

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère De L'enseignement Supérieur
Et De La Recherche Scientifique
Université Blida 1



Faculté de Technologie
Département des Energies Renouvelables

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour L'obtention Du Master En Energies Renouvelables

OPTION : Conversion Photovoltaïque

Thème :

**Etude de l'intégration des installations photovoltaïque pour
l'alimentation en électricité d'une ferme pilote en Algérie**

(Cas de Bouromie)

**Présenté Par : BOUAKKA Aya
HEFFAF Inas**

Devant le jury composé de :

Dr.Amrouche Badia	MCA	Présidente
Dr .Khoudja Fouad	MCB	Examineur
Dr. Mazouz Halima	MCA	Encadrante

Année universitaire : 2022 - 2023

Remerciement

La réalisation du projet de fin d'étude est une expérience pleine de découvertes, de collectes d'informations, de remises en question, d'espoirs, de difficultés et de rencontres. Toutes ces choses qui font la richesse d'une recherche.

Nous remercions avant tout **Allah** le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force, la volonté, et le courage de mener à bien et de terminer ce modeste travail.

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la préparation d'un mémoire de master en Energie Renouvelable, option conversion Photovoltaïque. C'est avec un grand plaisir que nous adressons nos sincères remerciements à notre enseignante et encadrante **Dr. Mazouz Halima**, on la remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, sa guidance, sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant toute la durée de notre préparation de cette mémoire.

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à **Mr Ashour Islam** pour son précieuse collaboration lors de notre étude sur la ferme Bouromie. Ses informations et son expertise ont grandement contribué à la réussite de notre projet.

Nous remercions les enseignants du département des Energies Renouvelables qui ont su nous offrir une formation didactique et enrichissante tout au long de notre parcours. Nous sommes reconnaissants de leur dévouement et de leur expertise, qui ont grandement contribué à notre apprentissage.

Dédicace :

À mes plus chers et précieux êtres dans ma vie, mon refuge sûr, ceux qui n'ont jamais refusé ma demande ni brisé mon cœur, à ma chère mère **Abdel Rahim Fatima** et à mon cher ami, mon premier et dernier amour, mon père **Heffaf Benalia** . Vous étiez mon ami, mon compagnon et ma source d'inspiration. Je vous remercie pour votre soutien constant et votre présence inébranlable. Vous êtes mes amis, mes piliers et ma source de force et de générosité. Je vous dédie cette thèse de fin d'études avec fierté et profonde gratitude.

À mes chères sœurs, **Amina, Bouchra, Nada**, mes frères **Diaa et Chihab**, vous êtes les précieux cadeaux dans ma vie. Je vous remercie pour votre amour et votre soutien incommensurables.

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers mes grands-parents, mes oncles, mes tantes et leurs enfants, en particulier mon oncle **Heffaf Mabkhout** et mon oncle **Heffaf Khalil**. Je n'oublierai jamais votre soutien et vos encouragements tout au long de ma vie. Avec un spéciale dédie et merci à mon cher **grand-père Heffaf Yahia** , qui a toujours souhaité notre réussite dans nos études. Que Dieu le place parmi les gens du Paradis.

Et tout mon amour et ma gratitude à mes chères amies, les amies de Moussalla Aïcha Oum Elmouminin , une par une, en particulier ma confidente **Farida Kouadri** et mes enseignantes du Quran, **Fatima** et **Ilham**, vous étiez la lumière sur mon chemin et le guide dans ma vie.

Sans oublier de mentionner mes camarades d'études et toutes mes sœurs de la résidence universitaire surtout **Rabhi Amina et Ghribi Awatif** , Hafsa , Nouha , Soumia , Chahinez ,Zahra ,Chahrazade , Rhadia , Dalale , Hayat, Amira , Dalale , Khadija , Marwa ,Maïssa, karima , Souhaila , Farah,sara, .Merci pour votre amours et encouragements.

À mon amie, binôme et compine de chambre **Bouakka Aya** ; Ce mémoire est le fruit de notre collaboration exceptionnelle, de notre soutien mutuel et de notre complicité sans égale. Je te remercie du fond du cœur d'avoir été présente à mes côtés, de m'avoir inspiré et de partager avec moi tant de rires, de confidences et de joies. Ce projet témoigne de notre amitié inestimable et de notre capacité à relever les défis ensemble. Je te dédie ce mémoire en tant que symbole éternel de notre réussite commune ; Je te suis reconnaissante d'avoir fait tout ton possible et de n'avoir rien lésiné

Je dédie cette thèse à tous ceux qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mon parcours académique. Que l'amour et la gratitude soient mes compagnons éternels.

Amas

Dédicace :

Louange à Dieu, Seigneur des mondes, et prières et paix sur notre Prophète Muhammad, que Dieu le bénisse et lui accorde la paix.

Je dédie ce travail avec amour et sincérité à :

L'homme bien-aimé de ma vie, mon père ***Bouakka Muhammad Nasser***, tous les mots de gratitude et d'appréciation ne remplissent pas votre droit. Vous avez toujours été le soutien sur lequel je me suis appuyé sans crainte d'être déçu. Merci de me faire confiance et de me soutenir. Que Dieu vous protège de tout mal.

Mon âme bien-aimée, qui s'est toujours sacrifiée pour nous jusqu'à ce que j'atteigne ce que je suis aujourd'hui, et qui ne m'a pas oubliée dans ses prières, ma mère bien-aimée ***Zerguine Leila***, je t'aime et demande à Dieu Tout-Puissant de prolonger ta vie.

Mes sœurs ***Assia*** et ***Nariman***, merci pour votre souci constant de mon confort, merci de me soutenir dans chaque étape et chaque décision. Tu as été pour moi le meilleur exemple de fraternité.

Mon cher oncle ***Zerguine Menaouer***, qui était un frère pour moi et qui m'a soutenu tout au long de mon parcours universitaire sans se plaindre ni se fatiguer, je te remercie d'avoir été à nos côtés dans les périodes les plus difficiles de notre vie.

Ma fille choyée et la plus belle coïncidence que la vie m'a réunie. A celle qui m'a soutenu dans mes moments les plus difficiles. A la compagne du coeur et de l'âme que je remercie Dieu jour et nuit pour sa présence dans ma vie, ***Slimane Hayet*** je t'aime ma petite fille, que Dieu te protège pour moi et fasse de toi ma compagne au paradis.

Mon chère amie et binôme ***Heffaf Inas*** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

Ma douce amie ***Ghribi Awatif*** et ma deuxième famille, membres de ***Mousalla Aisha***, pour la résidence universitaire n°07 mère des Croyants, en particulier : Maïssa , Farida, Radhia, Dalal Ben Abbas, Dalal Ben Masrouk ,Amira, Marwa,Khadidja ,Farah , Sara,Souhila Nouha,Soumia

Tous les professeurs qui ont encadré mon enseignement durant toutes les étapes de mes études, a la famille du Département des Energies Renouvelables des professeurs et étudiants, A tous ceux qui liront mon travail que je le sache ou non.

Agna

Introduction générale

1.Introduction.....	1
2.Objective :.....	1
3.Problématique :.....	2
4.L'approche méthodologique :.....	3

CHAPITRE I : Les fermes pilotes agricole en Algérie

I.1 Introduction	5
I.2 L'agriculture dans le monde.....	5
I.2.1 Canada	5
I.2.2 Suisse.....	5
I.3 L'agriculture en Algérie	6
I.4. Les types des fermes agricoles.....	7
I.4.1. Fermes à grain.....	7
I.4.2. Fermes d'élevage.....	8
I.4.3 Fermes horticoles.....	8
I.4.4 Ferme sylviculture	9
I.4.5 Fermes aquacoles.....	9
I.5 Les fermes pilotes	10
I.5.1 Les types des fermes pilotes	10
I.6 Des exemples des fermes pilotes	11
I.6.1 Les fermes-pilotes de la Salonga - Congo	11
I.6.2 Ferme laitière Oyster Bed Bridge, Prince Île-Édouard - Canada.....	12
I.7 Les fermes pilotes en l'Algérie	13
I.7.1 Classement des fermes pilotes en l'Algérie.....	15
I.8 Conclusion.....	17

CHAPITRE II : L'énergie photovoltaïque dans les fermes pilotes en Algérie

II.1 Introduction.....	19
II.2 Situation des énergies renouvelables en Algérie	19
II.3 Les systèmes photovoltaïques dans les fermes pilotes	20
II.3.1 Le système photovoltaïque hybride	20
II.3.2 Le Système PV Connecté au réseau.....	21
II.4 Les fermes pilotes alimenté en énergie photovoltaïque	24

II.4.1 Ferme laitier de Ghardaïa-Algérie	24
II.4.2 Les fermes laitières de l'Institut Technique de l'Elevage ITELV (Algérie)	26
II.4.3 La ferme laitière de Tlemcen (Algérie)	27
II.5 Conclusion	29

CHAPITRE III : Simulation avec PVsyst & HOMER

III.1 Introduction	31
III.2 Présentation de Logiciel PVsyst	31
<i>III.2.1 Méthode générale d'utilisation de PVsyst</i>	31
III.3 Présentation du Logiciel HOMER Pro.....	35
<i>III.3.1 Définition</i>	35
<i>III.3.2 Comment fonctionne HOMER</i>	36
<i>III.3.3 Méthode générale d'utilisation HOMER Pro</i>	38
III.4 Conclusion.....	68

CHAPITRE IV : Etude Comparative

IV.1 Introduction	43
IV.2 Première étude comparative : Cas d'étude Remchi – Tlemcen	43
IV.2.1 Présentation de la ferme	43
IV.2.2 Calcul de la puissance crête	44
IV.2.2 Dimensionnement du système photovoltaïque connecté au réseau	46
IV.2.4 Evaluation économique du projet par Homer	54
IV.3 Deuxième étude comparative : Cas d'étude Prince Île-Édouard – Canada.....	59
IV.3.1 Présentation de site	59
IV.3.2 Calcule de la puissance crête.....	59
<i>IV.3.3 Dimensionnement d'un système photovoltaïque connecté au réseau</i>	62
IV.3.4 Résultat de simulation de PVsyst et discussion	65
IV.3.5 Résultat et discussion de simulation de HOMER	73
IV.4 Synthèse comparative entre les deux cas d'études	75
<i>IV.4.1 Production d'énergie solaire</i>	75
<i>IV.4.2 Consommation électrique</i>	76
<i>IV.4.3 Autonomie énergétique</i>	77
<i>IV.4.4 Composants du système</i>	78
<i>IV.4.5 Connexion au réseau</i>	78
IV.5 Conclusion	80

CHAPITRE V : Intégration du système PV a la ferme laitière de Bouromie - Blida

V.1 Introduction	82
V.2 Présentation de la ferme Bouromie-Blida	82
V.3 Profil de charge de la ferme	83
V.4 Evaluation économique avec Homer	85
V.4.1 Définition du projet	85
V.2.3 Résultats et discussions	88
V.3. Conclusion	93

Résumé :

La présente mémoire a examiné l'intégration des installations photovoltaïques pour l'alimentation en électricité d'une ferme pilote en Algérie. L'étude a mis l'accent sur les aspects techniques, économiques et environnementaux de cette intégration. Dans un premier temps, la consommation électrique de chaque ferme laitière a été déterminée, puis la puissance crête du système photovoltaïque a été calculée afin de dimensionner le système. PVsyst a été utilisé pour déterminer les limites techniques du système dans chaque cas, tandis que le logiciel HOMER a permis d'optimiser les aspects techniques et de déterminer les aspects économiques du projet. L'analyse a révélé que l'intégration des systèmes photovoltaïques offre des avantages considérables en termes de production d'énergie propre, de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de rentabilité économique. Cependant, il est important de prendre en compte les particularités du réseau électrique local pour garantir une intégration fiable et efficace.

Les mots clés : installation photovoltaïque, ferme pilote, consommation électrique, PVsyst, HOMER, L'agriculture algérienne.

Abstract:

The present thesis examined the integration of photovoltaic installations for the electricity supply of a pilot farm in Algeria. The study focused on the technical, economic, and environmental aspects of this integration. Initially, the electricity consumption of each dairy farm was determined, followed by the calculation of the photovoltaic system's peak power to size the system accordingly. PVsyst was used to determine the technical limitations of the system in each case, while the HOMER software was employed to optimize the technical aspects and determine the economic considerations of the project. The analysis revealed significant benefits of integrating photovoltaic systems, including clean energy production, reduction of greenhouse gas emissions, and economic profitability. However, it is crucial to consider the specificities of the local electrical grid to ensure reliable and efficient integration.

Key words: photovoltaic installation, pilot farm, electricity consumption, PVsyst, HOMER, Algerian agriculture.

المخلص :

تناولت هذه الأطروحة إمكانية دمج تركيبات الطاقة الشمسية لتأمين الكهرباء في مزرعة تجريبية في الجزائر. ركزت الدراسة على الجوانب التقنية، الاقتصادية والبيئية لهذا التكامل. في البداية، تم تحديد استهلاك الكهرباء في كل مزرعة للألبان، ثم تم حساب القدرة القصوى للنظام الشمسي لتحديد حجم النظام. تم استخدام برنامج PVsyst لتحديد الحدود التقنية للنظام في كل حالة، في حين استخدم برنامج HOMER لتحسين الجوانب التقنية وتحديد الجوانب الاقتصادية للمشروع. أظهر التحليل أن تكامل أنظمة الطاقة الشمسية يوفر فوائد كبيرة فيما يتعلق بإنتاج الطاقة النظيفة وتقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري والربحية الاقتصادية. ومع ذلك، فمن المهم أخذ خصائص الشبكة الكهربائية المحلية في الاعتبار لضمان تكامل موثوق وفعال.

الكلمات المفتاحية : تركيب الطاقة الكهروضوئية ، مزرعة تجريبية ، استهلاك الكهرباء ، PVsyst ، HOMER ، الزراعة الجزائرية.

Liste des figures :

CHAPITRE I : LES FERMES PILOTES AGRICOLES.

Figure I.1 : Consommation énergétique finale par secteur d'activité en 2005.....	7
Figure I.2 : Répartition de la consommation électrique dans le cas d'un silo stockeur uniquement.....	8
Figure I.3 : Répartition de la consommation électrique dans le cas d'un silo stockeur et sécheur.....	8
Figure I.4 : Répartition des consommations d'énergies globales.....	9
Figure I.5 : L'énergie consommée dans l'agriculture et l'horticulture en 2020.....	10
Figure I.6 : Répartition des consommations électriques par secteur.....	13

CHAPITRE II : L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE DANS LES FERMES PILOTES EN ALGERIE.

Figure II.1 : Le programme en énergie renouvelables à réaliser sur la période (2015-2030).....	22
Figure II.2 : Système photovoltaïque appliquée dans une ferme.....	23
Figure II.3 : Système solaire hybride.....	24
Figure II.4 : Schématisation D'un Système PV Connecté au réseau.....	25
Figure II.5 : Exemple de système PV à injection totale sans stockage.....	25
Figure II.6 : Exemple de système PV à injection totale avec stockage.....	26
Figure II.7 : Exemple de système PV autoconsommation sans stockage.....	26
Figure II.8 : Exemple de système PV avec autoconsommation avec stockage.....	27
Figure II.9 : Profil de charge de l'élevage bovin : (a) saison hiver/automne, (b) saison été/printemps.....	28
Figure II.10 : Modèle de système hybride photovoltaïque/éolien connecté au réseau	28
Figure II.11 : Répartition des exploitations ITEL V dans la région nord algérienne.....	29
Figure II.12 : Schéma de référence pour le système photovoltaïque connecté au réseau de la ferme	30
Figure II.13 : Localisation de ferme.....	31
Figure II.14 : Puissance électrique quotidienne produite et demandée en juin.....	32

CHAPITRE III : SIMULATION AVEC PVSYST & HOMER.

Figure III.1 : La page principale de PV syst.....	36
Figure III.2 : Le tableau de bord.....	37
Figure III.3 : La page des coordonnées Géographique	37
Figure III.4 : Les paramètres d'orientation.....	38
Figure III.5 : Les paramètres de système.....	39
Figure III.6 : Boit de dialogue de PV syst.....	39
Figure III.7 : Présentation de logiciel Homer.....	40
Figure III.8 : L'interface de logiciel HOMER Pro.....	44
Figure III.9 : Le schéma de système.....	44
Figure III.10 : La charge.....	45
Figure III.11 : Les composants.....	45
Figure III.12 : Les ressources.....	45

CHAPITRE IV : Etude comparative.

Figure IV.1 : Les Cartes Géographiques de Remchi - Tlemcen.....	48
Figure IV.2 : Répartition de la consommation annuelle d'énergie électrique de la ferme.....	50
Figure IV.3 : Besoins mensuels.....	51
Figure IV.4 : Coordonnée Géographique de Remchi.....	51
Figure IV.5 : Table d'irradiation et Température à Remchi (NASA - SSE).....	52
Figure IV.6 : Système PV adapté à la demande de charge de la ferme.....	52
Figure IV.7 : Angle D'orientation.....	53
Figure IV.8 : Le choix de module PV.....	53
Figure IV.9 : Caractéristiques de module PV.....	54
Figure IV.10 : Les dimensions de module PV.....	54
Figure IV.11 : Le choix d'onduleur.....	54
Figure IV.12 : Caractéristiques Techniques de l'onduleur.....	55
Figure IV.13 : Schéma simplifié du système couplé au réseau.....	55
Figure IV.14 : Résumé du système global	56
Figure IV.15 : Production normalisées (par kWp installé).....	56
Figure IV.16 : L'indice de performance (PR).....	57
Figure IV.17 : Table de bilan et résultat principaux.....	58
Figure IV.18 : Diagramme des pertes.....	58
Figure IV.19 : Coordonnée Géographique de Remchi –Tlemcen avec Homer.....	59

Figure IV.20 : La variation de l'irradiation solaire moyenne et journalière.....	59
Figure IV.21 : L'évolution des températures mensuelles moyennes de la région.....	60
Figure IV.22 : Architecture du système.....	60
Figure IV.23 : Le module PV.....	60
Figure IV.24 : Caractéristique de l'onduleur.....	61
Figure IV.25 : Le réseau de site.....	61
Figure IV.26 : La production électrique totale mensuelle.....	61
Figure IV.27 : Indications puissance de l'onduleur.....	62
Figure IV.28 : Résultat optimal pour le système PV.....	62
Figure IV.29 : NPC détaillé de chaque composant du système.....	63
Figure IV.30 : Les Cartes Géographiques de Prince Île-Édouard, Canada.....	64
Figure IV.31 : Charge journalière moyenne et évolution de la température moyenne.....	66
Figure IV.32 : Consommation quotidienne moyenne d'électricité.....	67
Figure IV.33 : Répartition des consommations électriques par secteur.....	67
Figure IV.34 : Les coordonnées géographiques de site avec PV sys.....	67
Figure IV.35 : Irradiation et Température à Prince Île-Édouard (NASA - SSE).....	68
Figure IV.36 : Angle d'orientation.....	68
Figure IV.37 : Le module PV.....	69
Figure IV.38 : Caractéristiques de module PV.....	69
Figure IV.39 : Les dimensions de module PV.....	69
Figure IV.40 : L'onduleur choisi.....	69
Figure IV.41 : Schéma simplifié du système couplé au réseau pour Canda.....	70
Figure IV.42 : Détail de système.....	70
Figure IV.43 : Diagramme de production énergétique.....	70
Figure IV.44 : L'indice de performance.....	71
Figure IV.45 : Diagramme des pertes.....	71
Figure IV.46 : Table de bilans et résultats principaux.....	72
Figure IV.47 : Cordonnées géographiques de la ferme.....	72
Figure IV.48 : La variation de l'irradiation solaire moyenne et journalière de la région.....	73
Figure IV.49 : Les températures mensuelles.....	73
Figure IV.50 : L'évolution des températures mensuelles moyennes de la région.....	73
Figure IV.51 : Architecture du système électrique de la ferme.....	74
Figure IV.52 : Spécifications de module photovoltaïque.....	74
Figure IV.53 : L'onduleur choisi.....	74
Figure IV.54 : Le réseau de la région.....	75

Figure IV.55 : Données du profil de charge quotidienne enregistrées sur le site de l'étude de cas.....	75
Figure IV.56 : Les données horaire de charge le 15 février (Digitizer).....	75
Figure IV.57 : Profil journalier de la consommation électrique (1h jusqu'à 21h).....	77
Figure IV.58 : Résultat optimale sélectionnée par Homer.....	78
Figure IV.59 : La production électrique totale mensuelle.....	78
Figure IV.60 : NPC détailler de chaque composant du système.....	78
Figure IV.61 : Specification du convertiseur.....	79
Figure IV.62 : Diagramme de production énergétique pour Canada.....	79
Figure IV.63 : Production normalisées (par kWp installé) pour Tlemcen.....	80
Figure IV.64 : Répartition de la consommation annuelle d'énergie électrique pour Tlemcen.....	80
Figure IV.65 : Répartition des consommations électriques par secteur pour Canada	81
Figure IV.66 : La production électrique totale mensuelle (Canada).....	81
Figure IV.67 : La production électrique totale mensuelle(Tlemcen).....	81
Figure IV.68 : Résumer de composant de système PV(Remchi)	82
Figure IV.69 : Résumer de composant de système PV(Canada).....	82

CHAPITRE V : INTEGRATION DU SYSTEME PV A LA FERME LAITIERE DE BOUROMIE – BLIDA.

