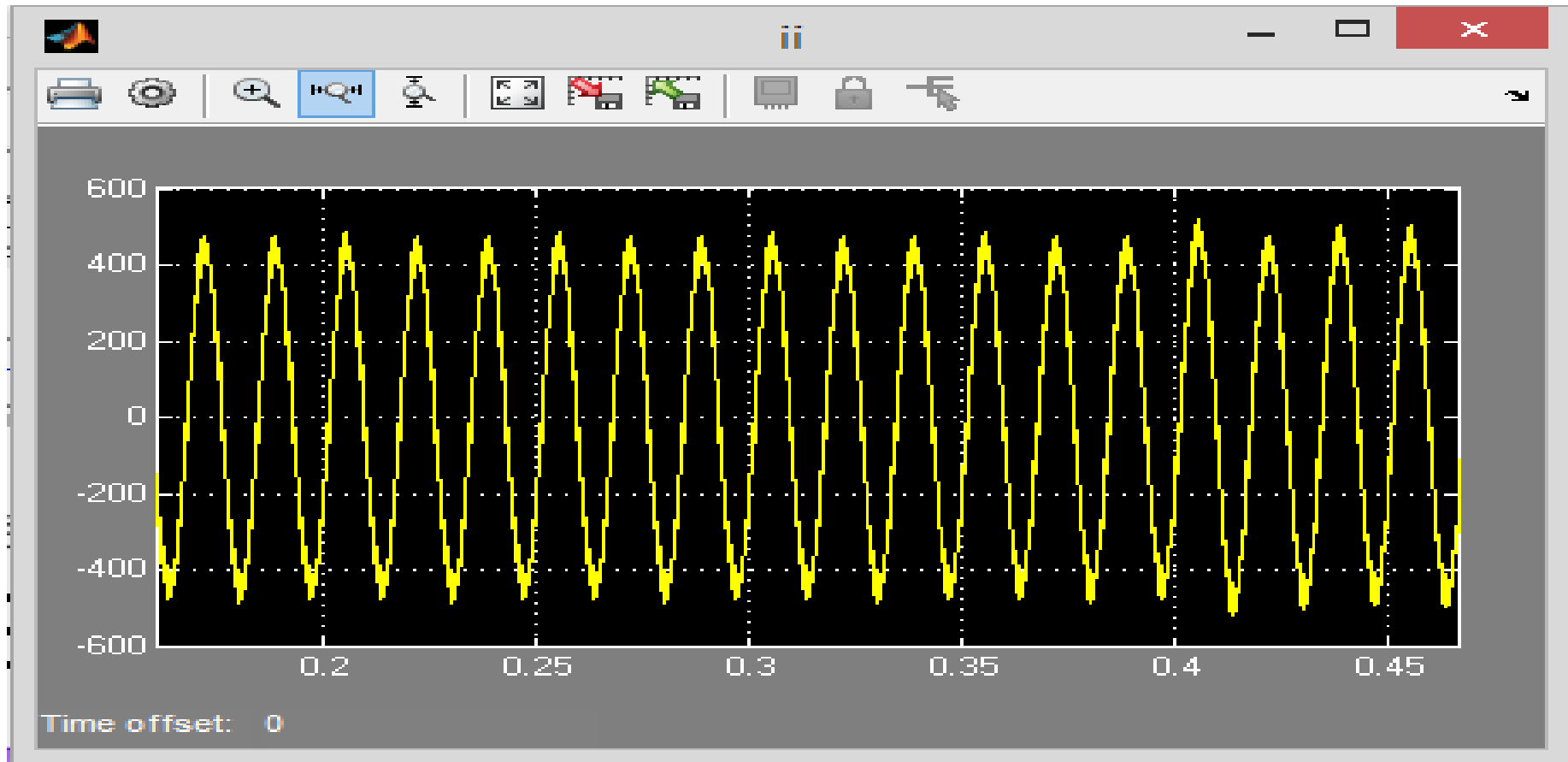


Figure 5.36. Résultat de courant à la sortie de l'onduleur (Etude de la variante N°01).