Figure V.1 : La position géographique de la ferme.....	86
Figure V.2 : Consommation électrique mensuelle de la ferme pour l'année 2016.....	89
Figure V.3 : Cordonnées géographique de la ferme.....	89
Figure V.4 : La variation de l'irradiation solaire moyenne et journalière de la zone étudiée.....	90
Figure V.5 : La variation de la température de la zone étudiée.....	90
Figure V.6 : L'architecture de système électrique de la ferme (Bouromie).....	90
Figure V.7 : Spécification de panneaux.....	91
Figure V.8 : Spécification de convertisseur.....	91
Figure V.9 : Les paramètres du réseau électrique.....	91
Figure V.10 : Résultat optimal pour le système PV.....	92
Figure V.11 : La production électrique totale mensuelle	92
Figure V.12 : Indications puissance de panneaux	93
Figure V.13 : Indications puissance de l'onduleur.....	93
Figure V.14 : NPC détaillé de chaque composant du système.....	94
Figure V.15 : Les bénéfices de système proposé.....	94
Figure V.16 : Métriques économiques et résumé des coûts du système.....	94

Liste des tableaux :

CHAPITRE I : LES FERMES PILOTES AGRICOLE.

Tableau I.1: Bilan énergétique du système agroforesterie.....	10
Tableau I.2 : Analyse de la rénovation d'éclairage éco-énergétique avec des tubes T8.....	14
Tableau I.3: Répartition du groupe lait dans les régions d'Algérie.....	16

CHAPITRE II : L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE DANS LES FERMES PILOTES EN ALGERIE.

Tableau II.1 : Taille du cheptel des élevages dans les régions algériennes étudiées.....	29
---	----

CHAPITRE IV : ETUDE COMPARATIVE.

Tableau IV.1 : La consommation d'électricité de la ferme laitière.....	49
Tableau IV.2 : Résultats pour HOMER Pro.....	62
Tableau IV.3 : Résultats de l'audit de passage estimant la consommation annuelle d'électricité en fonction des heures de fonctionnement estimées et des cotes de l'équipement.....	65
Tableau IV.4: La charge horaire de ferme le 15 février	76
Tableau IV.5 : Les caractéristiques technico-économique du système	77
Tableau IV.6 : Résultat pour Homer Pro	77

CHAPITRE V : INTEGRATION DU SYSTEME PV A LA FERME LAITIERE DE BOUROMIE –BLIDA.

Tableau V.1 : La production laitière de la ferme en 2016.....	87
Tableau V.2 : La consommation électrique de la ferme en 2016.....	88

Les symboles :

AC : Courant indirect

CA : Les pertes de câblage

CC : La résistance de câble

COE : Coût de l'énergie

CPE : Conseil des Participations de l'Etat.

DC : Courant direct.

E : La consommation électrique.

E_j : L'énergie journalière.

EPE : Entreprise publique économique.

EQF : Equivalent litre de Fioul.

$$1 \text{ EQF} = 35,8 \text{ MJ}$$

Eurl : Entreprise unipersonnelle a présentabilité Limitée

F : Le facteur déclassement PV.

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

FAQ: Frequently Asked Questions.

GPS: Global Positioning System.

ITELV : l'Institut Technique de l'Elevage.

LCOE: Levelized Cost of electricity.

LDPP: Local Development Pilot Projects.

Ls : Les pertes d'onduleur.

Lc : Les pertes de champs PV.

MADRP : Ministère de l'Agriculture du développement rural et de la pêche.

η : Le rendement.

NPC : Net Present Coest.

NREL: National Renewable Energy Laboratory.

OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales.

P : La puissance.

P_c : La puissance crête.

PDF : Portable Document Format.

P_i : Le solaire à STC (1Kw/m², 25°C)

PIB : Produit intérieur brut.

PR : L'indice de performance

PROFAP :

PV : Photovoltaïque.

R_g : Le rayonnement solaire global.

t : Le temps.

Y_f : L'énergie utile produite par le système.

Y_r : L'énergie incidente de référence.

Introduction générale

1. Introduction

L'agriculture est essentielle pour garantir la sécurité alimentaire en assurant une source de nourriture vitale pour la population. Une agriculture productive et diversifiée réduit la dépendance aux importations alimentaires, renforçant ainsi la souveraineté alimentaire du pays et luttant contre la faim et la malnutrition. L'agriculture joue un rôle important dans la sécurité alimentaire de l'Algérie.

Le développement de domaine agricole en Algérie est crucial pour l'économie, créant des emplois et favorisant le développement rural. Les opportunités d'emploi dans le secteur agricole, en particulier dans les zones rurales, représentent souvent la principale source de revenus. En promouvant des pratiques agricoles durables et l'utilisation de technologies modernes, la productivité et les revenus des agriculteurs augmentent, renforçant leur résilience face aux défis climatiques.

L'énergie est un facteur très important pour l'agriculture. Elle est nécessaire pour alimenter les systèmes d'irrigation, les équipements de récolte et de transformation, ainsi que les installations de stockage et de refroidissement des produits agricoles. L'utilisation des sources d'énergie renouvelable, comme l'énergie solaire ou éolienne, peut contribuer à réduire les coûts énergétiques, à promouvoir la durabilité et à renforcer l'indépendance énergétique des exploitations agricoles. Les fermes pilotes, spécialement, servent de terrain d'expérimentation pour tester et développer de nouvelles technologies énergétiques, telles que la biomasse ou la cogénération, afin d'améliorer l'efficacité énergétique et de minimiser l'impact environnemental de l'agriculture.

L'intégration des installations photovoltaïques dans les exploitations agricoles offre une solution prometteuse pour répondre aux besoins en électricité de manière durable. En Algérie, où l'agriculture joue un rôle essentiel dans l'économie, l'étude de l'intégration de l'énergie solaire photovoltaïque dans une ferme pilote revêt une importance particulière.

Cette recherche vise à évaluer les avantages, les défis et les opportunités d'une telle intégration, ainsi qu'à proposer des recommandations pour une adoption plus large de cette technologie dans le secteur agricole algérien.

2. Objective :

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'intégration des installations photovoltaïques pour l'alimentation en électricité d'une ferme pilote en Algérie. Plus spécifiquement, dans le cadre de notre recherche, on va explorer plusieurs aspects importants :

- **Évaluation des besoins énergétiques** : Il est essentiel de comprendre les besoins en électricité de la ferme pilote choisie, y compris la consommation d'énergie pour l'éclairage, le chauffage, les équipements agricoles, l'irrigation, etc. Cette évaluation permettra de déterminer la taille et la capacité de l'installation photovoltaïque requise.
- **Analyse de faisabilité technique** : on doit étudier les caractéristiques du site, telles que l'ensoleillement, l'orientation et l'inclinaison optimale des panneaux solaires, afin de maximiser la production d'électricité ; utilisant des outils de simulation et de modélisation pour évaluer les performances du système.
- **Étude économique** : une analyse économique approfondie est nécessaire pour évaluer la viabilité financière de l'installation photovoltaïque. Cela inclure l'estimation des coûts d'investissement, les économies réalisées sur les factures d'électricité, les éventuelles subventions ou incitations fiscales disponibles, ainsi que le calcul du temps de retour sur investissement.
- **Intégration au réseau électrique** : Si la ferme pilote est connectée au réseau électrique, il est important de comprendre les réglementations et les exigences locales en matière d'intégration des systèmes photovoltaïques au réseau. Cela peut inclure des aspects tels que les contrats d'achat d'électricité, les conditions de raccordement et les normes de sécurité.
- **Évaluation environnementale** : On va également étudier les avantages environnementaux de l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque dans une ferme, tels que la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la préservation des ressources naturelles.

En menant cette étude, nous contribuons à la compréhension de l'intégration des installations photovoltaïques dans les exploitations agricoles en Algérie, et on pourra proposer des recommandations pour une adoption plus large de cette technologie durable.

3. Problématique :

La problématique principale de cette étude est de déterminer dans quelle mesure l'intégration des installations photovoltaïques peut répondre aux besoins en électricité d'une ferme pilote en Algérie, tout en prenant en compte les défis techniques, économiques, réglementaires et environnementaux qui pourraient influencer son adoption à plus grande échelle. La recherche abordera les questions suivantes :

- Quels sont les besoins énergétiques spécifiques de la ferme pilote et quelle est la capacité requise de l'installation photovoltaïque pour répondre à ces besoins ?
- Quels sont les défis techniques liés à l'intégration des installations photovoltaïques dans une ferme agricole en Algérie ?
- Comment maximiser la production d'énergie solaire dans des conditions spécifiques ?
- Quelle est la viabilité économique de l'installation photovoltaïque, en tenant compte des coûts d'investissement, des économies d'énergie et des incitations financières disponibles ?
- Quelles sont les réglementations et les conditions de raccordement au réseau électrique existant en Algérie ? Quelles sont les étapes nécessaires pour une intégration réussie ?
- Quels sont les avantages environnementaux de l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque dans une ferme pilote, et comment cela peut contribuer à une agriculture durable en Algérie ?

4. L'approche méthodologique :

Le premier chapitre de cette étude fournira une vue d'ensemble des fermes pilotes dans le monde, ainsi qu'en Algérie, en citant différents types de fermes pilotes et en donnant des exemples concrets.

Le deuxième chapitre se concentrera sur les énergies renouvelables en Algérie, en mettant l'accent sur les fermes pilotes alimentées par l'énergie photovoltaïque. Des exemples de telles installations seront présentés, mettant en évidence les avantages de l'utilisation de l'énergie solaire dans le secteur agricole.

Le troisième chapitre portera sur la définition et l'explication des logiciels PVsyst et HOMER. Leur fonctionnement, leurs capacités et leur importance dans l'évaluation des systèmes d'énergie renouvelable, en particulier les systèmes photovoltaïques, seront détaillés.

Le quatrième chapitre sera une étude comparative, où les données collectées et les résultats obtenus seront utilisés pour dimensionner les systèmes photovoltaïques et simuler différentes configurations à l'aide du logiciel HOMER et PVsyst . Cette étude permettra d'évaluer les aspects techniques et économiques des systèmes.

Le dernier chapitre consistera à appliquer les connaissances acquises tout au long de la recherche et des simulations effectuées. Les résultats et les conclusions tirés de l'étude comparative seront utilisés pour formuler des recommandations pratiques pour l'intégration des systèmes photovoltaïques dans la ferme pilote étudiée.

CHAPITRE I

Les fermes pilotes agricole en Algérie

I.1 Introduction

Le développement des fermes pilotes agricoles en Algérie représente une étape essentielle de la recherche de solutions durables pour le secteur agricole. L'objectif de ce chapitre est d'introduire le sujet des fermes pilotes agricoles en Algérie, en mettant en évidence leur importance et leur rôle dans le contexte actuel. Nous examinerons le contexte dans lequel ces fermes pilotes ont émergé, en mettant l'accent sur les défis auxquels est confronté le secteur agricole en Algérie, et les besoins croissants en alimentation et aussi en consommation énergétique dans ce secteur.

I.2 L'agriculture dans le monde

L'agriculture est l'un des secteurs les plus importants pour la plupart des pays ; Elle constitue la principale source alimentaire pour la population mondiale.

En 2016, 10 468 000 exploitations agricoles exploitant 173 339 000 hectares de surface agricole, avec une moyenne de 16,5 ha par exploitation. le nombre d'exploitations à la Roumanie: 3 422 000 soit 32,4 % du total, viennent ensuite la Pologne 1 411 000 (13,5 %), l'Italie 1 146 000 (10,9 %), l'Espagne 945 000 (9 %), la Grèce 685 000 (6,5 %) ; la France suit avec 4,4 %. L'Allemagne compte 276 000 exploitations et le Royaume-Uni 185000 [1].

I.2.1 Canada

Les fermes agricoles au Canada utilisent l'électricité pour alimenter différents aspects de leurs opérations, tels que l'éclairage des bâtiments, le chauffage, la ventilation, les systèmes d'irrigation, les équipements de réfrigération et de stockage, les systèmes de traite des animaux, les machines agricoles, etc. Les exigences en matière de consommation électrique peuvent varier considérablement d'une ferme à l'autre en fonction de ces facteurs.

Le secteur agricole est responsable d'environ 3 % de la consommation totale d'énergie au Canada et d'environ 2 % au Québec. Les sources d'énergie les plus consommées par le secteur agricole sont le carburant diesel (40 %), l'essence (25 %), l'électricité (17 %), le gaz naturel (11 %), le propane (3 %), les mazouts légers (2 %) et les autres sources d'énergie (2 %) qui regroupent les mazouts lourds et le kérosène. Ces statistiques officielles ne font aucune mention de la consommation de sources d'énergie renouvelable [2].

I.2.2 Suisse

La consommation électrique dans les fermes agricoles en Suisse peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la taille de l'exploitation, les types de cultures ou d'élevage, les installations et équipements utilisés, ainsi que les pratiques agricoles spécifiques à chaque région.

La consommation d'énergie totale de l'agriculture suisse, qu'il s'agisse d'énergie directe ou indirecte, se monte à 54 300 TJ [3]. L'énergie indirecte représente une part déterminante de la consommation énergétique totale de l'agriculture suisse avec 70% [4].

En 2012, la consommation de diesel des véhicules agricoles représente la plus grande part de la consommation totale d'énergie, elle atteint 5,5 GJ/ha (35 %), l'essence 5%, gaz/mazout (serres) 23%, gaz/mazout (étables) 9%, électricité 22%, énergies renouvelable 6% [4].

I.3 L'agriculture en Algérie

De nombreux facteurs doivent être pris en compte pour le développement du domaine agricole en Algérie, dont le plus important est le facteur énergétique et l'énergie électrique utilisée, que ce soit pour le dessalement de l'eau utilisée dans l'agriculture ou pour couvrir les besoins électriques de machine agricoles et de production.

L'agriculture est un facteur important dans l'économie de l'Algérie. Elle constitue la principale source alimentaire pour assurer la sécurité alimentaire de la population. Le secteur de l'agriculture englobe une superficie agricole totale égale à 42,46 millions d'hectares dont 8,42 millions d'hectares de surface agricole arables [5].

Selon le ministre de l'agriculture et du développement rural, le secteur de l'agriculture couvre 75 % des besoins nationaux et que le taux de croissance de la production agricole en 2017 était estimé à 31%. Le ministre a affirmé la détermination de l'état à encourager les projets de partenariat public-privé pour la modernisation du secteur agricole, l'augmentation du rendement et la diversification de la production, surtout de produits stratégiques, appelant à la généralisation des expériences réussies des fermes pilotes [6].

À en croire l'ancien ministre de l'Agriculture, Abdelhafid Hani, la production agricole représente 14,7% PIB, dans un secteur qui emploie « un quart de la population active » en Algérie.

Entre 2000 et 2005, l'évolution de la consommation électrique et les produits pétroliers, montre que la consommation du secteur agricole a augmenté de 8% en moyenne, soit 8% en gasoil et 5.5% en électricité.

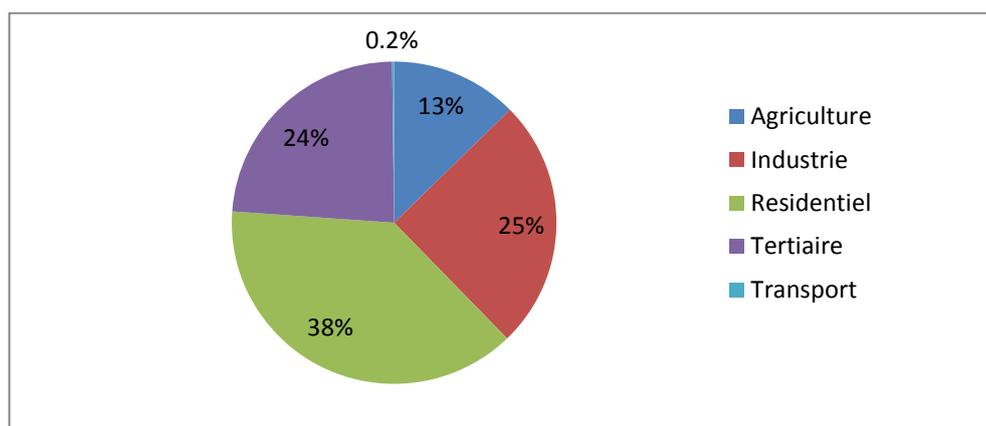


Figure I.1: Consommation énergétique finale par secteur d'activité en 2005[7].

En 2005, la consommation énergétique finale par secteur d'activité pour l'agriculture en échappe les secteurs de l'industrie, le transport, tertiaire, et le transport représente 12.65% de la consommation totale [7].

I.4. Les types des fermes agricoles

I.4.1. Fermes à grain

Les fermes céréalières cultivent des produits céréaliers : blé, avoine, lin, orge, maïs.....etc Généralement, les grandes exploitations de ce type pratiqueront la monoculture. Plusieurs étapes de la production de grains requièrent l'utilisation d'électricité concerne le fonctionnement de machineries et la plupart des équipements de ferme, tels que l'éclairage, le chauffage....etc.