La tension à la sortie de l'onduleur est présentée dans la figure 5.37

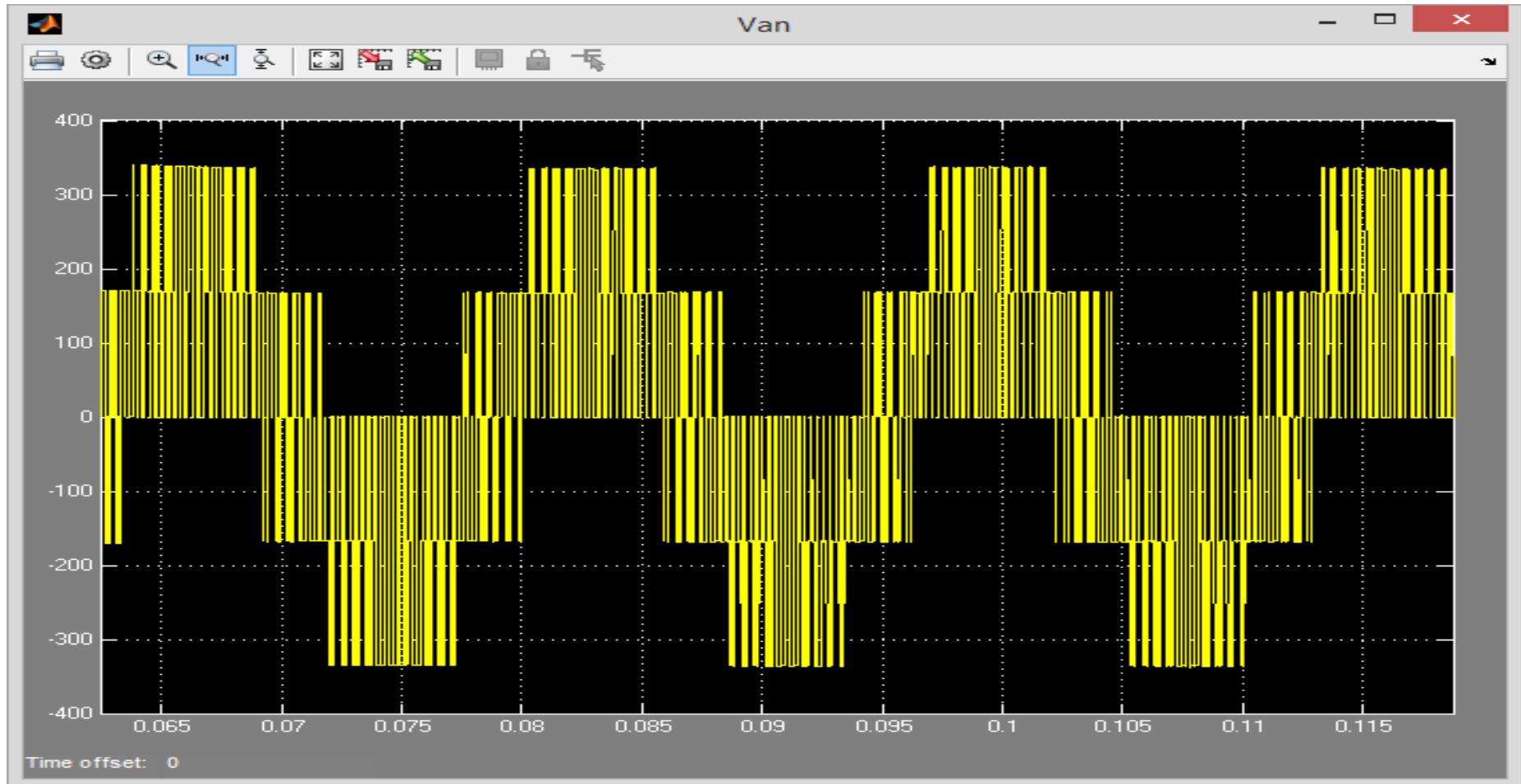


Figure 5.37. Résultat de la tension à la sortie de l'onduleur (Etude de la variante N°01).

Le courant à la sortie du transformateur est présenté dans la figure 5.38

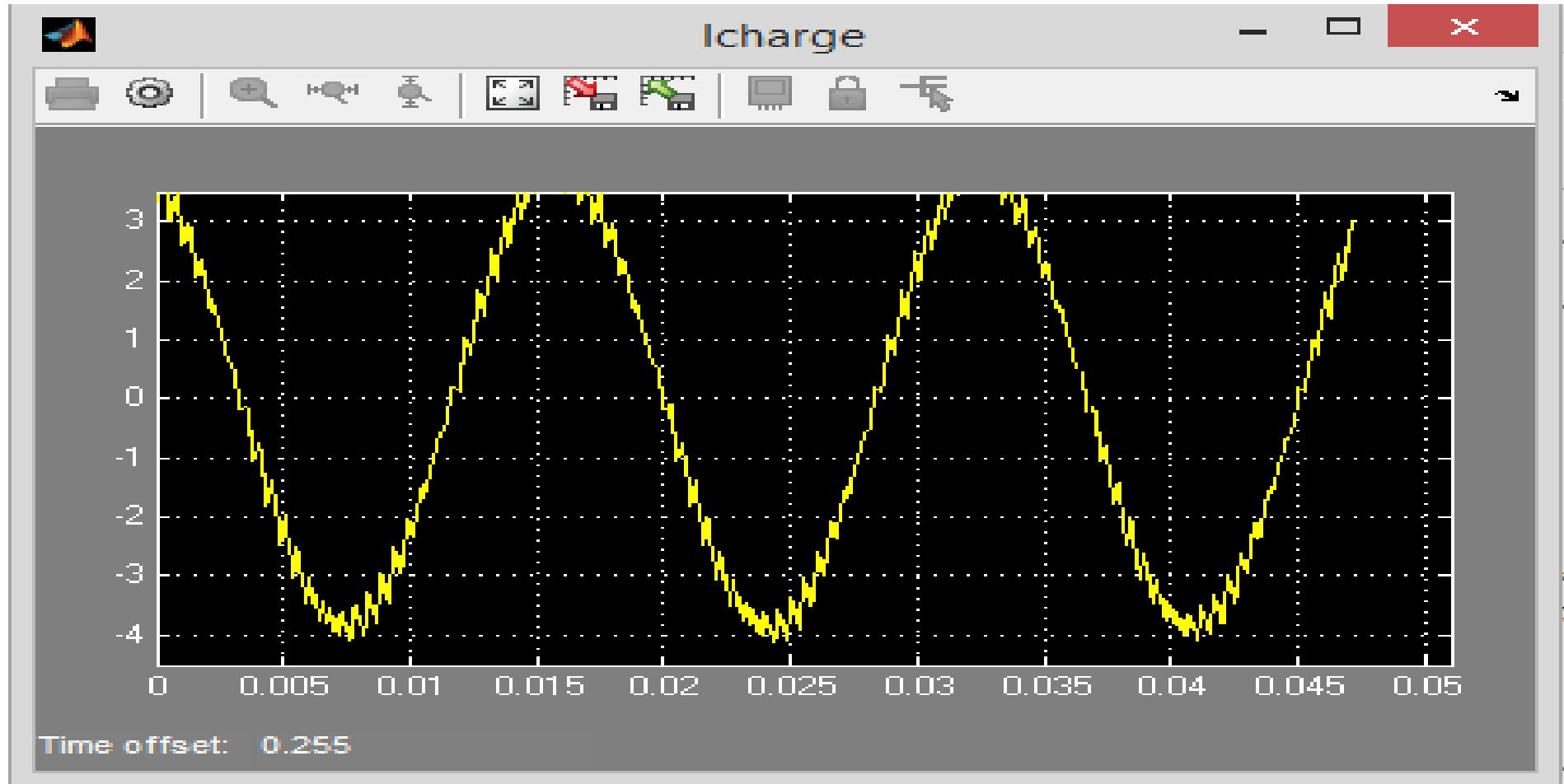


Figure 5.38. Résultat de courant à la sortie du transformateur (Etude de la variante N°01).

La tension à la sortie du transformateur est présentée dans la figure 5.39

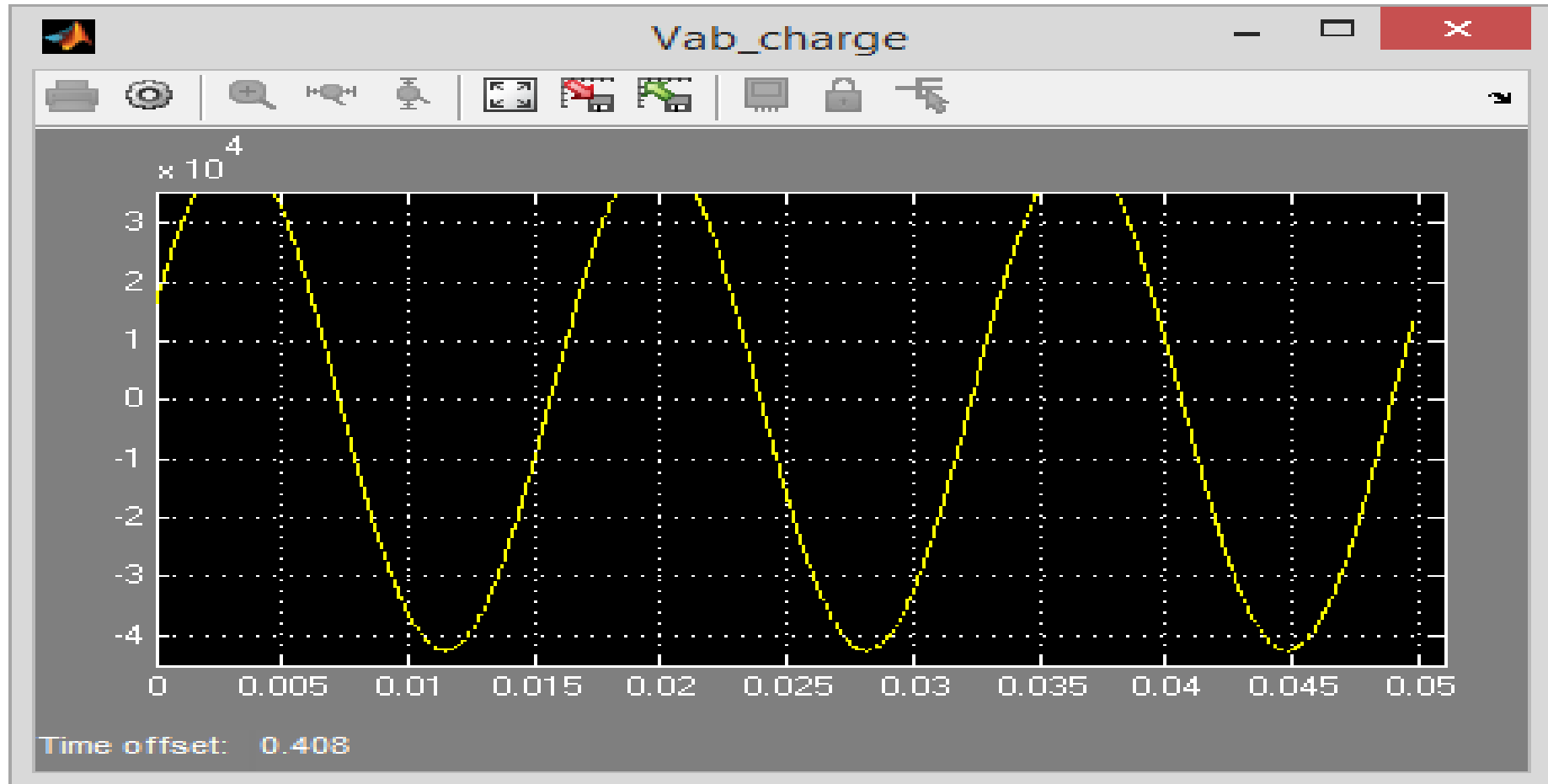


Figure 5.39. Résultat de la tension à la sortie du transformateur (Etude de la variante N°01).

5.70. Comparaison des avantages et des inconvénients des trois variantes d'études :

5.71. Avantages et inconvénients de la variante d'étude N°1 :

Les avantages et les inconvénients de la variante d'étude N°1 sont présentés dans le Tableau 5.14

Tableau 5.14 Avantages et les inconvénients de la variante d'étude N°1 [58].

N°	Avantages de la variante d'étude N°1
1	Durée nécessaire pour la réalisation des travaux : 12 jours.
N°	Inconvénients de la variante d'étude N°1
1	Tracé de la ligne : Réutilisation du tracé de la ligne existante : Nombre de pylône 120, longueur de la ligne 06Km.
2	Nature de terrain : Terrain dénivelé, accidenté.
3	Energie non distribuée (MWh): Elevée
4	Hauteur de pylône : varie de 10m à 12m, type 95BS66
5	Restitution de la situation en cas d'incident : temps important, ligne longue
6	Type d'isolateur: CTV 175 normal
7	Durée de la consignation de la ligne et la mise à l'arrêt de la production de la centrale : 12 jours.
8	Présente un danger pour les tiers en présence de l'effet d'induction
9	Effet du champ électromagnétique sur les êtres humains et les animaux.
10	La tenue mécanique des pylônes ne permet pas l'installation du câble de garde pour protéger la ligne contre les coups de la foudre, ligne exposée à des perturbations atmosphériques.
11	Ligne exposée aux conditions climatiques défavorables: vent violent, foudre, pollution,,,.etc.
12	La ligne n'est pas reliée au réseau fibre optique de la Société Nationale D'électricité Et De Gaz
13	Côût de réalisation : 25 000 000,00 DA

5.72. Avantages et inconvénients de la variante d'étude N°2 :

Les avantages et les inconvénients de la variante d'étude N°2 sont présentés dans le Tableau 5.15

Tableau 5.15 Avantages et inconvénients de la variante d'étude N°2 [58].

N°	Avantages de la variante d'étude N°2
1	Utilisation d'un nouveau tracé
2	Energie non distribuée (MWh): Faible
3	Hauteur de pylône :14m , type Metallique 126BS77
4	Section du câble conducteur: 116mm ² ALMELEC
5	Type d'isolateur : U80AS Anti-pollution
6	Possibilité de relier la ligne au réseau fibre optique de la Société Nationale D'électricité Et De Gaz, la silhouette des pylônes le permet.
7	Durée de la consignation de la ligne (01) une seule journée
8	Côût de réalisation : 4 344 640,00 DA
N°	Inconvénients de la variante d'étude N°2
1	Tracé de la ligne: Longueur 05Km, Nombre de pylône : 84
2	Duré des travaux: plus de (03) trois mois
3	Temps très important pour la gestion et la régularisation des oppositions des propriétaires des terrains
4	Restitution de la situation en cas d'incident : temps moins important, ligne moins longue
5	Présente un danger pour les tiers en présence de l'effet d'induction
6	Effet du champ électromagnétique sur les êtres humains et les animaux.
7	Ligne exposée aux conditions climatiques défavorables: vent violent, foudre, pollution,,,.etc., enregistre souvent des perturbations de fonctionnement.