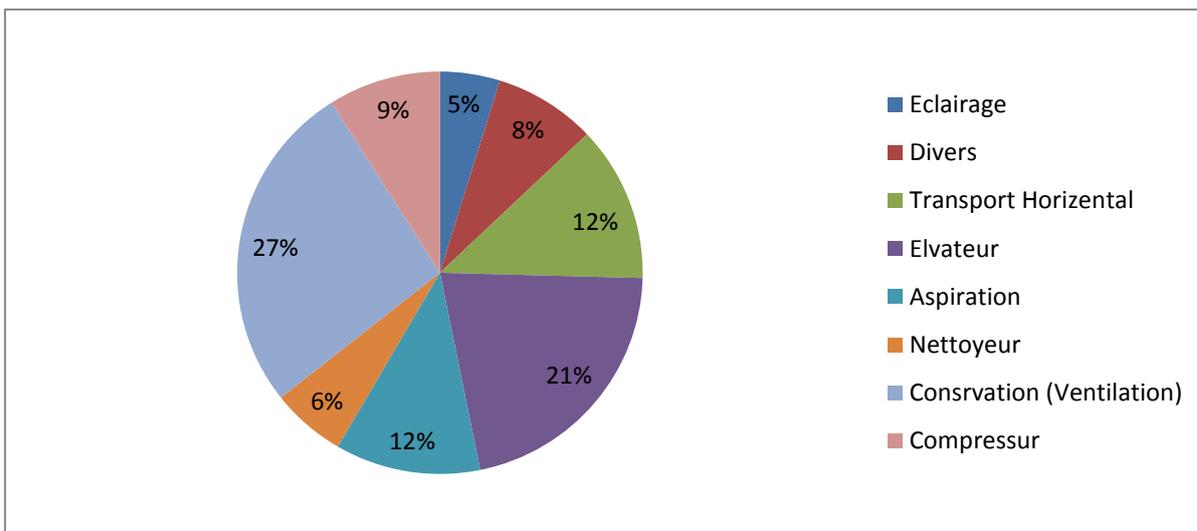


Figure I.2 : Répartition de la consommation électrique dans le cas d'un silo stockeur uniquement.

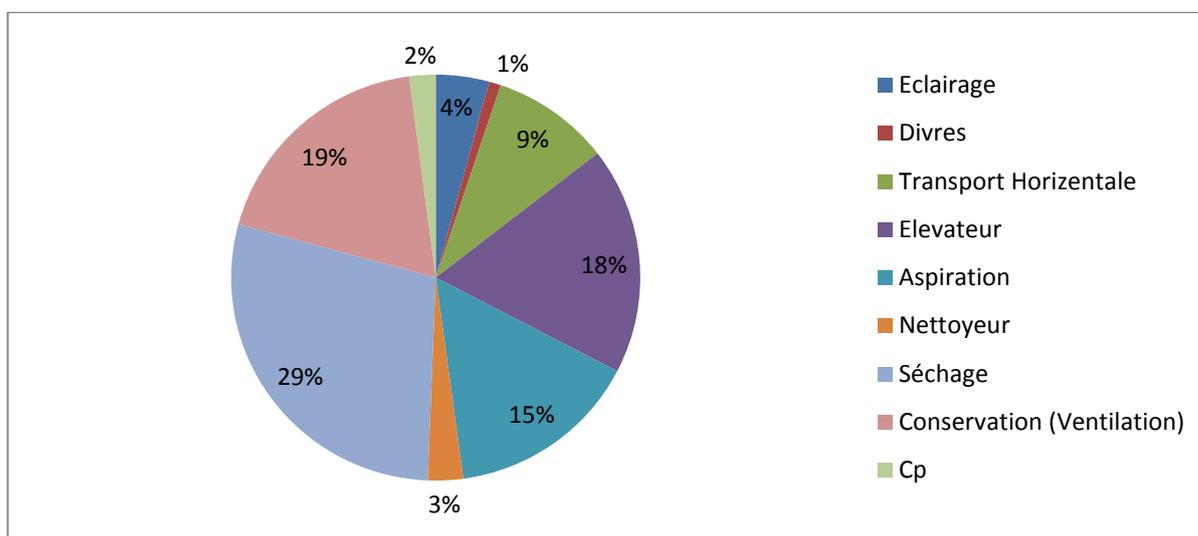


Figure I.3: Répartition de la consommation électrique dans le cas d'un silo stockeur et sécheur.

La consommation énergétique des silos à grains est estimée à 256 GWh/an. La répartition de cette consommation varie selon son type : dans les silos de stockage et de séchage, le séchoir consomme le pourcentage le plus important d'électricité (28,61%), mais dans les silos de stockage uniquement, la consommation la plus importante provient du côté ventilation (26.68%) [8].

I.4.2. Fermes d'élevage

Une ferme d'élevage comprend l'ensemble des activités : hébergement, alimentation et soins vétérinaires), qui assurent la croissance et la reproduction des animaux domestiques pour l'usage humains.

Les fermes d'élevage produisent non seulement la viande, mais cette catégorie inclut également les producteurs laitiers et les producteurs d'œufs. La consommation totale d'énergie dans les fermes laitières est de 884 kWh/VL/an, soit 128 Wh/l de lait. Les deux grands postes de consommation, bloc traite – bâtiment et pratiques d'élevage [9].

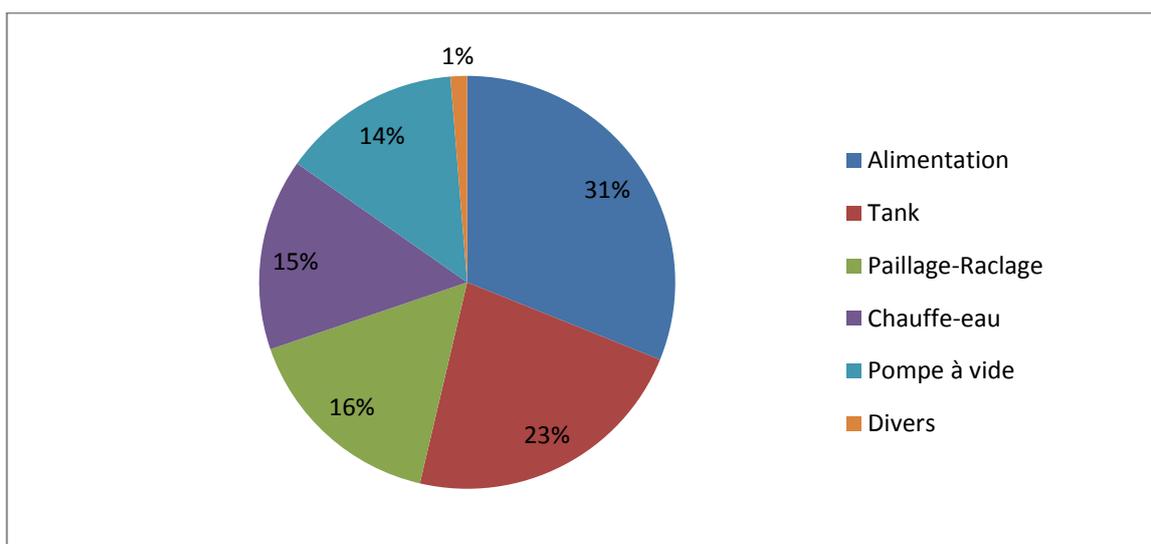


Figure I.4 : Répartition des consommations d'énergies globales la ferme d'élevage.

En production de viande 38 exploitations la consommation moyenne d'énergie pour produire 1000 kg de viande vive est de 756 EQF (Les résultats sont exprimés en EQF : une unité qui permet d'additionner les différentes énergies utilisées sur la ferme (kWh, fioul, gaz,...), mais avec une forte variabilité selon les systèmes de production [10].

I.4.3 Fermes horticoles

La branche de l'agriculture qui comprend la culture de légumes, de fleurs, de fruits, d'arbres et d'arbustes d'ornement, où les cultures sont prises en charge du début à la fin du cycle de production, que ce soit sous serre ou en plein air. En moyenne, la consommation d'énergie pour produire un hectare de cultures est de 345 EQF. Les engrais qui représentent ici l'ensemble des énergies indirectes, contribuent pour 55% à ce résultat et le Fuel à 43%. Le poste électricité est très faible (< 3%) [10].

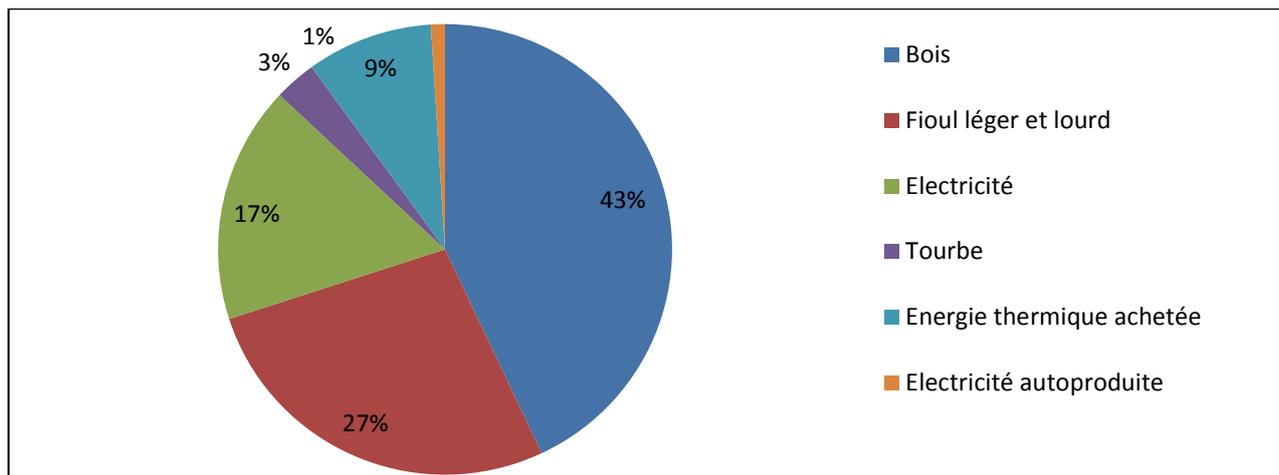


Figure 1.5 : L'énergie consommée dans l'agriculture et l'horticulture en 2020.

Environ 45% de l'énergie utilisée dans l'agriculture est une énergie renouvelable lorsque la quantité totale d'électricité consommée a été calculée pour les sources d'énergie renouvelables. En 2013 et 2016, la part des énergies renouvelables était également de 60 % et de 58 % en 2010 [11].

I.4.4 Ferme sylviculture

L'agroforesterie consiste à intégrer intentionnellement les arbres et les arbustes aux systèmes agricoles et d'élevage

En 2019, les secteurs de l'agriculture et de la sylviculture ont consommé 2,7 % de l'ensemble des produits pétroliers consommés d'après l'Agence internationale de l'énergie [12]. Ce type de ferme joue un rôle important dans la production durable de bioénergie et fournit de la biomasse pour la production d'électricité. Ces systèmes se caractérisent par de faibles coûts de production et une faible consommation d'énergie grâce à l'approvisionnement durable en matières premières bon marché.

Tableau 1.1 : Bilan énergétique du système agroforesterie [13].

	Direct energy input (GJ /ha)	Indirect energy input (GJ /ha)	Energy input (GJ /ha)	Energy output (GJ/ ha)
Agroforestry	2.9	1.9	4.8	61.6

I.4.5 Fermes aquacole

L'aquaculture est le secteur de la production animale avec la croissance la plus forte. Selon les projections de la FAO (2020) consiste à élever des animaux (coquillages, poissons, crustacés) ou à cultiver des végétaux (algues) dans l'eau douce et dans l'eau de mer, ou encore à les récolter sur l'éstran.

Les besoins énergétiques de l'aquaculture sont liés au carburant nécessaire pour récolter les matières premières, les transformer et distribuer les aliments manufacturés aux sites de production ainsi qu'au carburant et à l'électricité directement liés à la production.

En 2001, on estimait que les combustibles représentaient environ 21% des revenus des prises, tandis qu'en 2008, Ce ratio est réduit à environ 50%.la consommation de carburant varie considérablement selon le type de capture et le niveau d'effort [14]. L'énergie fourragère représente environ 80 % de l'énergie totale dans les systèmes intensifs, dont 15 à 25 % peuvent être associés à la récolte, à la production et à la distribution. Le pompage et l'aération sont tous deux identifiés comme les principaux ajouts de capacité non énergétique, l'aération des étangs, des réservoirs et des systèmes de recirculation étant probablement les intrants non alimentaires les plus importants.

I.5 Les fermes pilotes

Les fermes pilotes sont à la base des fermes agricoles caractérisées par une infrastructure et des ressources humaines développées. Elles sont spécialisées dans l'un des secteurs de production, expérimentations ou commercialisations.

Une ferme pilote agricole est une entreprise (unité de production) qui peut être spécialisé dans un ou plusieurs exploitations : élevage, céréaliculture, horticulture ... Pour produire des fruits, des céréales, de la viande ou des produits laitiers, selon le type d'exploitation.

Les fermes pilotes sont conçues pour fournir des informations pratiques et des données du monde réel sur la mise en œuvre et les résultats de diverses interventions agricoles. Ils peuvent se concentrer sur différents domaines tels que les méthodes agricoles durables, l'agriculture de précision, l'agriculture biologique, les nouvelles variétés de cultures, les systèmes d'irrigation ou les pratiques de gestion du bétail.

L'objectif principal d'une ferme pilote est de recueillir des preuves empiriques et d'évaluer les avantages potentiels, les défis et les limites des stratégies proposées. Les données recueillies auprès des fermes pilotes peuvent éclairer les processus décisionnels, orienter l'élaboration des politiques et soutenir l'adoption des meilleures pratiques en agriculture.

Les fermes pilotes sont souvent des initiatives collaboratives impliquant des agriculteurs, des chercheurs, des experts agricoles et des parties prenantes concernées. Les résultats et les enseignements tirés des fermes pilotes peuvent contribuer à l'avancement et à l'amélioration des pratiques agricoles, en promouvant des systèmes agricoles durables et efficaces.

I.5.1 Les types des fermes pilotes

Il peut y avoir différents types de fermes pilotes, selon les objectifs spécifiques, les domaines d'intervention et les pratiques agricoles testées. Voici quelques exemples de différents types de fermes pilotes :

a) *Ferme pilote d'agriculture durable*

Ce type de ferme pilote vise à tester et à promouvoir des pratiques agricoles durables telles que l'agriculture biologique, l'agroécologie, la permaculture ou l'agriculture régénérative. Il se concentre sur la réduction des intrants chimiques, l'amélioration de la santé des sols, la conservation des

ressources en eau et l'amélioration de la biodiversité tout en maintenant ou en améliorant les rendements des cultures.

b) *Ferme pilote d'agriculture de précision*

L'agriculture de précision consiste à utiliser la technologie et l'analyse de données pour optimiser les pratiques agricoles et la gestion des ressources. Une ferme pilote axée sur l'agriculture de précision pourrait tester et évaluer des technologies telles que la télédétection, les drones, le GPS et les capteurs de sol pour améliorer la surveillance des cultures, l'efficacité de l'irrigation, l'application d'engrais et la prévision des rendements.

c) *Ferme pilote AgTech*

Ce type de ferme pilote est spécifiquement dédié au test et à la mise en œuvre de technologies agricoles. Il peut s'agir d'évaluer de nouvelles machines agricoles, de la robotique, des systèmes d'automatisation, des capteurs intelligents visant à améliorer la productivité, l'efficacité et la gestion des ressources agricoles.

d) *Ferme pilote de gestion du bétail*

Les fermes pilotes axées sur le bétail se consacrent à tester des pratiques innovantes de gestion du bétail. Il peut s'agir de nouveaux systèmes de logement, de techniques d'alimentation, de méthodes d'élevage, de mesures de bien-être animal ou de stratégies de gestion durable du fumier.

e) *Ferme pilote de variétés de cultures et de tests génétiques*

Une telle ferme pilote se concentre sur l'évaluation et la sélection des meilleures variétés de cultures adaptées à des conditions, des climats ou des demandes du marché spécifiques. Il s'agit de tester et de comparer différents cultivars ou cultures génétiquement modifiées pour leurs performances, leur résistance aux maladies ou aux ravageurs, leur potentiel de rendement ou leur valeur nutritionnelle.

f) *Ferme pilote des systèmes agricoles intégrés*

Les systèmes agricoles intégrés impliquent la combinaison de différentes activités agricoles, telles que la culture, l'élevage, l'aquaculture et l'agroforesterie. Une ferme pilote de ce type teste et optimise l'intégration de divers composants pour atteindre l'équilibre écologique, l'efficacité des ressources et des sources de revenus diversifiées.

Ce ne sont là que quelques exemples, et les fermes pilotes peuvent être adaptés pour répondre à des questions de recherche, des technologies ou des pratiques agricoles spécifiques. Le choix du type de ferme pilote dépend des objectifs, des priorités et des intérêts des parties prenantes impliquées dans le projet agricole.

I.6 Des exemples des fermes pilotes

I.6.1 Les fermes-pilotes de la Salonga - Congo

Créé en 1970, vaste forêt de 36.000 km² au sud de l'Équateur. La création de ces fermes-pilotes était nécessaire pour qu'ils puissent avoir des conditions de vie décentes (matériel végétal de qualité, renforcement des capacités, accès aux marchés). Les fermes sont organisées, segmentées et chaque agriculteur choisit, selon les besoins du marché, ses cultures (manioc, riz, palmiers, maraîchage,

pisciculture...) qui seront gérées durablement avec rotation des plantations et engrais vert. Le projet est pour développer une nouvelle industrie (durable) pour faire évoluer l'économie de la région [15].

Au début, la création d'une série de 10 fermes pilotes dites - fermes modèles- ont été établies à Monkoto, Monsieur Benz Ekumba de la ferme Pilote de Air Congo (Monkoto) a déclaré : « Le travail de la ferme me prend tout mon temps qu'il m'est pratiquement impossible de penser à aller dans le parc pour m'y aventurer; grâce aux revenus de ma 'ferme modèle' mes enfants sont scolarisés, ma femme est en bonne santé, nous mangeons à notre faim, et vendons très bien nos différents produits. Donc notre vie est mieux qu'avant et nous allons bien [16]. L'expérience est une véritable réussite de ces projets de développement de l'agriculture compagne d'une nouvelle demande afin de promouvoir l'élevage et ainsi trouver des alternatives aux protéines animales.

En 1970 dans le cadre du PROFAP, six fermes dites pilotes sont gérées par un groupement à caractère familial, dont les membres investir dans le développement de leurs exploitations, mais aussi de leur territoire. Ces fermes se caractérisent par leurs infrastructures et leurs ressources humaines, et exercer au moins une activité qui leur est liée un potager à la ferme pilote de Mindouli [17].Le Projet est pour la production d'élevage avicole ou bovin, production céréalière et fabrication alimentation bétail et volaille [17].

I.6.2 Ferme laitière Oyster Bed Bridge, Prince Île-Édouard - Canada

Extondale Farms c'est un type d'exploitation laitière à petite échelle que l'on trouve dans toute la région du Canada atlantique. La Figure I.6 présente la répartition des consommations électriques par secteur dans la ferme laitière du Canada. Cette représentation graphique offre un aperçu détaillé de la manière dont l'électricité est utilisée dans les différentes activités de la ferme laitière, mettant en évidence les proportions relatives des secteurs clés tels que l'éclairage, les systèmes de refroidissement, les équipements de traite, le stockage des produits laitiers, et d'autres aspects essentiels de l'exploitation laitière. En analysant attentivement cette figure, nous pouvons observer les domaines de consommation les plus importants et les opportunités potentielles d'efficacité énergétique au sein de la ferme. Ces informations sont essentielles pour l'optimisation des pratiques agricoles durables et la gestion responsable de la consommation énergétique dans l'industrie laitière canadienne.

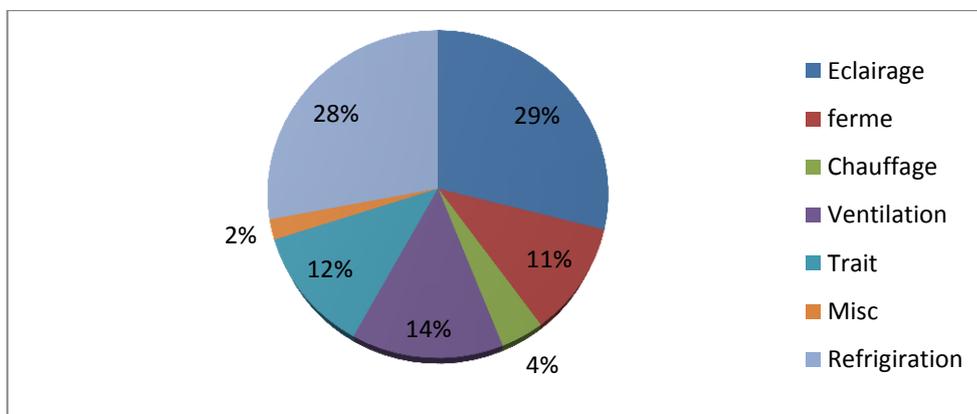


Figure I.6 : Répartition des consommations électriques par secteur.

Les solutions réalisées pour réduire le cout d'exploitation liée à l'énergie est donc réduire la consommation énergétique :

- L'amélioration d'éclairage en installant des fluorescents T8 et en prolongeant les heures d'éclairage actuelles de 16 à 18 h dans l'installation principale pour la conservation énergétique, augmentation de production et pour réduire le cout. Cette amélioration va aussi réduire la charge de ventilation (l'un des trois principaux consommateurs d'énergie).

- Un système de contrôle de l'éclairage avec des détecteurs de mouvement pour minimiser le gaspillage d'électricité.

- La réfrigération c'est un élément essentiel des opérations laitières. Un programme d'entretien des condenseurs et des ventilateurs serait adapté à ce cas. Le nettoyage et l'entretien réguliers de ces unités va améliorer la consommation d'énergie actuelle.

- La récupération de la chaleur avant l'entrée du lait dans le réservoir de refroidissement pour réduire les besoins de refroidissement (la chaleur récupérée peut être utilisé dans l'eau sanitaire

Tableau I.2 : Analyse de la rénovation d'éclairage éco-énergétique avec des tubes T8.

Remplacer les incandescents par des T8	Incandescence actuelle	T8 proposé
Nombre de lampes	30	30
Puissance	100	32
Heures d'ouverture	5840	5840
Consommation annuelle (kWh)	17520	5606
Economies d'énergie annuelles (kWh)	s.o .	11914
Cout de l'électricité	1857	59400
Economies annuelles sur les couts d'électricité	s.o.	1263

I.7 Les fermes pilotes en l'Algérie

Les fermes pilotes en Algérie ont une histoire riche et sont le fruit des efforts du gouvernement et des institutions de recherche pour moderniser l'agriculture du pays. Elles sont des lieux d'expérimentation, de démonstration et de diffusion de nouvelles technologies et pratiques agricoles visant à améliorer la productivité, la durabilité et la compétitivité du secteur agricole en Algérie [6]

Les fermes pilotes en Algérie sont des structures agricoles spécialement conçues pour la recherche, l'expérimentation et la démonstration de nouvelles méthodes et technologies agricoles. Elles ont été mises en place dans le cadre des efforts du gouvernement algérien pour moderniser et développer le secteur agricole du pays. [14]

L'histoire des fermes pilotes en Algérie remonte aux années 1960, lorsque le pays a entrepris des réformes agraires et a lancé des programmes de développement agricole visant à améliorer la

productivité, la diversification des cultures et la sécurité alimentaire. Ces programmes ont été soutenus par des institutions de recherche agricole, des universités et des organisations internationales, telles que la FAO[14]

Les fermes pilotes ont été créées dans différentes régions du pays, en mettant l'accent sur la diversité des écosystèmes et des pratiques agricoles. Elles ont été utilisées pour tester de nouvelles variétés de cultures, des systèmes d'irrigation améliorés, des techniques de gestion des sols et d'autres innovations agricoles. Les résultats obtenus dans ces fermes pilotes ont ensuite été diffusés aux agriculteurs, afin de promouvoir l'adoption de meilleures pratiques agricoles dans tout le pays.

Au fil des décennies, les fermes pilotes en Algérie ont évolué pour intégrer des technologies modernes telles que l'utilisation de l'énergie solaire, l'irrigation goutte-à-goutte, la conservation de l'eau, la gestion intégrée des parasites, et d'autres pratiques agricoles durables. Elles ont également joué un rôle important dans la formation et le renforcement des capacités des agriculteurs, en leur fournissant des connaissances et des compétences pratiques. [18]

16 janvier 1982 portant la création des fermes pilotes et fixant leur statut-type. Aux termes de ce texte, les fermes pilotes sont des établissements publics à caractère industriel et commercial dotés de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Elles remplissent leur mission conformément à un cahier de charges établi par l'administration. Elles sont gérées par un directeur nommé par arrêté du ministre de l'agriculture. Leurs bénéfices sont répartis entre leurs fonds propres (40%) et les fonds de répartitions travailleurs (60%) [18].

En 1990, le nombre des fermes pilotes en Algérie était de 162. Elles ont occupées une superficie totale estimée à 160 000 hectares de meilleures terres arables du territoire nationale. Dans le cadre de la restructuration des domaines autonomes de l'état pour développer la production agricole, garantir l'approvisionnement des agriculteurs en produits stratégiques et préserver le patrimoine génétique animal et végétal du pays. Vingt-huit ans plus tard, le bilan est mitigé. Certaines ont été transformées en EPE (entreprise publique économique) en 1998 alors qu'elles avaient continué à fonctionner comme des Eurl [19].

Parmi les projets algériens qui aident à la transition énergétique en Algérie figure un projet de ferme pilote lancé récemment dans le cadre du partenariat algéro-américain, Mohamed Tahar Ben Saada (2016) a annoncé que ce projet est très important pour le domaine de la production laitière.

En novembre 2015, six conventions ont été signées dans le domaine des projets agricoles pour l'avenir de l'Algérie dans le cadre du partenariat lié aux fermes pilotes, car ce partenariat permettra à l'Algérie l'autosuffisance et même l'exportation dans le champ de graines et de lait. Il a également été mentionné que ces projets des fermes pilotes dans le cadre du partenariat algéro-américain permettront une production près de trois fois supérieure à la production actuelle, et tout cela grâce à la technologie et aux techniques de pointe dans le domaine de l'agriculture et de l'élevage. Pour que l'Algérie se développe véritablement, ses terres et ses richesses doivent être exploitées du nord jusqu'à l'extrême sud de l'Algérie. L'intérêt de ce projet dépasse de loin le domaine agricole. La même démarche peut être envisagée dans d'autres secteurs de l'économie nationale. Au cours de la même année, le projet de la société Sonelgaz est lancé en partenariat avec la société américaine spécialisée dans les énergies renouvelables, First Solar, pour produire des panneaux solaires.

En janvier 2018, le Conseil des Participations de l'Etat (CPE) a autorisé l'ouverture du capital de 124 fermes pilotes (voir tableau de l'annexe), dont 43 sont placées sous le portefeuille du groupe AGROLOG, groupe public en charge des filières agroalimentaires et logistiques. 38 du Groupe GVAPRO qui a pour mission principale le suivi, le développement et la coordination des filières de production et de valorisation des produits agricoles. 19 de Giplait, producteurs de laits et produits laitiers et 33 de l'OAIC (qui est l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales) Dizaines d'entre elles sont inexploitées tandis que d'autres sont abandonnées, au départ, elles étaient des Epic [20]

Aujourd'hui, les fermes pilotes continuent d'être des centres d'innovation et d'expérimentation agricole en Algérie. Elles contribuent à l'amélioration de la productivité, de la durabilité et de la compétitivité du secteur agricole, tout en soutenant les objectifs de sécurité alimentaire et de développement rural du pays.

I.7.1 Classement des fermes pilotes en l'Algérie

a) Groupe Lait GIPLAIT

Le Groupe Lait Giplait est l'un des plus importants producteurs de laits et produits laitiers en Algérie avec une capacité de production de plus de 1,6 millions de litres/jour. Le groupe est composé de **19** fermes pilotes déverser en trois offices régionaux : Orelait (est), Orlac (centre) et Orolait (ouest), ce sont des fermes d'élevage et production de lait et produit laitier, avec une superficie globale de 13.904,45 hectares.

Ces trois offices ont été fusionnés en mai 1998 pour créer le Groupe Industriel des Productions Laitières GIPLAIT. Le groupe a rejoint le ministère de l'Agriculture et du développement rural en mars 2010 [21].

Tableau I.3: Répartition du groupe lait dans les régions d'Algérie [21].

RÉGION	Wilaya	Les fermes pilotes
CENTRE	BLIDA	Chebli
	MEDEA	Si Dhaoui Sis Ouamri
	TIZI OUZOU	Draa Ben khadda
OUEST	CHLEF	CheikhBelkhedim Sis Abou El Hassen
		Si Yahia Sis LabiodhMedjadja
		Si Barroudi Sis Boukadir
	TIARET	Haider Sis Mellakou
	SIDI BEL ABBES	Si Walid Sis Route Boukhenafis
EST	BATNA	Bekhoucha Sis Zana El Beida
		Benboulaid Sis OuedChaaba
	SETIF	Laghmara Sis AinArnat
		Chekhchoukh Sis BeniFouda
		CheikhLaifa Sis AinRoua
		Khababa Sis Mezloug
	GUELMA	Mekhancha Sis DjeballaKhemissi
		Felfouli Sis Oued El Maiz
		CONSTANTINE
	SOUK AHRAS	Boumaaraf Sis Taoura

b) Agro-Logistique AGROLOG

Une organisation structurée en filière, De l'agriculture à la production ; le groupe « AGROLOG » spécialisé dans l'agroalimentaire, est constitué d'un portefeuille d'entreprises activant dans les segments de filières de l'aviculture, la production des viandes rouges, la logistique agricole, l'entreposage frigorifique, la transformation et le conditionnement des produits agricoles ainsi que l'agrèage et le contrôle technique que sont les suivants : [22]

- ONAB : Office National des Aliments du Bétail « 17 fermes pilotes –EPE »
- FRIGOMEDIT : Plateforme logistique de froid « 11 fermes pilotes-EPE »
- ALVIAR : Algérienne des viandes rouges « 15 fermes pilotes »
- ENACT : Environnemental consultant dans l'Algérie (Agrèage et contrôle)

c) Groupe GVAPRO

Le Groupe GVAPRO est pour le suivi, le développement et la coordination des filières de production et de valorisation des produits agricoles, qui disposait d'un portefeuille de 161 fermes pilotes dont 87 ont été rattachées aux différents groupes en entreprises relevant du MADRP et 74 fermes pilotes ont été maintenues dans son portefeuille en 21 mai 2016. C'est 74 fermes agricoles (06 filiales) sont : [23]

- Société Agriculture et Aménagement spa (AGRAL/AM) " 17 Fermes Pilotes"
- Société de Transformation des produits Viticoles (SOTRAVIT) "16 fermes"
- Société Agro Développement spa (SAGRODEV) "08 fermes"
- Société Arboricole spa (SARBO)" 25 fermes agricoles "
- Société Sud Dattes Campagne spa (SUDACO) «04 fermes"
- Société Oléicole d'Algérie Spa (SOA) "04 fermes"

22 mars 2023, le ministre de l'agriculture et du développement rural a présenté, une communication portant diagnostic et perspective de développement des fermes pilotes. A ce titre, il a été passé en revue "le potentiel productif de ces fermes pilotes, le modèle de leur organisation, ainsi que les résultats réalisés en rapport avec les objectifs qui leur étaient assignés", est-il expliqué dans le document. Un intérêt particulier a été accordé aux volets relatifs à l'évaluation de la relance de l'investissement dans le cadre du partenariat, notamment avec les entreprises et les établissements publics du secteur de l'agriculture avec la définition d'objectifs clairs et mesurables et la fixation d'échéanciers de mise en œuvre. L'accent a été également mis sur la nécessité d'orienter l'activité de ces fermes dans une perspective qui tend à mettre en place progressivement des exploitations agricoles de référence qui contribuent de manière tangible au renforcement des bases de la sécurité alimentaire nationale. La nouvelle approche retenue consiste à mettre les fermes pilotes sur la voie de l'innovation et de la performance leur permettant de jouer un rôle plus marqué dans la réalisation des plans de

production du secteur de l'agriculture. Ces objectifs sont déclinés à travers une feuille de route précise. [24].

I.8 Conclusion

Les besoins énergétiques jouent un rôle essentiel pour assurer le bon fonctionnement des activités agricoles. Ces besoins comprennent l'éclairage, le fonctionnement des équipements agricoles tels que les pompes, les systèmes de climatisation et de ventilation, ainsi que le stockage et la conservation des produits agricoles. L'intégration des énergies renouvelables dans ce secteur revêt une importance primordiale. Les énergies renouvelables, telles que l'énergie solaire, éolienne et biomasse, offrent des solutions durables pour répondre aux besoins énergétiques des fermes pilotes. L'intégration des énergies renouvelables dans les fermes pilotes en Algérie est d'une importance capitale pour répondre aux besoins énergétiques tout en préservant l'environnement. Cela permet de créer un modèle agricole durable et résilient, favorisant ainsi le développement agricole et le secteur des énergies renouvelables dans le pays ; et donc assurée la sécurité alimentaire et énergétique en Algérie.

CHAPITRE II

L'énergie photovoltaïque dans les fermes pilotes en Algérie

II.1 Introduction

L'énergie solaire, éolienne et biomasse, offrent des solutions durables pour répondre aux besoins énergétiques des fermes pilotes agricoles. L'intégration des énergies renouvelables dans le secteur agricole présente plusieurs avantages, elle réduit la dépendance aux combustibles fossiles, ce qui contribue à la préservation de l'environnement en limitant les émissions de gaz à effet de serre. Et, elle offre une solution économique à long terme, réduisant les coûts énergétiques et offrant une plus grande indépendance énergétique aux fermes.

Dans ce chapitre, nous examinerons le potentiel et la situation des énergies renouvelables en Algérie, en mettant l'accent sur l'énergie solaire et les systèmes photovoltaïques. Nous mettrons en évidence l'utilisation des systèmes photovoltaïques dans les fermes pilotes en Algérie, en fournissant des exemples concrets des fermes pilotes alimentées par ces systèmes PV.

II.2 Situation des énergies renouvelables en Algérie

L'Algérie considère le potentiel national en énergies renouvelables, principalement le solaire, comme une opportunité majeure pour stimuler le développement économique et social du pays. Elle voit dans cette source d'énergie renouvelable un levier essentiel pour la création de richesse et d'emplois, notamment par le biais de l'implantation d'industries spécialisées.

En reconnaissant le rôle crucial du solaire dans le mix énergétique algérien, le pays s'engage à exploiter pleinement cette ressource abondante pour diversifier son économie et réduire sa dépendance aux combustibles fossiles. L'Algérie vise à développer des infrastructures solaires et à favoriser l'investissement dans des projets d'énergie solaire à grande échelle, tout en promouvant la recherche et le développement de technologies solaires avancées.

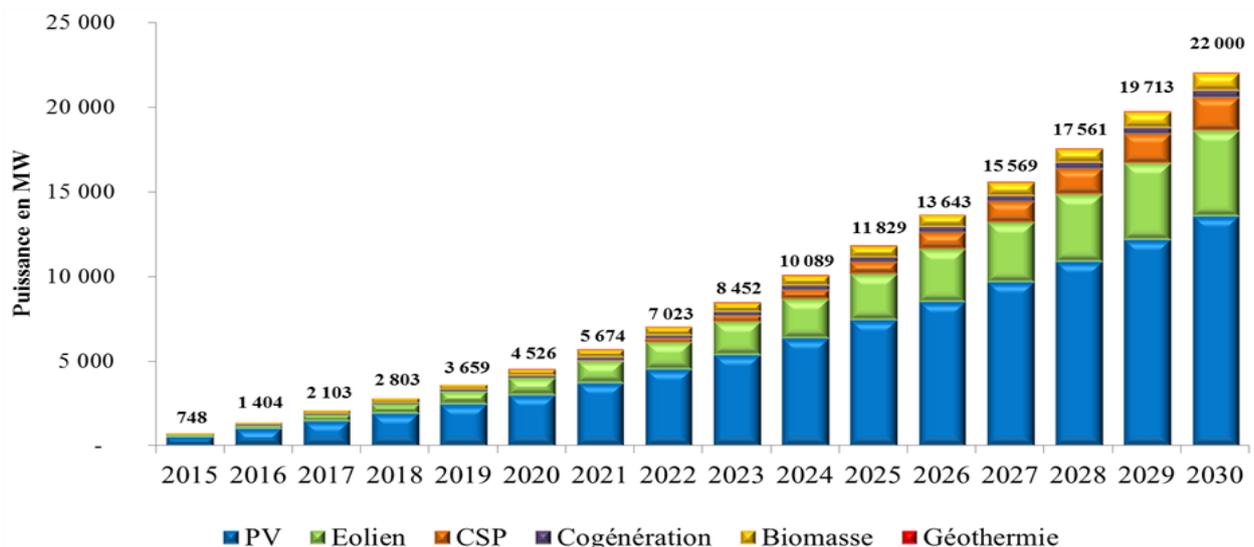


Figure II.1 : Le programme en énergie renouvelables à réaliser sur la période (2015-2030)[26].

L'énergie photovoltaïque est la principale source d'énergie renouvelable en Algérie, selon le programme présenté dans la figure II.1.

II.3 Les systèmes photovoltaïques dans les fermes pilotes

Les systèmes photovoltaïques dans les fermes agricoles offrent une solution durable et rentable pour la production d'énergie. Ils permettent de réduire la dépendance aux combustibles fossiles, de réduire les coûts énergétiques et d'améliorer l'efficacité des opérations agricoles. Ces systèmes contribuent ainsi à la transition vers une agriculture plus durable et à la réduction de l'impact environnemental.



Figure II.2 : Système photovoltaïque appliquée dans une ferme.

Les systèmes photovoltaïques dans les fermes agricoles peuvent être utilisés pour alimenter différents équipements et processus. Par exemple, ils peuvent alimenter les pompes d'irrigation, les systèmes de climatisation, les systèmes de refroidissement, l'éclairage des bâtiments et même la charge des véhicules électriques utilisés sur la ferme. Cela permet de réduire les coûts énergétiques, d'améliorer l'efficacité des opérations agricoles et de réduire l'empreinte environnementale.

De plus, les systèmes photovoltaïques peuvent être combinés avec d'autres technologies agricoles pour maximiser les avantages. Par exemple, ils peuvent être intégrés à des serres agricoles pour fournir à la fois de l'énergie et un environnement contrôlé pour la culture des plantes. Ils peuvent également être utilisés en combinaison avec des systèmes de stockage d'énergie ou utiliser des systèmes hybride ou des systèmes connecté au réseau pour assurer une alimentation électrique continue, même pendant les périodes de faible ensoleillement.

II.3 1: Le système photovoltaïque hybride

Les systèmes photovoltaïques hybrides offrent une solution efficace pour intégrer plusieurs sources d'énergie et maximiser leur utilisation. La gestion intelligente de ces systèmes permet d'optimiser la production d'énergie et d'améliorer l'efficacité globale du système énergétique.