CHAPITRE N°5 : Etude d'amélioration de l'intégration de l'énergie solaire

5.73. Avantages et inconvénients de la variante d'étude N°3 :

Les avantages et les inconvénients de la variante d'étude N°3 sont présentés dans le Tableau 5.16

Tableau 5.16 Avantages et ls inconvénients de la variante d'étude N°3 [58].

N°	Avantages de la variante d'étude N°3
1	Construction d'une nouvelle ligne en technique câble sous terrain plus courte sur une longueur de 3,50Km
2	Ligne protégée contre les agressions atmosphériques et des tiers, ne nécessite aucun entretien, coût de maintenance presque nul
3	Energie non distribuée (MWh) : Très faible, Ligne moins perturbée, régime de fonctionnement plus stable
4	Restitution de la situation en cas d'incident : localisation du point de défaut très rapide, accès rapide
5	Ne présente aucun danger pour les êtres humains et les tiers, absence de l'effet d'induction
6	Absence de l'effet du champ électromagnétique sur les êtres humains et les animaux.
7	Courant capacitif faible pour les câbles souterrains
8	Possibilité de relier le câble souterrain au réseau fibre optique de la Société Nationale D'électricité Et De Gaz
9	Nécessite une durée de consignation une seule journée pour le raccordement seulement
10	Durée des travaux environ 03 mois
11	Ne présente pas de problème d'opposition des propriétaires de terrain, tracé du câble en parallèle à la RN ou au CW
N°	Inconvénients de la variante d'étude N°3
1	Le seul inconvénient de cette Var est le coût de la réalisation qui est de 34 313 000,00 DA

5.74. Comparaison des trois variantes d'études :

La comparaison des paramètres électrique des trois variantes d'études est présentée dans le tableau 5.17

Tableau 5.17 Comparaison des paramètres électrique des trois variantes d'études [58].

Paramètre	Variante N°01	Variante N°02	Variante N°03	Taux d'amélioration des THD variante 1/ variante 2	Taux d'amélioration des THD variante 2/ variante 3	Taux d'amélioration des THD variante 1/ variante 3
THD_I	12,76%	5,75%	2,70%	221,91%	212,96%	472,59%
THD_V	25,10%	8,24%	2,60%	304,61%	316,92%	965,38%

La comparaison des paramètres technico-economique des trois variantes d'études est résumée dans la figure 5.40

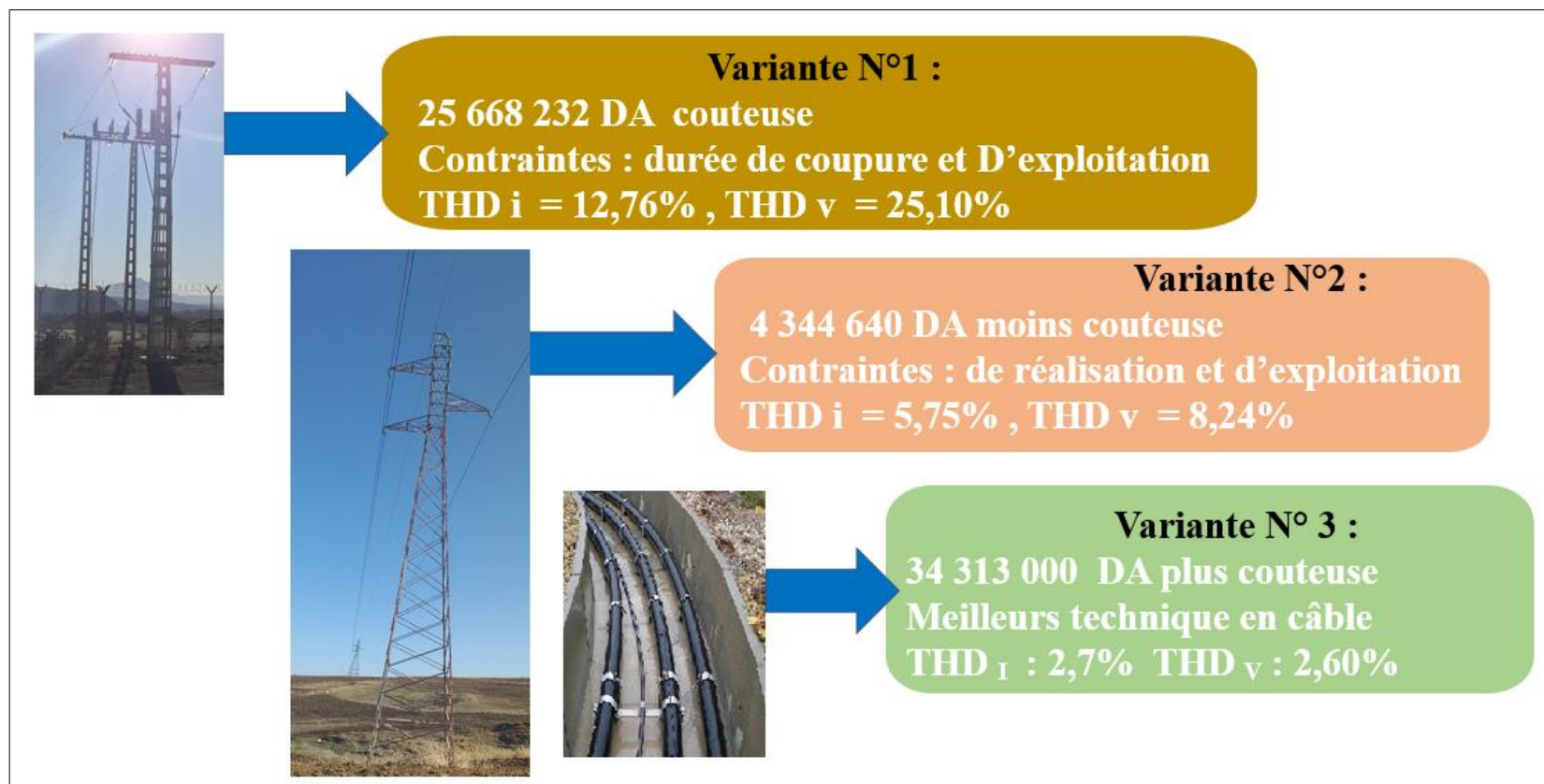


Figure 5.40. Comparaison technico-economique des trois variantes d'etude.