Les systèmes photovoltaïques hybrides combinent des générateurs photovoltaïques avec d'autres sources d'énergie telles que l'éolien, les groupes électrogènes, les systèmes hydroélectriques, voire le réseau électrique public. Un système de batteries est généralement utilisé pour stocker l'énergie, ce qui permet de maximiser l'utilisation des sources d'énergie variables telles que le solaire et l'éolien. L'un des principaux défis de ces systèmes réside dans l'équilibrage des différentes sources d'énergie afin de

les optimiser toutes, en prenant en compte les sources thermiques (comme le diesel, le gaz) et le réseau public comme solution de secours en dernier recours. De nos jours, les systèmes à grande échelle intègrent une gestion avancée des systèmes photovoltaïques, souvent appelée "smart-grid", où une régulation intelligente et coordonnée assure l'optimisation des différentes sources d'énergie.



Figure II.3 : Système solaire hybride.

II.3.2 Le Système PV Connecté au réseau

Un système d'alimentation photovoltaïque raccordé au réseau est un système de production d'énergie photovoltaïque solaire qui est connecté au réseau de distribution. Une installation photovoltaïque connectée au réseau se compose de générateur photovoltaïque, d'un ou plusieurs onduleurs, des compteurs d'une unité de conditionnement de l'alimentation et d'un équipement de raccordement au réseau. Ils vont des petits systèmes de toit résidentiels et commerciaux aux grandes centrales solaires à grande échelle. Contrairement aux systèmes d'alimentation autonomes, un système connecté au réseau inclut rarement une solution de batterie intégrée, car ils restent très coûteux. Lorsque les conditions le permettent, le système PV raccordé au réseau fournit la puissance excédentaire, au-delà de la consommation de la charge connectée, au réseau de distribution.

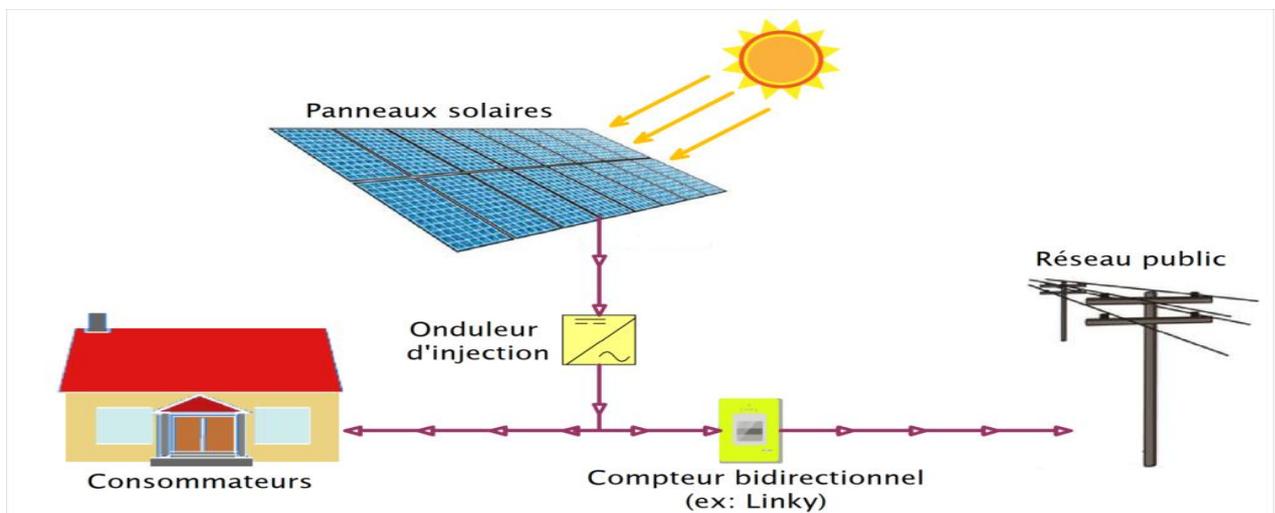


Figure II.4 : Schématisation D'un Système PV Connecté au réseau.

a) Systèmes PV raccordés au réseau avec injection totale

Ils peuvent être conçus sans ou avec stockage :

Pour l’injection totale sans stockage, le principe de fonctionnement de ces systèmes est le suivant Figure II.5 Un générateur photovoltaïque transforme directement le rayonnement solaire en électricité. Le courant continu produit par les modules photovoltaïques est transformé, via un onduleur PV, en courant alternatif compatible avec les caractéristiques électriques du réseau public de distribution. L’énergie produite est intégralement injectée sur le réseau public de distribution afin d’être valorisée dans les meilleures conditions économiques pour le producteur. En cas de défaillance du réseau électrique (perte de tension ou tension et fréquence hors tolérance), l’onduleur PV s’arrête de fonctionner.

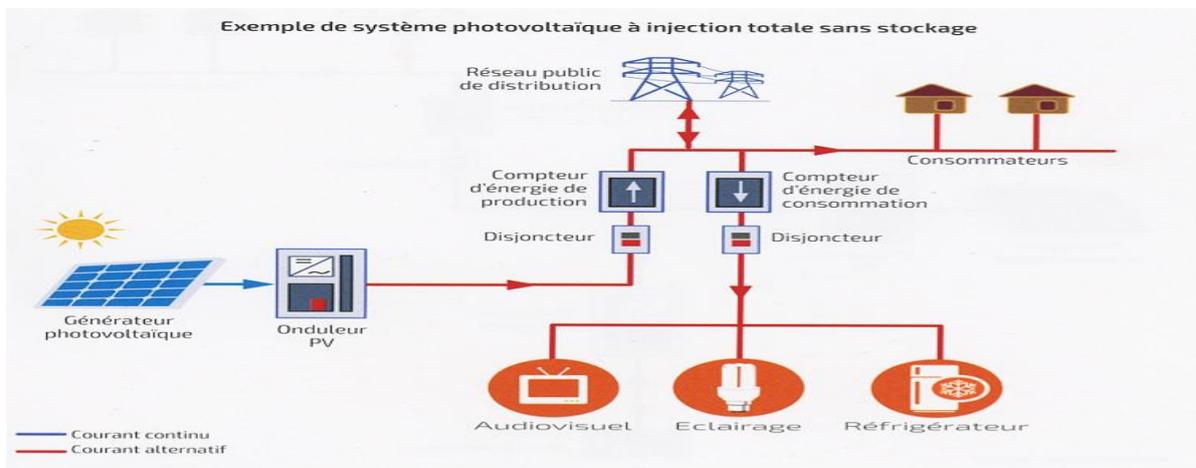


Figure II.5 : Exemple de système PV à injection totale sans stockage.

Pour l’injection totale avec stockage, le principe de fonctionnement est le même que précédemment mais un stockage d’énergie par accumulateurs est intégré à la centrale de production (Figure II.8). Toutefois, pour des raisons économiques, le stockage est très limité et a pour but de lisser la production et/ou de restituer l’énergie en fin de journée pour faire face à un pic de consommation sur le réseau électrique.

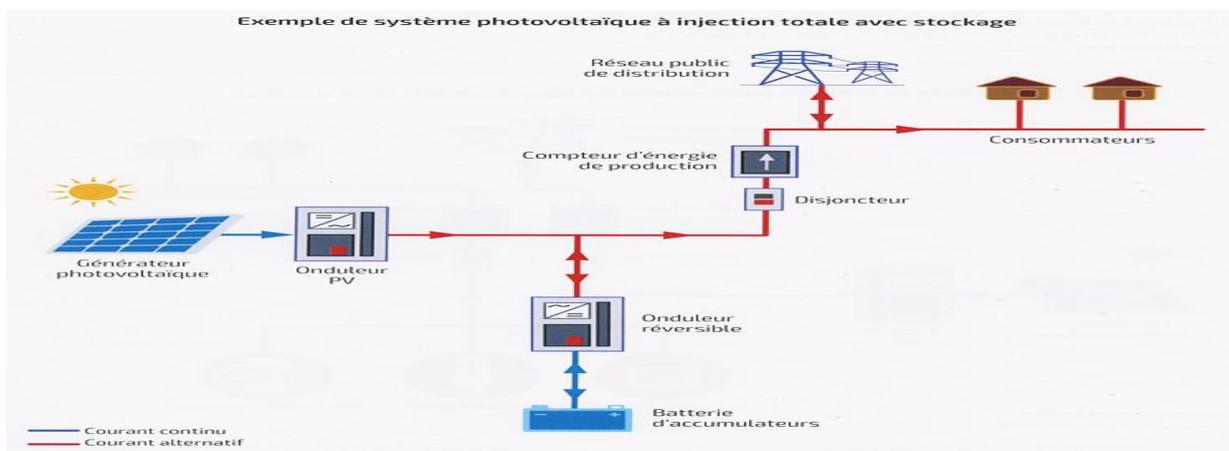


Figure II.6 : Exemple de système PV à injection totale avec stockage.

b) Systèmes PV raccordés au réseau avec autoconsommation :

En autoconsommation, deux configurations sont possibles : autoconsommation sans stockage et Autoconsommation avec stockage.

Le système photovoltaïque d'autoconsommation sans stockage fonctionne comme le précédent mais il est connecté directement sur l'installation électrique intérieure du site (Figure II.7). L'électricité solaire est autoconsommée par les récepteurs en service. L'excédent éventuel d'électricité solaire produit est injecté dans le réseau public de distribution. En cas de défaillance du réseau électrique (perte de tension ou tension et fréquence hors tolérance), l'onduleur photovoltaïque s'arrête de fonctionner et les récepteurs ne sont plus alimentés.

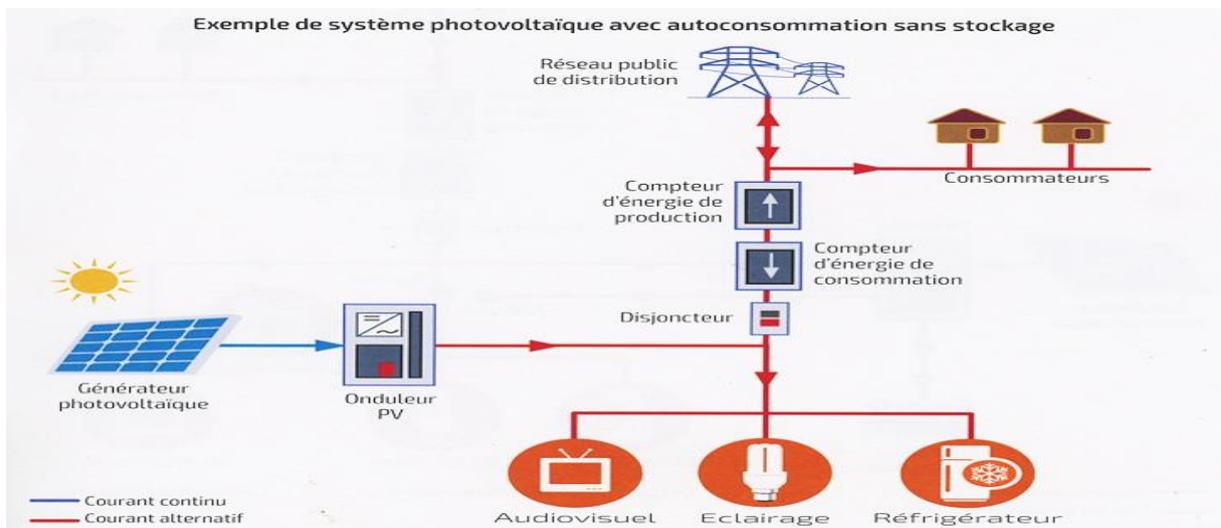


Figure II.7 : Exemple de système PV autoconsommation sans stockage.

L'intérêt d'un tel système est le suivant :

- Pour le producteur/consommateur : réduction de sa facture d'électricité (surtout si le prix du kWh acheté au réseau est supérieur au coût de l'énergie photovoltaïque produite) et valorisation éventuelle du surplus d'énergie produite, si un tarif d'achat est institué ;
- Pour le gestionnaire de réseau : réduction de la fourniture d'électricité (tout ce qui est fourni localement n'est pas à produire par les autres sources généralement d'origine fossiles).

Pour l'autoconsommation avec stockage le principe est le même que précédemment, mais un stockage d'énergie par accumulateurs est intégré au système, ce qui permet de stocker l'énergie produite par le générateur photovoltaïque en journée et de la restituer le soir pour la consommation locale (Figure III.8). Cependant, pour des raisons économiques, le stockage est limité à quelques heures de fonctionnement et ne permet pas de s'affranchir totalement du réseau électrique.

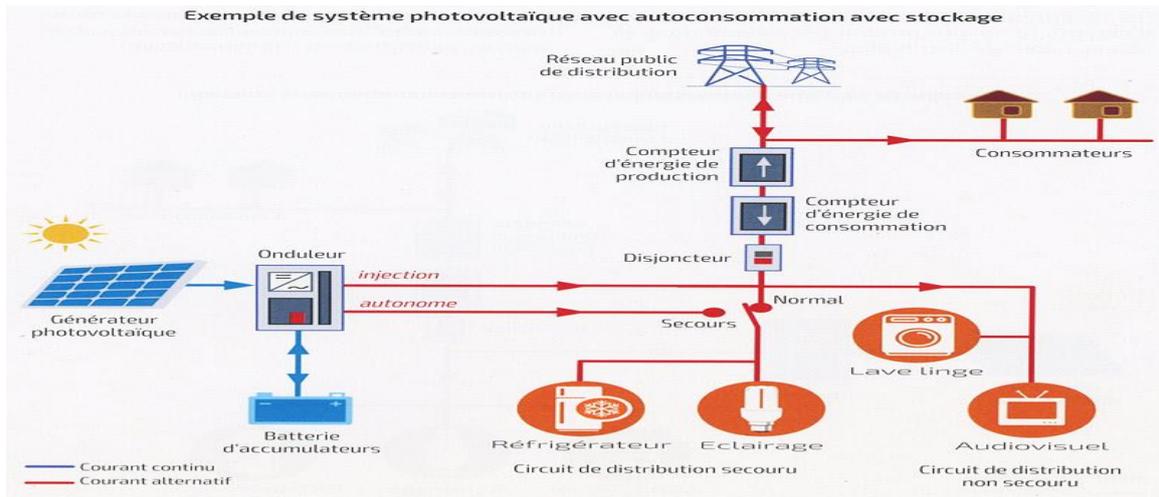


Figure II.8 : Exemple de système PV avec autoconsommation avec stockage.

L'intérêt d'un tel système est identique au précédent, mais avec un taux d'autoconsommation supérieur. De plus, en cas de défaillance réseau, cette configuration donne souvent la possibilité d'alimenter d'une manière autonome les récepteurs prioritaires pendant quelques heures, et assure ainsi une fonction de secours. Toutefois, ce système présente l'inconvénient d'un stockage électrochimique entraînant un coût d'investissement, d'entretien, de renouvellement, de recyclage, entre autres.

Plusieurs paramètres sont nécessaires pour construire un système PV connecté au réseau afin de réaliser le dimensionnement et la configuration de système de production et de conversion d'énergie, ce système se divise en trois parties :

- Partie photovoltaïque (panneau)
- Système (convertisseur continu/ alternatif, onduleur)
- Réseau électrique.

II.4 Les fermes pilotes alimentées en énergie photovoltaïque

II.4.1 Ferme laitière de Ghardaïa-Algérie [27]

Ghardaïa couvre une superficie de 590 km² avec une altitude moyenne de 570m. Cette région est considérée comme un bassin laitier qui fournit du lait et des produits laitiers à plus de 90 mille habitants. Le troupeau laitier de Ghardaïa compte dans son ensemble près de 1500 vaches, principalement de races laitières modernes avec environ 13 têtes dans une ferme moyenne. La ferme étudiée est une ferme moyenne de 20 vaches laitières avec une consommation annuelle totale d'énergie électrique de 6,716 kWh et une demande de pointe d'environ 7,7 kW ; Les données de rayonnement solaire pour l'emplacement étudié (32°30'N de latitude et 3°38'E de longitude)

Le profil de charge pour la consommation électrique mesurée des équipements agricoles et de l'observation des pratiques d'élevage des agriculteurs :

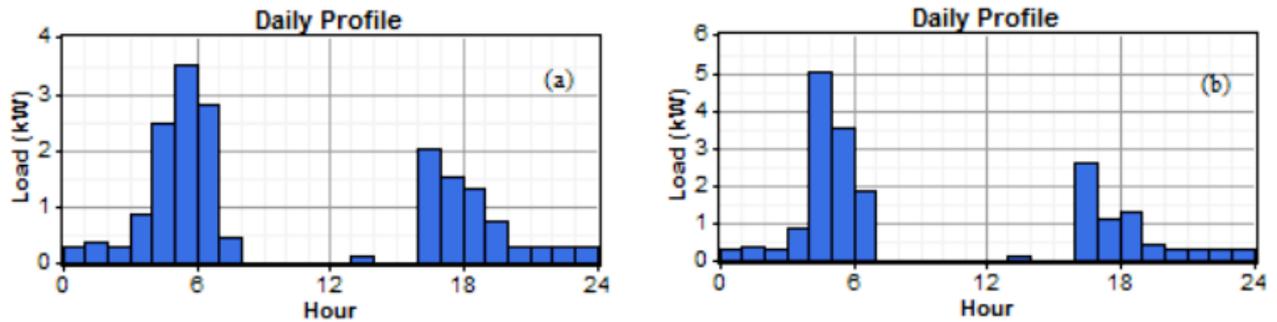


Figure II.9 : Profil de charge de l'élevage bovin : (a) saison hiver/automne, (b) saison été/printemps.

Le système utilisée est un système hybride photovoltaïque/éolien connecté au réseau, avec les composants principaux tels que les modules photovoltaïques, les éoliennes, le réseau et le convertisseur. Le système hybride est modélisé par HOMER.

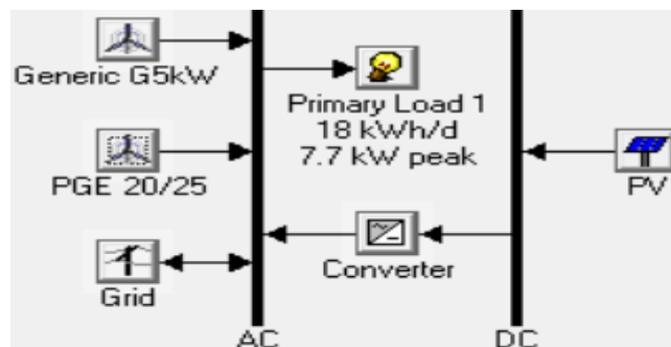


Figure II.10 : Modèle de système hybride photovoltaïque/éolien connecté au réseau.

- **Le module photovoltaïque utilisé dans l'étude :** ALPV230 de la société photovoltaïque algérienne (ALPV). La puissance nominale du module est de 230 Wc avec un rendement de 13,9 %. Le coût en capital initial était de 500 \$ avec un coût d'exploitation et d'entretien (O&M) de 20\$/an. La durée de la vie active a été fixée à 25 ans. Cette période est considérée comme la durée de vie totale du projet.
- **Éolienne utilisée :** Deux modèles d'éoliennes ont été sélectionnés pour la simulation. Le PGE25 fabriqué par PGE Energy of Canada et l'éolienne générique G5. Les courbes de puissance des deux éoliennes montrent une faible vitesse de vent de démarrage de 3,5 m/s. Leur capacité nominale est respectivement de 25 kW AC et 5 kW AC.
- **L'onduleur :** Le rendement de l'onduleur est supposé être de 90 %. Son coût d'achat initial est supposé être de 700 \$ par kW tandis que son coût de remplacement est supposé être de 500 \$.

Au moyen du logiciel de simulation HOMER, il a été démontré que l'hybride réseau/PV/éolien (86 modules PV et 2 éoliennes PGE25) est la solution économiquement optimale. La valeur ajoutée de cette étude montre les impacts technico-économiques et environnementaux de l'utilisation de systèmes hybrides connectés au réseau, selon le degré d'intégration, pour aider les investisseurs à choisir le meilleur système pour leur exploitation.

II.4.2 Les fermes laitières de l'Institut Technique de l'Elevage ITELV (Algérie) [28]

Des analyses détaillées de la consommation d'électricité à la ferme sont effectuées dans sept fermes laitières régionales pilotes : Les fermes expérimentales choisies pour l'étude de cas sont les fermes de l'Institut Technique de l'Elevage (ITELV). L'ITELV est un établissement public de recherche technique et scientifique agricole organisé en 12 fermes expérimentales.

Tableau II.1 : Taille du cheptel des élevages dans les régions algériennes étudiées.

Region	Latitude (°)	Longitude (°)	Modern dairy cow (head)	Average farm size (head)
Mitidja	36.40 N	2.80 E	13,481	26
Annaba	36.83 N	7.80 E	1180	16
Sétif	36.18 N	5.25 E	11,376	10
Chlef	36.20 N	1.33 E	4564	14
Tiaret	35.35 N	1.47 E	2027	17
Tizi-Ouzou	36.71 N	4.05 E	5997	15
Ghardaia	32.60 N	3.70 E	1267	13



Figure II.11 : Répartition des exploitations ITELV dans la région nord algérienne.

Avec une méthodologie peut être décrite comme une succession de trois étapes fondamentales :

- Typologie des exploitations familiales algériennes sur la base de statistiques officielles, d'études antérieures et d'enquêtes de terrain sur les caractéristiques des exploitations agricoles régionales
- Estimation du potentiel d'énergie solaire et collecte d'informations sur les technologies disponibles de modules photovoltaïques et d'onduleurs, leurs prix moyens sur le marché algérien, les prix de l'électricité et le tarif de rachat
- Dimensionnement du système photovoltaïque connecté au réseau optimal pour les fermes laitières dans les régions étudiées.

La ferme expérimentale est sélectionnée selon les critères suivants :

- La ferme doit avoir un équipement agricole similaire avec les fermes environnantes.
- la disponibilité des données énergétiques de la ferme.
- La ferme expérimentale doit avoir une forte influence sur les fermes environnantes afin de diffuser les résultats obtenus.

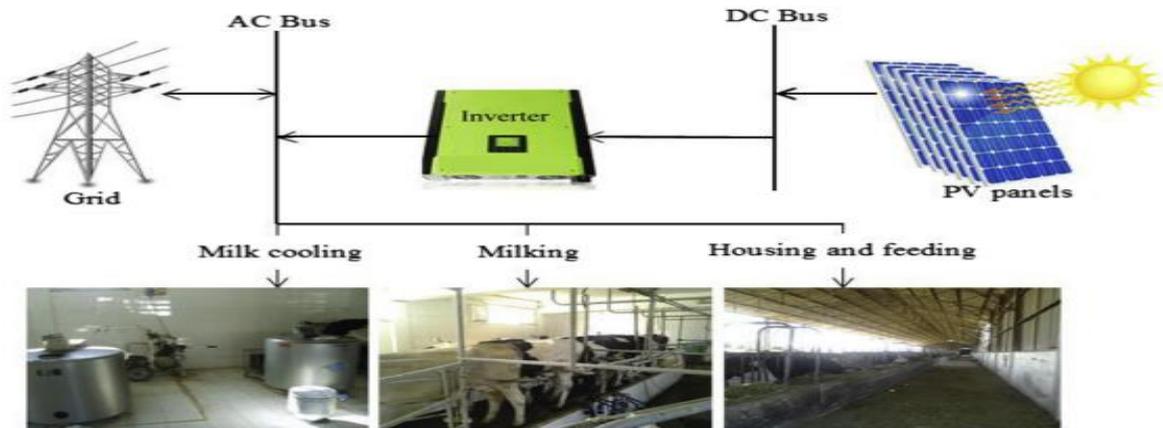


Figure II.12 : Schéma de référence pour le système photovoltaïque connecté au réseau de la ferme.

- Dans la simulation, le bilan électrique de la ferme est assuré par le système photovoltaïque connecté au réseau d'une capacité de 6,24 kWc, la totalité de la quantité d'électricité achetée est injectée dans le réseau. La production d'électricité du PV de 6,24 kWp atteint 8,6 MWh par an avec une part d'énergie de 57 % de l'électricité totale du système,
- Après l'analyse de la faisabilité des systèmes photovoltaïques connectés au réseau dans les fermes laitières du nord de l'Algérie. La consommation d'électricité à la ferme se situe entre 330 kWh/vache/an et 560 kWh/vache/an selon la taille et la localisation de l'exploitation. en conclue que les systèmes d'énergie photovoltaïque connectés au réseau sont réalisables pour toutes les fermes de la région algérienne.
- Le système optimal connecté au réseau répond aux besoins énergétiques de la ferme et injecte dans le réseau plus que l'électricité habituellement achetée.
- Les effets de la variation des paramètres tels que l'irradiation solaire, la température ambiante, la taille du troupeau de la ferme et les prix des composants sur le système optimal conçu sont représentés.

II.4.3 La ferme laitière de Tlemcen (Algérie) [29]

La ferme laitière étudiée est située dans la région de SEBDOU, au sud de Tlemcen, au nord-ouest de l'Algérie (34°380 N, 1°200 O), voir Figure suivante. En 2013, le Bureau de l'Agriculture de Tlemcen a estimé qu'il y avait 57 fermes laitières dans la région sud de Tlemcen. Selon Bensaoula, la disponibilité en eau souterraine à faible profondeur de 30 mètres, facile à exploiter, facilite le développement de l'agriculture à grande échelle Il est à noter que l'irradiation solaire dans cette région est de 1970 kWh/m²/an, voir Figure II.13 :



Figure II.13 : Localisation de ferme.

Afin d'optimiser la consommation d'électricité de la ferme sans réduire la production de lait, deux points principaux ont été mis en avant : l'éclairage artificiel et le pompage de l'eau. Tout d'abord pour le pompage d'eau, le choix de la pompe appropriée est relatif au débit d'eau souhaité et à la hauteur manométrique totale. Le niveau d'éclairage (PV entre 150 et 250 lx) est fortement recommandé il permet une augmentation de 8% à 10% du rendement laitier.

Dans l'étude de cas, le système PV connecté au réseau est utilisé sans batterie. Le type de motopompe, le nombre de lampes, le générateur photovoltaïque et le coût d'investissement sont déterminés par un algorithme développé.

La consommation électrique de cette ferme est obtenue directement du compteur électrique chaque heure. Il existe deux profils de demande de puissance :

En décembre (période sans irrigation), la puissance maximale appelée est d'environ 10 kW pendant une heure à 11 h. En juin (période d'irrigation). La demande de puissance maximale est d'environ 10 kW pendant 11 h (Pompage). la consommation quotidienne moyenne d'électricité de la ferme sélectionnée en période d'irrigation est de 123 kWh/jour (la moyenne journalière d'électricité demandée est de 116 kWh/jour) et de 38 kWh/jour en non-irrigation (la moyenne journalière d'électricité demandée est de 34 kWh/jour).

Après l'optimisation :

- Les pics de la puissance demandée à 4 kW entre 04 h et 06 h dus à l'éclairage dans les bâtiments vaches et à la traite, et entre 09 h et 15 h est à 17,5 kW principalement dû au pompage.
- La demande de puissance est augmentée de 10 à 17,5 kW, en raison du changement de puissance de la pompe de 7,5 à 14 kW.
- La consommation d'énergie quotidienne est augmentée de 126 à 136 kWh/jour.
- Un module photovoltaïque ALPV230-156P-60 est utilisé avec une puissance photovoltaïque maximale (PMPV) de 43 kWc, fournir environ 04 à 19 h en juin.

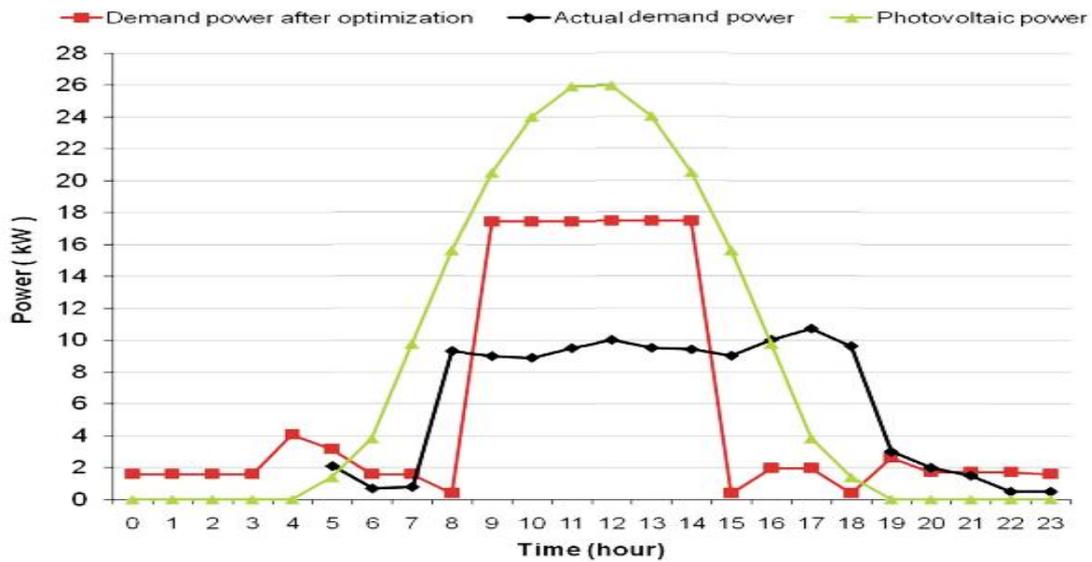


Figure II.14 : Puissance électrique quotidienne produite et demandée en juin.

Donc le système PV peut couvrir entièrement la consommation d'électricité de la ferme laitière en utilisant le réseau électrique comme élément de stockage à fournir pendant les périodes sans énergie solaire. La ferme laitière a un bénéfice énergétique de 39,4 MWh/an ; où sa consommation d'énergie du réseau passe de 29,8 à 9,6 MWh/an. Enfin, tout au long du cycle de vie du système PV, la ferme laitière passe d'un consommateur d'électricité avec un coût de 27 017 € à un producteur d'électricité avec un bénéfice de 29 633 €. Ainsi, le prix du kWh est estimé à 0,0551 €/kWh et la quantité d'émission de CO₂ diminue de 68% (de 16 à 5 t/an). Cette étude a eu un impact positif sur l'environnement rural en utilisant l'énergie durable.

II.5 Conclusion

L'intégration des énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire et les systèmes photovoltaïques, dans les fermes pilotes en Algérie joue un rôle crucial pour répondre aux besoins énergétiques de manière durable. Cette étude de l'intégration des énergies renouvelables est essentielle

CHAPITRE III

Simulation avec PVsyst & HOMER

III.1 Introduction

Le présent chapitre introduit les logiciels de simulation PVsyst et HOMER. Ces outils informatiques sont couramment utilisés dans le domaine des énergies renouvelables pour évaluer les performances des systèmes photovoltaïques et optimiser leur conception. PVsyst est spécialisé dans l'analyse et la modélisation des systèmes PV, tandis que HOMER est dédié à l'analyse économique et technique des systèmes d'énergie hybrides.

III.2 Présentation de Logiciel PVsyst

PVsyst est un logiciel de dimensionnement de panneaux solaires permettant d'obtenir diverse informations telles que la production d'énergie, l'irradiation et le coût de l'installation, la surface nécessaire, ou la production annuelle d'énergie. Un mode avancé permet d'obtenir beaucoup plus d'informations pour une étude très complète.

PVsyst est un logiciel conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche économique avec guide dans le développement d'un projet [2].

III.2.1 Méthode générale d'utilisation de PVsyst

Etape 01 : Approche de base du projet.

Lors de l'ouverture de PVsyst, vous accédez à la page principale :

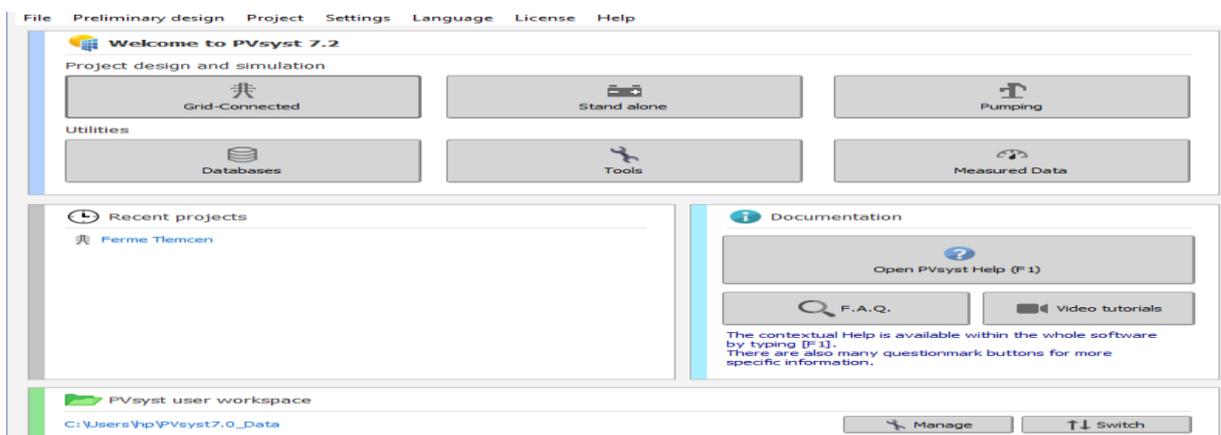


Figure III.1 : La page principale de PV syst.

Cette page donne accès aux quatre parties principales du programme :

- **Conception et simulation de projet** est la partie principale du logiciel et sert à l'étude complète d'un projet. Cela implique le choix des données météorologiques, la conception du système, les études d'ombrage, la détermination des pertes et l'évaluation économique. La simulation est réalisée sur une année complète par pas d'une heure et fournit un rapport complet et de nombreux résultats complémentaires.
- **Projets récents** vous permet de trouver et de modifier rapidement vos projets récents.

- **Documentation** vous aidera dans la réalisation de vos différentes simulations à l'aide de tutoriels PDF, de Vidéos et d'une FAQ.
- **PVsyst user Workspace** contient toutes les données créées par l'utilisateur. L'emplacement par défaut est C:\Users\\Pvsyst7.0_Data mais cela peut être modifié par l'utilisateur.

Etape 02 : Etude d'un système PV.

Pour faire une étude du système PV, nous n'utiliserons pas la "conception préliminaire" pour un projet connecté au réseau, mais commencerons plutôt la "conception de projet" complète.

Lorsque vous choisissez un projet "Grid connected", vous obtenez le tableau de bord suivant pour la gestion d'un projet :

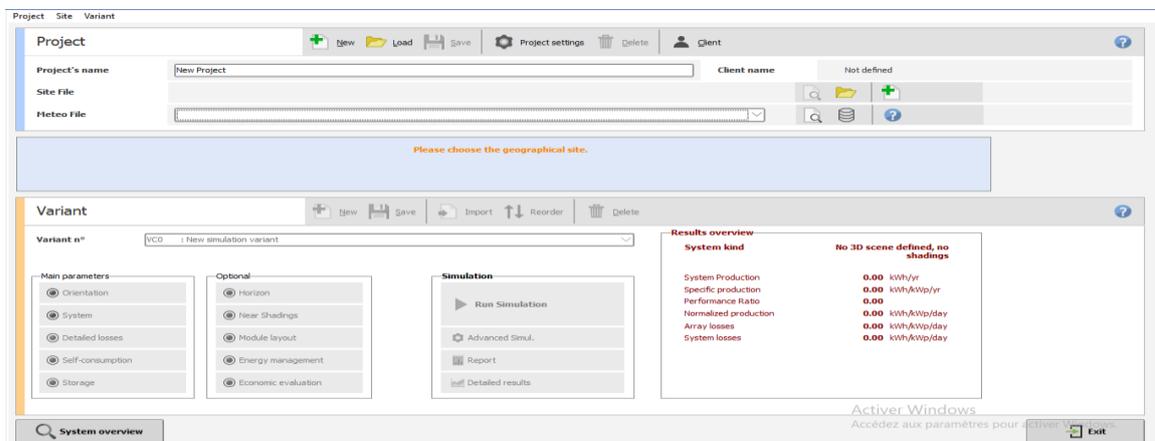


Figure III.2 : Le tableau de bord.

Le tableau de bord comporte deux parties :

Les définitions de base du projet :

Définir le projet Dans le tableau de bord du projet, cliquez sur « Nouveau projet » et définissez le nom du projet. Cliquez ensuite sur «Météo file ».

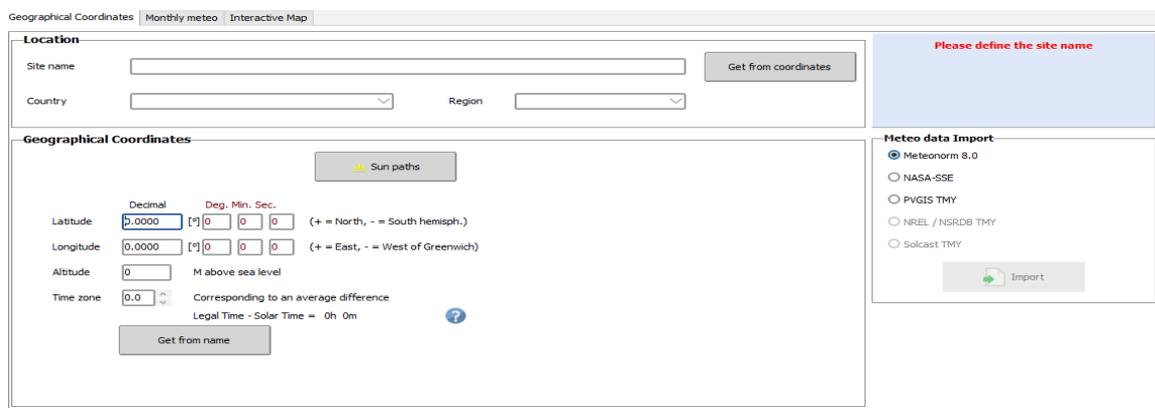


Figure III.3 : La page des coordonnées Géographique.

Vous pouvez soit choisir un site dans la base de données intégrée (PVGISTMY, NASA-SSE, Meteonorm), soit définir un nouveau site qui peut être situé n'importe où sur le globe. Vous pouvez utiliser "Geographicale Coordinates" si vous souhaitez créer ou importer un site autre que ceux disponibles dans la base de données.

Le site du projet définit les coordonnées (Latitude, Longitude, Altitude et Fuseau horaire) et contient des données météorologiques mensuelles.

Lorsque vous avez terminé, vous serez invité à enregistrer le projet. La boîte de dialogue qui s'affiche vous permet de renommer le projet. Nous vous recommandons d'utiliser un nom de fichier simple.