5.75. Conclusion :

L'étude réalisée pour rentabiliser la centrale photovoltaïque, nous a conduit à considérer trois variantes d'études différentes. Chacune de ces dernières, une fois réalisée, permettra à la centrale d'évacuer toute son énergie produite qui est de 15 MW en augmentant la limite thermique de la ligne 30 KV actuelle. En effet la Société Nationale d'Electricité et de Gaz affichait jusqu'à juin 2018 un manque à gagner évalué à 748 296 000 DA dû à la limite thermique réduite de la ligne. Les coûts de réalisation de chacune des variantes sont respectivement comme suit : 25 668 232 DA pour la variante N° 1 alors que 4 344 640 DA pour la variante N°2 et 34 513 000 DA pour la variante N°3.

Nous constatons que la variante N°2 est la moins coûteuse néanmoins nous préconisons la mise en œuvre de la variante N°3 pour les avantages techniques cités précédemment car le câble souterrain ne présente pas des contraintes de réalisation ni d'exploitation et ne nécessite pas de maintenance. Cela compensera le coût élevé de réalisation.

En conclusion l'utilisation de la variante N°03 peut rentabiliser Société Nationale D'électricité Et De Gaz de 166 440 000 DA/an avec un retour d'investissement de la totalité du montant après 178 jour de production (après environ 06 mois de production de la centrale OUED KEBRIT).

6.1. Conclusion générale :

Au début de cette thèse été présenté un historique de la technologie photovoltaïque , la modélisation du générateur photovoltaïque , influence des différents paramètres sur la caractéristique du photovoltaïque et explication du phénomène à l'intérieur de la cellule photovoltaïque , suivi d'une introduction aux différentes sources d'énergies électriques, présentation des données récentes sur la production et la consommation des énergies conventionnelles des énergies électriques dans le monde ainsi que les énergies renouvelables, intégration des énergies renouvelables en Algérie avec leur objectif à l'horizon de 2030.

Une partie de cette thèse été consacrée pour une étude technico-économique sur les incidents enregistrés au poste 220/90/60/30kV EL HADJAR avec intégration des panneaux photovoltaïques pour l'alimentation des auxiliaires du poste, puis simulations sur logiciel MATLAB avec analyse des résultats, cette partie de travail a été présenté et publié dans le proceeding d'une conférence internationale (Conference Proceeding IEEEIC20 I&CPF Europe, 9-12 Juin 2020, Madrid, Spain).

Une seconde partie de cette thèse est dédiée pour le fonctionnement de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT, sa présentation et description des équipements et du plan de protections (Protections des transformateurs, Protections départ ligne HT et protections des étages MT), historique des incidents enregistrés au niveau de la dite centrale photovoltaïque , explication des paramètres de qualité de service et du code de réseau appliqué à la centrale, puis proposition d'une stratégie de contrôle améliorée à appliquer à la centrale pour l'amélioration des paramètres de qualité de services, ce volet de travail a été publié dans un journal international (International Journal of Emerging Electric Power Systems, Juin 2024).

La dernière partie de la thèse a été dédié à l'étude de trois variantes pour l'amélioration de l'intégration de l'énergie photovoltaïque. Etude pour le remplacement des câbles conducteurs de la ligne existante. Etude pour la construction d'une nouvelle ligne 30kV) et étude de construction d'une liaison souterraine avec un câble sous-terrain, l'objectif de ces études pour la résolution de la problématique de la centrale OUED KEBRIT sa production est limitée à 12MWc, cependant son investissement est prévu pour produire une capacité de 15MWc, cinq logiciels sont utilisés pour l'établissement de ces études (NC Etuding line, MATLAB/Simulink, PLS-CADD, Autocad, PLS-POLE), cette partie de la thèse à été présenté et publié dans le proceeding d'une conférence internationale (4th International Conference on Electrical Engineering and Control Applications. ICEECA 17-19 Decembre 2019, Constantine, Algeria).

6.2. Perspectives :

Nos perspectives d'étude sont présentées dans un article qui est soumis dans un journal international pour publication ayant comme titre « Effect of grid disturbance on photovoltaïque power plant management and its impact on reliability indices according to the applied grid code ».

Aussi dans nos perspectives, nous réfléchissons à l'extension de la centrale OUED KEBRIT en vue de l'augmentation de sa production étant donné que la région Tebessa-Souk Ahras connaît un développement minier et industriel comme le projet du phosphate intégré (Bled el hedba wilaya de Tebessa et OUED KEBRIT Wilaya de Souk Ahras) et la ligne ferroviaire électrifiée (Annaba-Djebel Onk).

Tous ces projets ont besoin de sources Électriques sûres et diversifiées et l'énergie photovoltaïque est l'une des sources les plus stables et les plus économiques.

La centrale de Oud kebrit lorsqu'elle sera développée (augmentation de sa capacité et passage en 60 ou 220kV) va contribuer énormément à l'essor de la région.

Notre perspective donc sera l'étude de l'extension de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT pour subvenir à la demande future et accrue de l'énergie électrique.

6.3. Bibliographie

- [1] Marc JEDLICZKA, Yves MARIGNAC, “Les déterminants de l'évolution de la production d'Énergie dans une perspective de soutenabilité,” RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT - JUILLET 2019 - N°95 - © Annales des Mines.
- [2] Alain BURTIN, “Une gestion conjointe du nucléaire et des Énergies renouvelables variables pour une économie bas carbone,” RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT - JANVIER 2020 - N°97 - © Annales des Mines.
- [3] Adnan Z. Amin, “La transition énergétique dans les décennies à venir,” politique étrangère, 2019.
- [4] Ilarion PAVEL, “Limites physiques des Énergies Renouvelables,” LA BIODIVERSITÉ ENTRE URGENCES ET COMPLEXITÉ - © Annales des Mines.
- [5] NGELEKA MULAMBA Fontaine, “Perspective et choix des méthodes de production d'Énergie électrique adaptées à l'équilibre écologique en République Démocratique du Congo : Cas de la Province du Katanga,” International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN 2028-9324 Vol. 24 No. 4 Nov. 2018, pp. 1908-1916 © 2018 Innovative Space of Scientific Research Journals, <http://www.ijias.issr-journals.org/>.
- [6] Boudia Assam, “Contribution à l'étude d'un système photovoltaïque connecté au réseau Électrique avec un système de stockage à base d'une inductance supraconductrice (SMES),” Thèse doctorale au niveau de l'université Mohamed Boudiaf - M'sila.
- [7] O. Djelailia, “Gestion des synergies d'une alimentation Électrique autonome multi-sources à base d'Énergies renouvelables,” thèse doctorale au niveau de l'université Badji Mokhtar Annaba, 2020.
- [8] Site web : <http://www2.cnrs.fr/presse/communique/371.htm> consulté le 04/05/2022.
- [9] Florence Archet. “Cellules solaires organiques à base de molécules bio-inspirées,” Electronique, Université de Bordeaux, 2018. Français. NNT: 2018BORD0400. tel-02324845
- [10] Sandeep Manda, “Exact parameter identification of photovoltaic panel by using datasheet details,” conférence, 2018, Energie y Procedia 158 (2019) 972 – 977.
- [11] Ma, Tao & Yang, Hongxing & Lu, Lin. (2014). “Development of a model to simulate the performance characteristics of crystalline silicon photovoltaic modules/strings/arrays,” Solar Energie y. 100. 31–41. 10.1016/j.solener.2013.12.003
- [12] Habbati Bellia a, Ramdani Youcef, Moulay Fatima, “A detailed modeling of photovoltaic module using MATLAB,” NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics (2014) 3, 53–61.
- [13] A BOOK ON “Modelling Photovoltaic Systems using PSpice,” BY Luis Castaner and Santiago Silvestre, published by John Wiley & Sons Ltd.
- [14] B. Assam, Messalti, S., Harrag, A, “New improved hybrid MPPT based on backstepping-sliding mode for PHOTOVOLTAÏQUEsystem,” Journal Européen des Systèmes Automatisés, vol. Vol. 52, No. 3, pp. 317-323, (2019).
- [15] A. Loukriz, S. Messalti, and A. Harrag, “Design, simulation, and hardware implementation of novel optimum operating point tracker of PHOTOVOLTAÏQUEsystem using adaptive step size,” The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 101, no. 5-8, pp. 1671-1680, 2019.
- [16] Victor barboza, “supercapacitor in battery charges of photovoltaic panel: analysis of the technical feasibility,” conference ICEER 2018.

- [17] Daniel T. Cotfas and Petru A. Cotfas, "Comparative Study of Two Commercial Photovoltaic Panels under Natural Sunlight Conditions," *Hindawi International Journal of Photoenergie y*, Volume 2019, Article ID 8365175, 10 pages.
- [18] H.L. Tsai, C.S. Tu, and Y.J. Su, Member, "Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK", *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2008, WCECS 2008, San Francisco, USA, October 22 - 24, 2008*.
- [19] A. Reisi, M. Moradi, S Jamasb "Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review," *Renewable sustainable energie y reviews*, vol. 19, pp. 433-443, 2013.
- [20] H.G. Teo, P.S. Lee, M.N.A Hawlader, "An Active Cooling System for photovoltaïque Modules," *Applied Energie y* 2011;90: 309-315.
- [21] I. Dauta, Farhana Zainuddina, Y.M. Irwana, A.R.N. Razlianaa, a, "Analysis of Solar Irradiance and Solar Energie y in Perlis, Northern of Peninsular Malaysia," *Energie y Procedia* 18 (2012) 1421 – 1427.
- [22] A. Harrag, S. Messalti, "Adaptive GA-based reconfiguration of photovoltaic array combating partial shading conditions," *J Neural Computing*, vol. 30, no. 4, pp. 1145-1170, 2018.
- [23] F. Wolfertstetter, K. Pottler, N. Geuder, "Monitoring of Mirror and Sensor Soiling with TraCS for Improved Quality of Ground based Irradiance Measurements," *Energie y Procedia* 2014; 49:2422-2432.
- [24] A. Alami Merrouni, F. Wolfertstetter, "Investigation of Soiling Effect on Different Solar Mirror Materials under Moroccan Climate," *Energie y Procedia* 2015; 69 :1948-1957.
- [25] Timothy Dierauf T; Growitz A, Kurtz S, "Weather-corrected performance ratio. National renewable energie y laboratory", technical report NREL/TP-5200-57991; April 2013.
- [26] Tao Ma, Hongxing Yang, Lin Lu, "Solar photovoltaic system modeling and performance prediction", *Renewable and Sustainable Energie y, Reviews* 2014; 36: 304–315.
- [27] Ahmed Alami Merrouni, et all, compr "Electricity production from large scale PHOTOVOLTAÏQUE plants: Banchmrking the potential of MAROCCO againts California, US," *Energie y Procedia* 119, (2017) 346–355
- [28] D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, and S. Kaplanis, "Methods to determine the dc parameters of solar cells: a critical review," *Renewable and Sustainable Energie y Reviews*, vol. 28, pp. 588–596, 2013.
- [29] M. Belik, "Detection and prediction of photovoltaic panels malfunctions", *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'18) Salamanca (Spain), 21th to 23th March, 2018*
- [30] Yingya chen, yanfeng liu, "Experemental study on the effect of dust deposition on photovoltaic panels," *Energie y Procedia* 158 (2019) 483 – 489.
- [31] M. Veerachary, T. Senjyu, and A. Uezato, "Maximum power point tracking of coupled inductor interleaved boost converter supplied photovoltaïque system," *IEE Proceedings-Electric Power Applications* vol. 150, no. 1, pp. 71-80, 2003.
- [32] D. Choudhary, T. Saxena, and A. Engineering, "Dc-Dc buck-converter for mppt of photovoltaïque system," *International Journal of Emerging Technology Advanced Engineering*, vol. 4, no. 7, pp. 813-821, 2014.