La gestion des variantes du système

Création de la première variante pour ce projet, vous pouvez procéder à la création de la première variante. Vous remarquerez qu'au début il y a 2 boutons marqués en rouge :

Orientation : Vous obtiendrez la boîte de dialogue d'orientation où vous devez fournir des valeurs pour le type de champ pour l'installation solaire et les angles d'inclinaison et d'azimut.

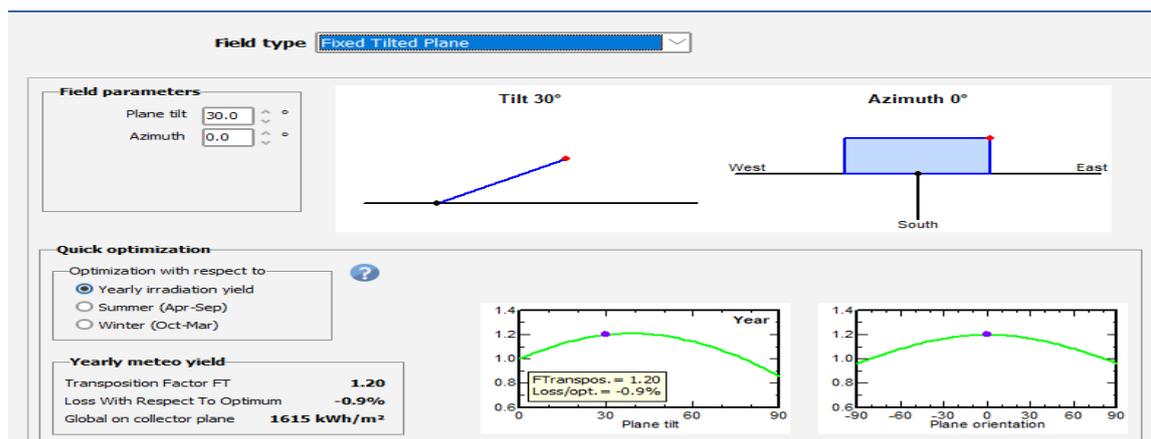


Figure III.4 : Les paramètres d'orientation.

Système : Les paramètres de base qui doivent être définis sont le type et le nombre de modules PV et le type et le nombre d'onduleurs qui seront utilisés.

Choisissez un module PV dans la base de données. Parmi "Tous les modules", sélectionnez "Générique" comme fabricant et sélectionnez le modèle de la puissance utilisé.

Dans la partie inférieure droite de la boîte de dialogue, PVsyst affichera un indice pour choisir l'onduleur : "Veuillez choisir le modèle d'onduleur, la puissance totale doit être égale la puissance de système ou plus."

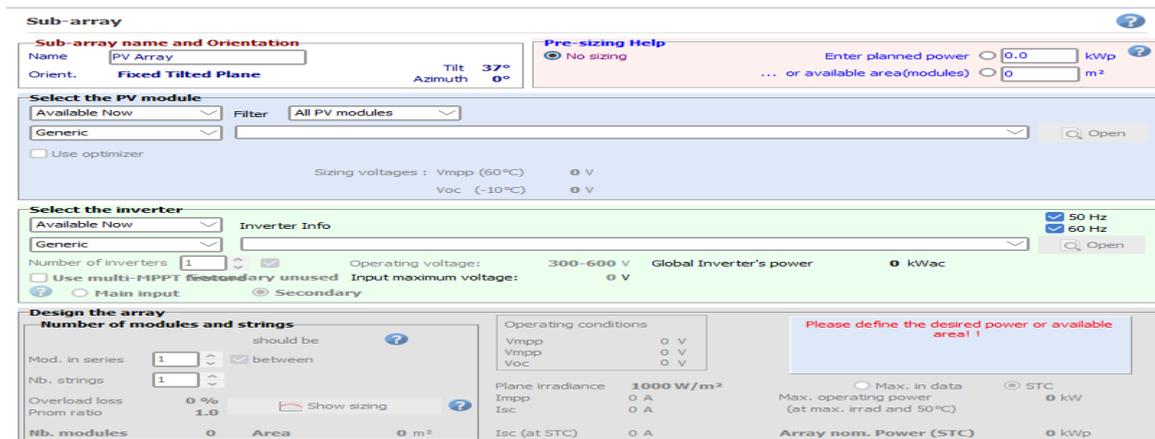


Figure III.5 : Les paramètres de système.

Pour votre installation PVsyst propose une configuration complète du système : le nombre des onduleurs, strings, les modules connectés en série.

Etape 03 : Exécution de la première simulation.

Après avoir enregistré le projet, sur le tableau de bord du projet, tous les boutons sont maintenant verts Le bouton "Run simulation" est activé, et nous pouvons cliquer dessus.

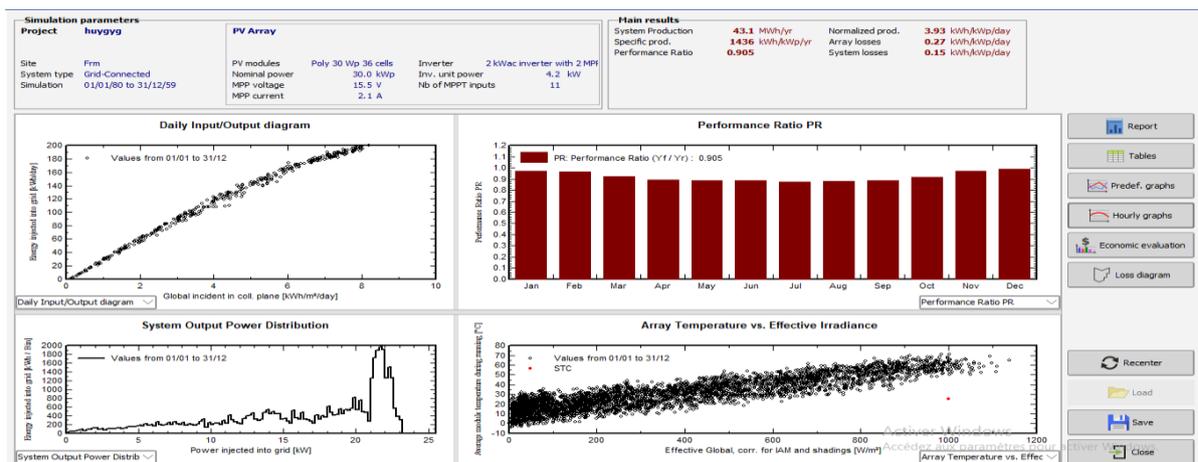


Figure III.6 : Boîte de dialogue de PV syst.

Cette boîte de dialogue affiche en haut un bref résumé des paramètres de simulation que vous devez vérifier rapidement pour vous assurer que vous n'avez commis aucune erreur évidente dans les paramètres d'entrée.

A droite se trouve un cadre avec six valeurs qui résument les principaux résultats de la simulation.

Dans la partie inférieure de la boîte de dialogue, vous verrez plusieurs diagrammes, qui vous donnent déjà des informations plus détaillées sur le comportement général du système. Le "Daily Input/Output diagramme" affiche pour chaque jour simulé, l'énergie qui a été injectée au réseau en fonction de l'irradiation incidente globale dans le plan collecteur. Pour un système bien dimensionné

connecté au réseau, cela devrait être à peu près une ligne droite qui sature légèrement pour les grandes valeurs d'irradiation.

Les informations principales des résultats de la simulation sont rassemblées dans le rapport. Les autres boutons donnent accès à des tableaux et graphiques complémentaires pour une analyse plus approfondie des résultats de la simulation. Pour l'instant nous allons les ignorer. Lorsque vous cliquerez sur vous obtiendrez le rapport complet.

La variante se compose de seulement trois pages (pour des simulations plus détaillées, vous pouvez obtenir jusqu'à 11 pages de rapport). Dans ce rapport, vous trouverez :

Première page : Tous les paramètres sous-jacents à cette simulation : situation géographique et données météo utilisées, orientation du plan, informations générales sur les ombrages (horizon et ombrages proches), composants utilisés et configuration du réseau, paramètres de perte, etc.

Deuxième page : Un rappel des principaux paramètres, et des principaux résultats de la simulation, avec un tableau mensuel et des graphiques de valeurs normalisées.

Troisième page : le diagramme de perte de flèche PVsyst, montrant un bilan énergétique et toutes les pertes le long du système. C'est un indicateur puissant de la qualité de votre système, et vous indiquera immédiatement les erreurs de dimensionnement, si elles existent.

III.3 Présentation du Logiciel HOMER Pro

HOMER est un logiciel développé pour des systèmes de production d'énergie de petites puissance. Un de ses grands atouts est la possibilité de pouvoir simuler des systèmes hybrides combinant différentes sources d'énergie qu'elle soit renouvelable ou fossile.

La première version a été développée en 1992 pour NREL par Dr. Peter Lilienthal le développeur original du logiciel HOMER, il a ensuite subi de nombreuses améliorations dans plus de 40 nouvelles versions [3]



Figure III.7 : Présentation de logiciel Homer.

III.3.1 Définition

HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Ressources) est un logiciel de modélisation énergétique et de simulation destiné à l'étude d'installations de production d'énergie multi-sources (PV, éolien, réseau, stockage, diesel...). Il est principalement destiné à la simulation de mini-réseaux connectés ou non-connectés au réseau « off-grid » et d'optimisation des systèmes hybrides

fonctionnant avec les énergies renouvelables [31]. Les algorithmes d'optimisation et d'analyse de sensibilité d'HOMER facilitent l'évaluation des nombreuses configurations possibles du système, L'utilisateur obtient l'architecture et la configuration la plus économique selon la modélisation d'Homer. C'est donc un outil d'aide à la décision pour le dimensionnement d'un mini-réseau [31].

III.3.2 Comment fonctionne HOMER

a) Les fonctionnalités principales de cet outil sont les suivantes [31]

- Simulation horaire d'un système de production multi-sources, ainsi, pour chaque pas, HOMER Pro compare la demande d'électricité et de chaleur dans cet intervalle de temps à l'énergie que le système peut fournir.
- Simulation du comportement de plusieurs équipements de production (photovoltaïque, éolien, hydraulique, générateur biomasse, diesel, huile végétale) ou de stockage (électrochimique, volant d'inertie, pile à combustible).
- Optimisation économique du système de production par comparaison de plusieurs configurations et architectures. La solution obtenue par HOMER est la solution la moins coûteuse parmi différentes combinaisons de systèmes d'énergies renouvelables, d'énergies fossiles ou de systèmes hybrides comprenant deux sources d'énergie ou plus.
- Analyse de sensibilité par rapport à certains paramètres d'entrée (prix des hydrocarbures, durée de vie des modules, gisement solaire, charge). afin de savoir si la solution trouvée reste la meilleure même s'il y a certains changements dans les différents paramètres entrés. Il est donc possible de faire bon nombre d'analyses avec de nombreuses configurations différentes en moins de quelques minutes de simulation.
- Suivant les données techniques et de coût de chaque composant du système, HOMER Pro calcul le rendement énergétique, le cout du système et le % d'émission de gaz à effet de serre pour chaque configuration.

b) Les paramètres [31]

Il convient de fixer les valeurs d'un certain nombre de paramètres pour commencer une simulation tel que : le nombre d'appareils et les puissances nombre de batteries, la puissance des groupes électrogènes, la puissance du champ PV.

- *Paramétrage des sources*

Installation photovoltaïque

- Puissance installée et investissement correspondant.
- Coûts d'entretien et maintenance annuels.

- Choix du branchement, bus DC ou bus AC. La production DC entre en jeu lorsqu'un système de stockage électrochimique ou des charges absorbent du courant continu. Le choix dépend du déphasage entre les consommations et la production PV.
- Durée de vie des modules.
- Rendement du système.
- Influence de la température sur les performances du module.

Groupe électrogène

- Puissance installée et investissement correspondant.
- Coût d'entretien et maintenance annuel.
- Durée de vie. Elle est paramétrée en heures de fonctionnement contrairement à l'installation PV.
- La charge minimale.
- Consommation de fuel en fonction de la puissance. A partir de ces données le logiciel calcul deux facteurs qui lui permettent de trouver la courbe de rendement du groupe en fonction de sa charge.
- *Paramétrage de l'unité de stockage*

Batteries

- Marque, technologie de batterie et capacité unitaire. Une base de données contient ces caractéristiques pour un certain nombre de modèles de batteries.
- Nombre de Strings. La quantité de batteries correspondante dépend de la tension de bus choisie ainsi que de la tension unitaire des batteries. Convertisseur (onduleur chargeur ou onduleur PV dans le cas d'une production DC)
- Puissance et investissement correspondant ;
- Durée de vie ; Rendement AC/DC ; Rendement DC/AC.
- *Paramétrage du gisement et des charges*

Charge

- Possibilité d'entrer un profil de charge annuel à l'échelle horaire ;
- Moyenne de la consommation annuelle. Les données annuelles rentrées sont mises à l'échelle par rapport à cette moyenne. Paramétrer plusieurs moyennes permet de réaliser une analyse de sensibilité par rapport la consommation.

Ensoleillement

- Possibilité d'entrer un profil d'ensoleillement annuel à l'échelle horaire ou de donner les coordonnées du site pour qu'Homer génère le profil.
- Choix de la mise à l'échelle des données d'ensoleillement. Les irradiances sont augmentées ou diminuées pour obtenir une nouvelle moyenne plus faible ou plus forte que celle du profil initial. Paramétrer plusieurs moyennes permet de réaliser une analyse de sensibilité par rapport à l'ensoleillement.

c) Les sorties [31]

A partir de la simulation, Homer permet de visualiser le comportement heure par heure de chaque équipement de l'installation pour toutes les configurations simulées. Homer présente une analyse financière sur la durée du projet. Pour chaque architecture et configuration il est possible d'observer les sorties suivantes :

- Coût global du kWh actualisé LCOE.
- Répartition des postes de dépenses (investissement, entretien/maintenance, combustible)
- Le détail correspondant à chaque source : flux d'énergies, nombre de remplacements, coût fixe et cout marginal, proportion de la production électrique.
- Des graphiques journaliers sur toute la durée de vie du système présentant heure par heure les consommations, les puissances délivrées par chaque source, la quantité d'énergie stockée.
- Des graphiques d'analyse de sensibilité. Il permet d'observer la variation de certaines sorties par rapport à paramètres de sensibilité choisis.
- Une analyse économique par rapport à une installation de référence.
- Une analyse de sensibilité présentée sous forme graphique.

III.3.3 Méthode générale d'utilisation HOMER Pro [31]

Étape 01 : Créer un nouveau fichier HOMER.

Un fichier HOMER contient toutes les informations sur les options technologiques, les coûts des composants et la disponibilité des ressources nécessaires pour analyser les conceptions de systèmes électriques.

On note que la première étape peut être à appliquer dans ce logiciel est la définition du site. Cette étape permet de choisir le nom du projet et la localisation de site de projet dans la fenêtre de DESIGN indiqué dans la Figure III.8.



Figure III.8 : L'interface de logiciel HOMER Pro.

Étape 02 : Construire le schéma.

Le schéma représente toutes les options technologiques que vous souhaitez que HOMER considère. Vous construisez le schéma pour donner à HOMER des informations sur les composants à prendre en compte pour répondre à votre question. Le schéma peut inclure des composants qui ne sont pas dans la conception optimale.

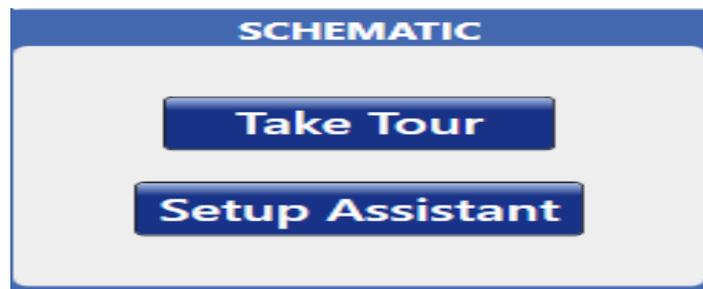


Figure III.9 : Le schéma de système.

NB : Chaque conception de système doit inclure soit une charge primaire (une description de la demande électrique), soit une charge reportable ou être connectée à un réseau.

Étape 03 : Saisir les détails de la charge.

Les détails de la charge sont des entrées pour les simulations HOMER. Les entrées de charge décrivent la demande électrique que le système doit servir. Cette section décrit comment importer un exemple de fichier de chargement.

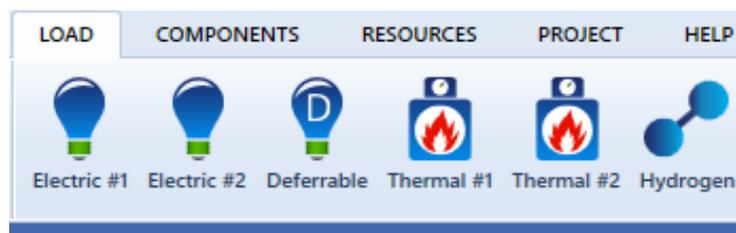


Figure III.10: La charge.

Étape 04 : Entrez les détails du composant.

Les entrées de composants décrivent les options technologiques, les coûts des composants, ainsi que les tailles et les nombres de chaque composant que HOMER utilisera pour les simulations. Cette section décrit comment saisir les données de coût pour les générateurs diesel, les éoliennes et les batteries.



Figure III.11 : Les composants.

Étape 05 : Saisir les détails des ressources.

Les entrées de ressources décrivent la disponibilité du rayonnement solaire, du vent, de l'électricité et du carburant pour chaque heure de l'année. Pour les ressources solaires, éoliennes et hydrauliques, vous pouvez soit importer des données à partir d'un fichier correctement formaté, soit utiliser HOMER pour synthétiser les données horaires à partir des valeurs mensuelles moyennes.

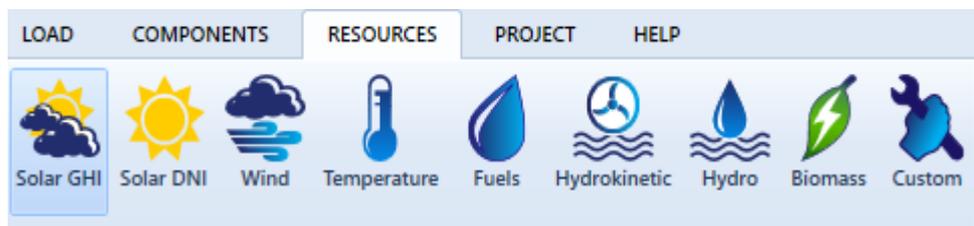


Figure III.12: Les ressources.

Étape 06 : Vérifier les entrées et corriger les erreurs.

HOMER vérifie la plupart des valeurs que vous entrez dans les fenêtres de saisie pour voir si elles ont un sens technique. Si HOMER remarque des valeurs qui n'ont pas de sens, il affiche des messages d'avertissement et d'erreur dessus fenêtre principale.

Étape 07 : Examiner les résultats de l'optimisation.

Homer simule les configurations système avec toutes les combinaisons de composants que vous avez spécifiées dans les entrées de composants. HOMER élimine des résultats toutes les configurations système irréalisables, c'est-à-dire celles qui ne répondent pas de manière adéquate à la charge compte tenu des ressources disponibles ou des contraintes que vous avez spécifiées.

Étape 08 : Affiner la conception du système.

Cette section décrit comment utiliser les résultats de l'optimisation pour améliorer la conception du système.

Étape 09 : Ajouter des variables de sensibilité.