- [33] R. Andouisi, A. Mami, G. Dauphin-Tanguy, and M. Annabi, "Bond graph modelling and dynamic study of a photovoltaic system using MPPT buck-boost converter," in *IEEE international conference on systems, man and cybernetics*, 2002, vol. 3, p. 6 pp. vol. 3: IEEE.
- [34] K. Kassmi, M. Hamdaoui, and F. Oliv  , "Conception et modélisation d'un système photovoltaïque adapt   par une commande de MPPT analogique," *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 10, no. 4, pp. 451-462, 2007.
- [35] S. Messalti, A. Harrag, and A. Loukriz, "A new neural networks MPPT controller for photovoltaïque systems," in *IREC2015 The Sixth International Renewable Energie y Congress*, 2015, pp. 1-6: IEEE.
- [36] A. Harrag, R. Messalti, "Variable step size modified P&O MPPT algorithm using GA-based hybrid offline/online PID controller," *Renewable Sustainable Energie y Reviews*, vol. 49, pp. 1247-1260, 2015.
- [37] A. Harrag, S. Messalti, Devices, and Fields, "PSO-based SMC variable step size P&O MPPT controller for photovoltaïque systems under fast changing atmospheric conditions," *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices*, vol. 32, no. 5, p. e2603, 2019.
- [38] A. Loukriz, M. Haddadi, and S. Messalti, "Simulation and experimental design of a new advanced variable step size Incremental Conductance MPPT algorithm for photovoltaïque systems," *J ISA transactions*, vol. 62, pp. 30-38, 2016.
- [39] A. Harrag and S. Messalti, "New Combined Fuzzy-IC Variable Step Size MPPT Reducing Steady State Oscillations," in *International Conference in Artificial Intelligence in Renewable Energie etic Systems*, 2018, pp. 376-383: Springer.
- [40] N. A. Kamarzaman, C. Tan, "A comprehensive review of maximum power point tracking algorithms for photovoltaic systems," *Renewable Sustainable Energie y Reviews*, vol. 37, pp. 585-598, 2014.
- [41] T. Logeswaran and A. SenthilKumar, "A review of maximum power point tracking algorithms for photovoltaic systems under uniform and non-uniform irradiances," *Energie y Procedia*, vol. 54, pp. 228-235, 2014.
- [42] U. Yilmaz, A. Kircay, S. Borekci "photovoltaïque system fuzzy logic MPPT method and PI control as a charge controller," *Renewable Sustainable Energie y Reviews* vol. 81, pp. 994-1001, 2018.
- [43] A. Harrag and S. Messalti, "Indirect hybrid fuzzy -P&O variable step size MPTT controller improving performances under fast changing atmospheric conditions," *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 21, no. 1, pp. 129-139, 2018.
- [44] D. Montoya, C. Ramos-Paja, and R. Giral, "Improved design of sliding-mode controllers based on the requirements of MPPT techniques," *IEEE transactions on Power Electronics*, vol. 31, no. 1, pp. 235-247, 2015.
- [45] A. Martin and J. Vazquez, "MPPT algorithms comparison in photovoltaïque systems: P&O, PI, neuro-fuzzy and backstepping controls," in *2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 2015, pp. 2841-2847: IEEE.
- [46] K. Dahech, M. Allouche, T. Damak, and F. Tadeo, "Backstepping sliding mode control for maximum power point tracking of a photovoltaic system," *Electric Power Systems Research*, vol. 143, pp. 182-188, 2017.

- [47] M. Cheikh, C. Larbes, G. Kebir, and A. Zerguerras, "Maximum power point tracking using a fuzzy logic control scheme," *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 10, no. 3, pp. 387-395, 2007.
- [48] A. Harrag and S. Messalti, "GA-based solar cell parameters extraction Application to single, double and triple diode models," *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 18, no. 4, pp. 701-711, 2015.
- [49] N. Femia, D. Granozio, G. Petrone, G. Spagnuolo, M. Vitelli "Predictive & adaptive MPPT perturb and observe method," *IEEE Transactions on Aerospace*, vol. 43, no. 3, pp. 934-950, 2007.
- [50] D. Sera, L. Mathe, T. Kerekes, S. Spataru, and R. Teodorescu, "On the perturb-and-observe and incremental conductance MPPT methods for PHOTOVOLTAÏQUE systems," *IEEE journal of photovoltaics*, vol. 3, no. 3, pp. 1070-1078, 2013.
- [51] I. V. Banu, R. Beniugă, and M. Istrate, "Comparative analysis of the perturb-and-observe and incremental conductance MPPT methods," in *2013 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 2013, pp. 1-4: IEEE.
- [52] ZHANYI GAO, "Progress on solar photovoltaic pumping irrigation technology", *IRRIGATION AND DRAINAGE*, Irrig. and Drain. (2017), Published online in Wiley Online Library, DOI : 10.1002/ird.2196.
- [53] Document du groupe société nationale d'électricité et de gaz, "Consigne d'exploitation du réseau Électrique"
- [54] Badache.Bahriya, Labar.Hocine, Kelaiaia.Mounia Samira, "Reliability improvement of the auxiliary equipment at high voltage transformer by solar power energie y supply," *Conference Proceeding IEEEIC20 I&CPF Europe*, 9-12 June, 2020, Madrid, Spain, 978-1-7281-7455-6/20/\$31.00 ©2020 IEEE, ISBN 978-1-7281-7453-2, 2020.
- [55] M. Obi and R. Bass, "Trends and challenges of grid-connected photovoltaic systems," *Renewable and Sustainable Energie y Reviews* 58, pp.1082–1094, 2016. In press.
- [56] Document de la Société de Production d'Electricité / SPE : Cahier des charges, Partie Descriptif Technique de la centrale photovoltaïque OUED KEBRIT.
- [57] Badache.Bahriya, Labar.Hocine, Kelaiaia.Mounia Samira, "Reliability indices improvement according to grid code compliance applied to photovoltaïque power plants (Algerian grid code case study)," *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, <https://doi.org/10.1515/ijeeps-20230242>, June 2024.
- [58] Badache.Bahriya, Labar.Hocine, Kelaiaia.Mounia Samira, "Study to Improve the Technical Parameters for the Optimising the Injection of the photovoltaïque Energie y into an Electrical Network via a Line 30 kV," *Conference Proceedings, 4th International Conference on Electrical Engineering and Control Applications. ICEECA 2019*. 17-19 December,2019, Constantine, Algeria, *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 682. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6403-1_38 , ISBN 978-981-15-6403-1. 2019.
- [59] Site Web du constructeur <https://www.solarelectricsupply.com/yingli-yl250p-29b-solar-panels>, consulté le 05/05/2022.
- [60] Pilar Díaz-Cuevas, Brahim Haddad, Miriam Fernandez-Nunez, "Energie y for the future: Planning and mapping renewable energie y. The case of Algeria," *Sustainable Energie y Technologies and Assessments* 47 (2021) 101445, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101445>, online 15 July 2021

- [61] Mohammed Guezgouz, Jakub Jurasz, Mohamed Chouai, Hannah Bloomfield, Benaissa Bekkouche, “Assessment of solar and wind energie y complementarity in Algeria,” *Energie y Conversion and Management* 238 (2021) 114170, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114170>, online 25 April 2021.
- [62] Mohammad Ruhul Amin Bhuiyan, Hayati Mamur, Jahanara Begum, “A brief review on renewable and sustainable energie y resources in Bangladesh,” *Cleaner Engineering and Technology* 4 (2021) 100208, <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100208>, online 3 July 2021.
- [63] Ali Q. Al-Shetwia,b,*, Muhamad Zahim Sujoda, Frede Blaabjergc, Yongheng Yangc, “Fault ride-through control of grid-connected PHOTOVOLTAÏQUE power plants,” *Solar Energie y* 180 (2019) 340–350, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.01.032>, accepted 9 January 2019.
- [64] Hui Yan, Ming Liu, Daotong Chong, Chaoyang Wang, Junjie Yan, “Dynamic performance and control strategy comparison of a solar- aided coal-fired power plant based on energie y and exergy analyses,” *Energie y* 236 (2021) 121515, <https://doi.org/10.1016/j.energie y.2021.121515>, online 16 July 2021.
- [65] Gloria Milena Vargas Gil, Rafael Bittencourt Aguiar Cunha, Silvio Giuseppe, “photovoltaïque energie y in South America: Current state and grid regulation for large-scale and distributed PHOTOVOLTAÏQUE systems,” *Renewable Energie y* 162 (2020) 1307-1320. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.022> online 21 August 2020.
- [66] Aakash Hassan, Yasir M. Al-Abdeli, Martin Masek, Octavian Bass, “Optimal sizing and energie y scheduling of grid-supplemented solar photovoltaïque systems with battery storage: Sensitivity of reliability and financial constraints,” *Energie y* 238 (2022) 121780, <https://doi.org/10.1016/j.energie y.2021.121780>, 14 August 2021.
- [67] Eduard Bullich-Massagué, Mònica Aragüés-Peñalba, Andreas Sumper, Oriol Boix-Aragones, “Active power control in a hybrid photovoltaïque storage power plant for frequency support,” *Solar Energie y* 144 (2017) 49–62, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.12.033>.
- [68] Mihovil Ivas, Ante Marušić, Juraj George Havelka, Igor Kuzle, “P-Q capability chart analysis of multi-inverter photovoltaïque power plant connected to medium voltage grid,” *Electrical Power and Energie y Systems* 116 (2020) 105521. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105521>, August 2019.
- [69] Ahteshamul Haque, Kurukuru Varaha Satya Bharath, Mohammed Ali Khan, Irshad Khan, Zainul Abdin Jaffery, “Fault diagnosis of photovoltaïque modules,” *Energie y Science & Engineering*. 2019; 7:622–644, <http://doi:10.1002/ese3.255>.
- [70] Chetan Srivastava, Manoj Tripathy, “DC microgrid protection issues and schemes: A critical review,” *Renewable and Sustainable Energie y Reviews* 151 (2021) 111546, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111546>, online 12 August 2021.
- [71] Ayman Alhejji, Mohamed I. Mosaad, “Performance enhancement of grid-connected photovoltaïque systems using adaptive reference PI controller,” *Ain Shams Engineering Journal* 12 (2021) 541–554, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.08.006>, online 25 September 2020.
- [72] Varaha Satya Bharath Kurukuru , Frede Blaabjerg, Mohammed Ali Khan 1 and Ahteshamul Haque 1, “A Novel Fault Classification Approach for photovoltaïque systems,” *Energies* 2020, 13, 308; <https://doi:10.3390/en13020308> . January 2020.
- [73] Azzeddine Bakdi, Wahiba Bounoua, Amar Guichi, Saad Mekhilef, “Real-time fault detection in photovoltaïque systems under MPPT using PMU and highfrequency multi-sensor data through online PCA-KDE-based multivariate KL divergence,” *Electrical Power and*

- Energie y Systems 125 (2021) 106457”, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106457>, Accepted 17 August 2020.
- [74] Document du groupe société nationale d’électricité et de gaz / DTE : “Calcul des paramètres qualité de service.”
- [75] Avishek Banerjee, Samiran Chattopadhyay, Mihai Gavrilas, Gheorghe Grigoras, “Optimization and estimation of reliability indices and cost of Power Distribution System of an urban area by a noble fuzzy-hybrid algorithm,” *Applied Soft Computing Journal* 102 (2021) 107078, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107078>, online 13 January 2021.
- [76] Getaye Yeshaneh Sinishaw, Belachew Bantyriga, Kirubel Abebe, “Analysis of smart grid technology application for power distribution system reliability enhancement: A case study on Bahir Dar power distribution,” *Scientific African* 12 (2021) e00840, <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00840>, Accepted 5 July 2021.
- [77] Peyman Afzali, Farshid Keynia, Masoud Rashidinejad, “A new model for reliability-centered maintenance prioritisation of distribution feeders,” *Energie y* 171 (2019) 701-709, <https://doi.org/10.1016/j.energie.y.2019.01.040>, online 11 January 2019.
- [78] Peng Yuan, Yuran Pu, Chang Liu, “Improving electricity supply reliability in China: Cost and incentive regulation,” *E n e r g y* 237 (2021) 121558, <https://doi.org/10.1016/j.energie.y.2021.121558>, online 22 July 2021.
- [79] Liaochao Song, Xue Han, Ming Yang, Wenxia Sima, Licheng Li, “Fault detection and protection in a meshed MMC–HVDC grid based on bus-voltage change rate and fault component current,” *Electric Power Systems Research* 201 (2021) 107530, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107530>, online 19 August 2021.
- [80] Erzy Andruszkiewicz, Józef Lorenc, Bogdan Staszak, Agnieszka Weychan, Beata Zięb, “Overcurrent protection against multi-phase faults in MV networks based on negative and zero sequence criteria,” *Electrical Power and Energie y Systems* 134 (2022) 107449, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107449>, online 6 August 2021.
- [81] Document du groupe société nationale d’électricité et de gaz / GRTE : “Construction et l’exploitation des ouvrages lignes et cables”.