Cette section décrit comment entrer des valeurs de sensibilité pour la moyenne annuelle pondérée de la vitesse du vent et le prix du diesel pour effectuer une analyse de sensibilité sur ces variables. L'analyse de sensibilité vous permettra d'explorer comment les variations de la vitesse annuelle moyenne du vent et des prix du carburant diesel affectent la conception optimale du système.

Étape 10 : Examiner les résultats de l'analyse de sensibilité.

HOMER affiche les résultats de sensibilité sous forme de graphiques et de tableaux. Cette section décrit comment visualiser et interpréter les résultats de sensibilité pour déterminer dans quelles conditions un système est plus rentable.

III.4 Conclusion

Ce chapitre sur la présentation des logiciels de simulation PVsyst et HOMER met en évidence l'importance de ces outils dans l'évaluation et l'optimisation des systèmes d'énergie renouvelable, en particulier les systèmes photovoltaïques. Ces logiciels offrent des fonctionnalités avancées pour analyser les performances énergétiques, évaluer les rendements, estimer les coûts et simuler différentes configurations de systèmes. Ils permettent aux professionnels du domaine de prendre des décisions éclairées lors de la conception, de la planification et de l'exploitation des installations solaires. Grâce à leur utilisation, il est possible d'améliorer l'efficacité, la rentabilité et la durabilité des projets d'énergie renouvelable. En somme, PVsyst et HOMER sont des outils indispensables pour accélérer la transition énergétique vers des sources d'énergie propres et durables.

CHAPITRE IV

Etude Comparative

IV.1 Introduction

La tendance à l'utilisation de l'énergie photovoltaïque, dans l'agriculture algérienne est devenue une nécessité incontournable. Pour le développement du domaine agricole algérien, de nombreuses études existent à ce sujet. Sur la base de l'étude qui a été menée dans une ferme expérimentale située à Tlemcen, qui présente une analyse du système photovoltaïque connecté au réseau. Nous avons réalisé l'analyse du système photovoltaïque connecté au réseau dans la ferme laitière de Remchi en utilisant à la fois PVsyst et HOMER pour dimensionné le système photovoltaïque et faire une étude comparative sur les résultats dans le côté technique et économique pour deux méthodes de calcul. Ensuite, une comparaison est établie avec une ferme située au Canada, en effectuant une étude et des simulations similaires. L'objectif général de cette étude est l'alimentation de la ferme pilote en énergie électrique d'une façon économique et rentable avec un système PV connecté au réseau et qui contribué à la protection de l'environnement.

IV.2 Première étude comparative : Cas d'étude Remchi – Tlemcen [32]

Dans cette partie, nous allons procéder au calcul de l'énergie journalière après avoir déterminé la consommation électrique de chaque ferme laitière. Ensuite, nous allons calculer la puissance crête afin de dimensionner le système photovoltaïque connecté au réseau à l'aide de PVsyst. Cela nous permettra de déterminer les limites techniques spécifiques à chaque cas. Ensuite, nous simulerons le système photovoltaïque à l'aide du logiciel HOMER afin d'optimiser les aspects techniques et de déterminer les aspects économiques et leurs limites.

IV.2.1 Présentation de la ferme

La ferme étudié est une ferme pilote laitière à Tlemcen, Remchi est une commune située au nord de Tlemcen (Figure IV.1). Elle se caractérise par un climat méditerranéen. La superficie de cette ferme est d'environ 450m². C'est une ferme de 50 vaches laitière. Ou il y a : Une salle de traite, une salle de stockage (refroidissement et réfrigération), une pompe, ventilateur et l'éclairage.



Figure IV.1 : Les Cartes Géographiques de Remchi Tlemcen.

IV.2.2 Calcul de la puissance crête

La consommation d'électricité de la ferme laitière était requise pour différents usages : Éclairage, Ventilation, Traite, Refroidissement du lait et Réfrigération des produits stockés, le pompage de l'eau. Les consommateurs d'énergie, les heures de fonctionnement et la puissance nominale de chaque équipement sont présentés dans le Tableau IV.1 :

Tableau IV.1 : La consommation d'électricité de la ferme laitière.

Équipement	Durée h/j	Puissance (W)	Nombre
Éclairage	16	30	10 lampes
		40	20 lampes
Ventilation	16	750	5
Traite	3	550	5
Refroidissement	14	1235	3
Réfrigération	24	980	1
Pompage	5	450	1
La consommation journalière (kWh/jour)			157,59

La consommation journalière totale d'électricité de la ferme laitière est calculée par l'équation ci-dessous :

$$E_{\text{Demand}} = E_{\text{Ligh}} + E_{\text{Vent}} + E_{\text{Milk}} + E_{\text{C\&R}} + E_{\text{Pump}} \tag{IV.1}$$

Tel que :

- Éclairage :

$$E_{\text{Light}} = N_{\text{Lamp}} P_{\text{Lamp}} t_{\text{Lamp}} \tag{IV.2}$$

- Ventilation :

$$E_{\text{Vent}} = N_{\text{Fan}} P_{\text{Fan}} t_{\text{Fan}} \tag{IV.3}$$

- Traite :

$$E_{\text{Milk}} = N_{\text{Cows}} P_{\text{Milk}} t_{\text{Milk}} \tag{IV.4}$$

- Refroidissement du lait et réfrigération des produits agricole stockés :

$$E_{C\&R} = P_C t_C + N_{RM} P_{RM} t_R \tag{IV.5}$$

- Pompage d'eau :

$$E_{Pump} = P_{Pump} t_{Pump} \tag{IV.6}$$

- La puissance crête du système PV est calculée par l'équation suivante :

$$P_c = \frac{E_j * P_i}{R_g * F * \eta_{ond}} \tag{IV.7}$$

$$P_c = 33,19 \text{ kWc.}$$

E_j : L'énergie journalière.

P_i : Le solaire à STC (1Kw/m2, 25°C).

F : Le facteur déclassement PV(entre 0.85 ; 0.9).

η : Le rendement (95%).

P_c : La puissance crête.

R_g : Le rayonnement solaire global (5.48 kWh/m²/jour).

La consommation annuelle d'énergie électrique de la ferme pilote a été calculée à l'aide du logiciel Excel. La consommation la plus élevée de l'électricité de 18,67MWh /an est destinée aux équipements de refroidissement. Pour la ventilation, la consommation d'électricité annuelle de 7,02 MWh / an. La consommation d'électricité la plus inférieure était pour le pompage égal à 1,02 MWh / an. D'autre part, les équipements de réfrigération consomment environ 8,46 MWh / an, ce qui comprend une chambre. Et puis, la consommation annuelle d'électricité pour la traite a été estimée à 2,97 MWh / an. Enfin, pour l'éclairage, la consommation annuelle d'électricité a été estimée à 4,02 MWh / an.

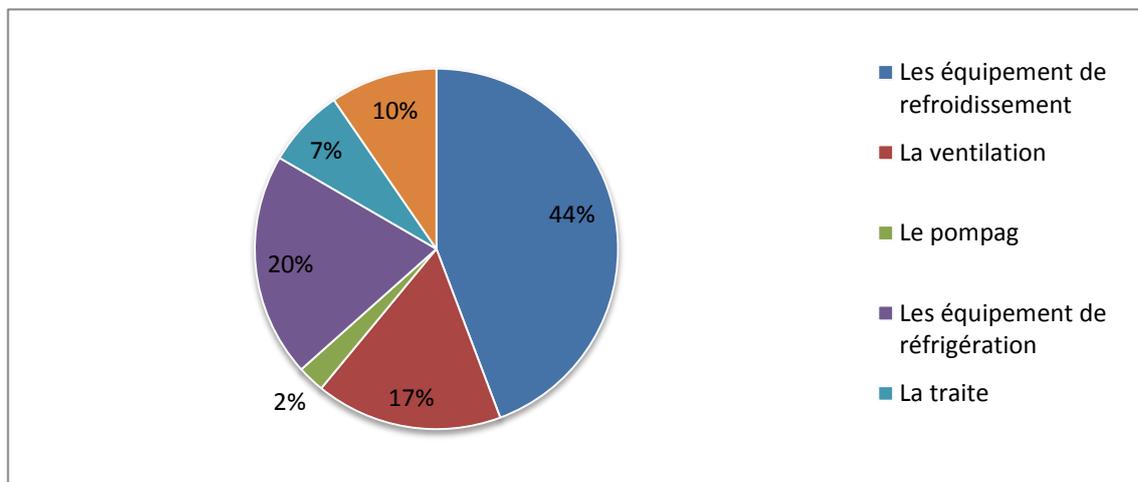


Figure IV.2 : Répartition de la consommation annuelle d'énergie électrique de la ferme.

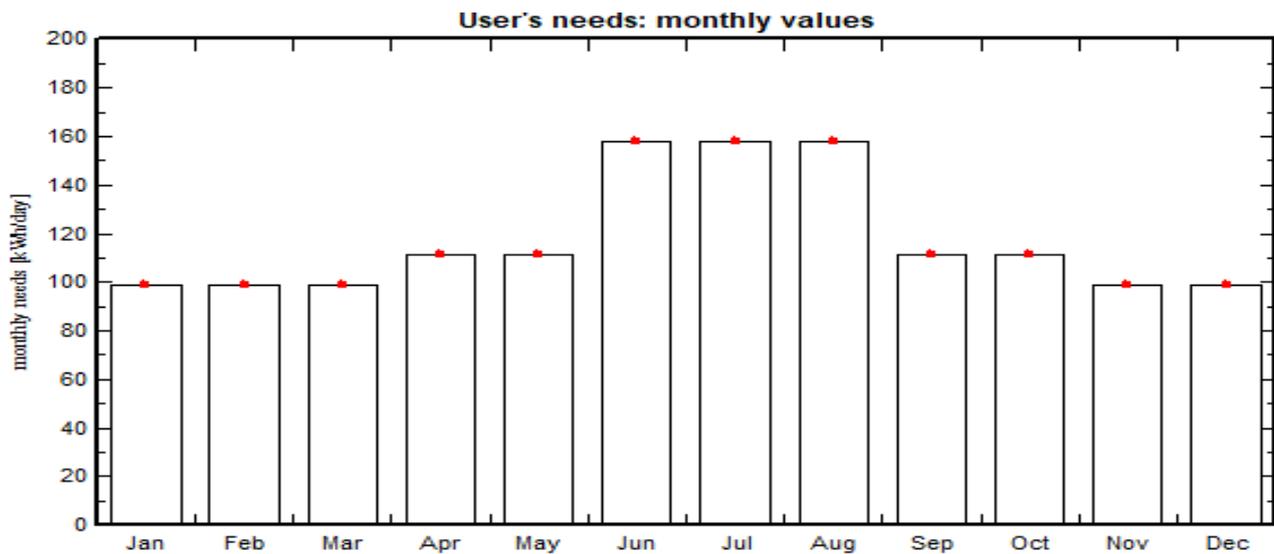


Figure IV.3 : Besoins mensuels.

IV.2.2 Dimensionnement du système photovoltaïque connecté au réseau

a. Coordonnées géographiques du site Remchi

Tout point de la surface terrestre est repéré par ses coordonnées géographiques longitude et Latitude, ainsi que par son altitude. Pour Remchi la longitude est de -1.4336 ° Ouest, la latitude est de 35.0620° Nord, L'altitude est 209 mètres.

Site name:

Country: Region:

Geographical Coordinates

Latitude: [°] (+ = North, - = South hemisph.)

Longitude: [°] (+ = East, - = West of Greenwich)

Altitude: M above sea level

Time zone: Corresponding to an average difference
Legal Time - Solar Time = 1h 6m

Figure IV.4: Coordonnée Géographique de Remchi.

b. Données Météorologiques

Nous avons retrouvé dans le NASA – SSE les coordonnées géographiques et météorologiques de la zone de Remchi, le rayonnement horizontal global estimé et la température donnés dans le tableau 01 prises après les simulations avec PVsyst.

Site Remchi (Algeria)			
Data source NASA-SSE satellite data 1983-2005			
	Global horizontal irradiation kWh/m ² /day	Horizontal diffuse irradiation kWh/m ² /day	Temperature °C
January	2.98	0.79	12.1
February	3.92	1.02	12.8
March	5.14	1.33	14.5
April	6.56	1.56	16.3
May	7.15	1.90	19.2
June	7.65	1.93	22.9
July	7.57	1.82	25.6
August	6.89	1.62	26.0
September	5.75	1.36	23.5
October	4.29	1.11	20.2
November	3.14	0.87	16.2
December	2.65	0.74	13.4
Year	5.31	1.34	18.6
	Paste	Paste	Paste

Figure IV.5 : Table d'irradiation et Température à Remchi (NASA - SSE).

La simulation nécessite des valeurs horaires pour : Irradiation global annuel de ce site Remchi qu'il est élevé 5.31 KWh/m² ; Les valeurs d'Irradiation diffuse Horizontal sont : 1.34 KWh/m, la température ambiantes de 18.6° C.

c. Le système PV choisi

Le système PV connecté au réseau de la ferme est indiqué dans le diagramme :

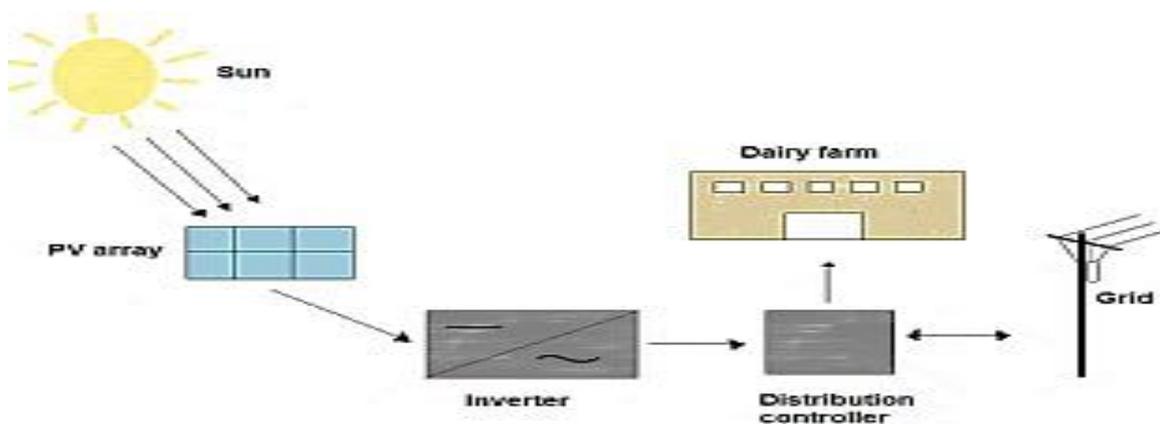


Figure IV.6 : Système PV adapté à la demande de charge de la ferme.

- Orientation des panneaux :

Nous avons choisi un plan incliné fixe d'une inclinaison 35° (par rapport à l'horizontale) comme l'illustre la Figure IV.7 c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVSYST, avec l'orientation plein sud (inclinaison et azimut du panneau) et l'optimisation par rapport annuelle, avec tous les pertes ont négligentes. On définit Le facteur Transposition qu'il est le rapport de l'irradiation incidente (GlobInc) sur le plan, à l'irradiation horizontale (GlobHor). C'est à dire, Ce que vous gagnez (ou en vrac) lors de L'inclinaison du plan du capteur, pour notre système Ft =1,17.

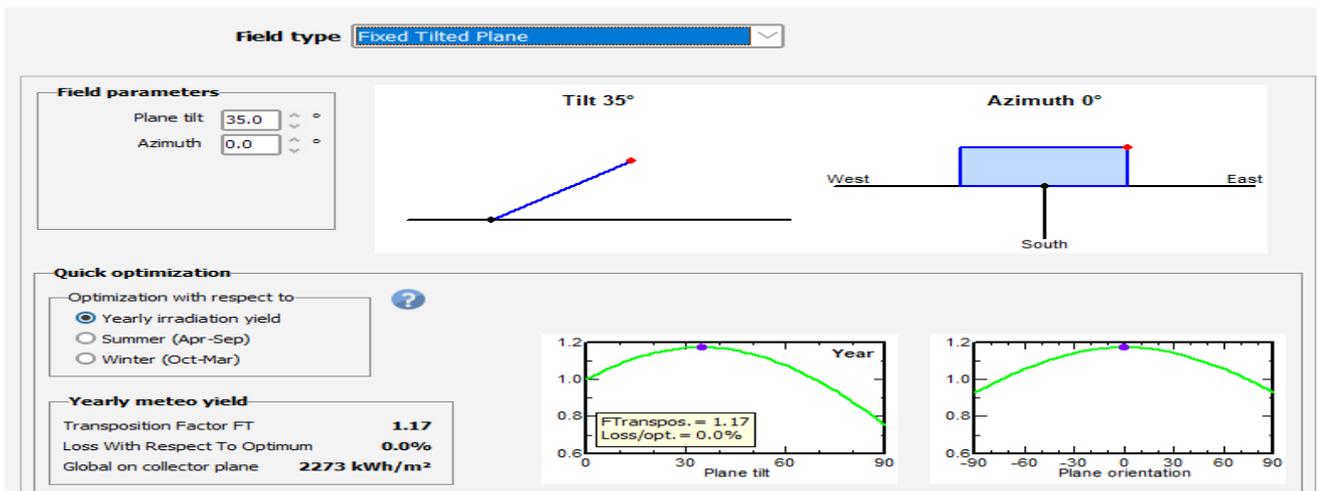


Figure IV.7: Angle D'orientation.

- **Le choix de module PV :**

Nous avons choisi des modules de «27 V/310Wc en Silicium monocristallin», la marque de «LG 310 N1K-5 (since2017, Manufacturer)» et un régulateur de puissance 600 W la marque «SolarEdge P601 Worldwide, Since 2020». La puissance de système photovoltaïque est 30kW.

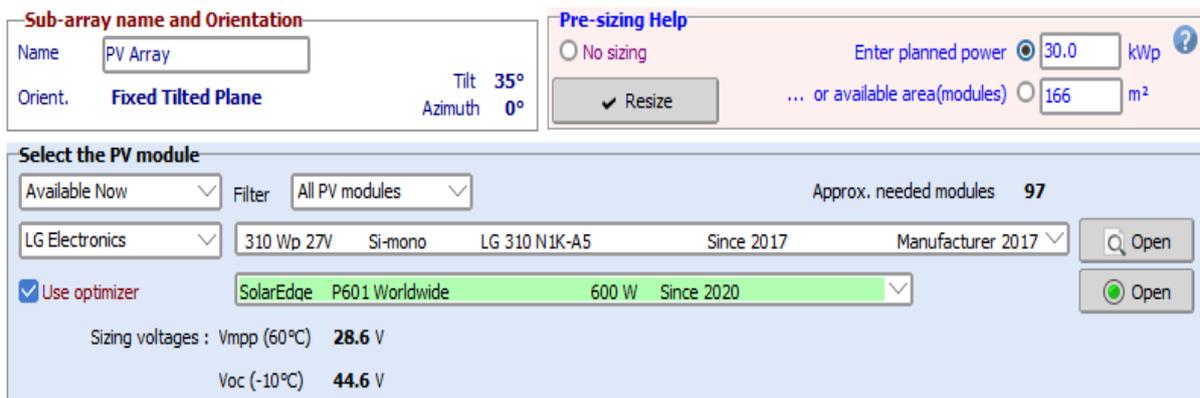


Figure IV.8: Le choix de module PV.

- **Caractéristiques de module PV**

Concernant les modules PV, les caractéristiques techniques du module PV de type triphasé en fonction des températures ambiantes et du rayonnement solaire présenté dans la figure ci-dessus :

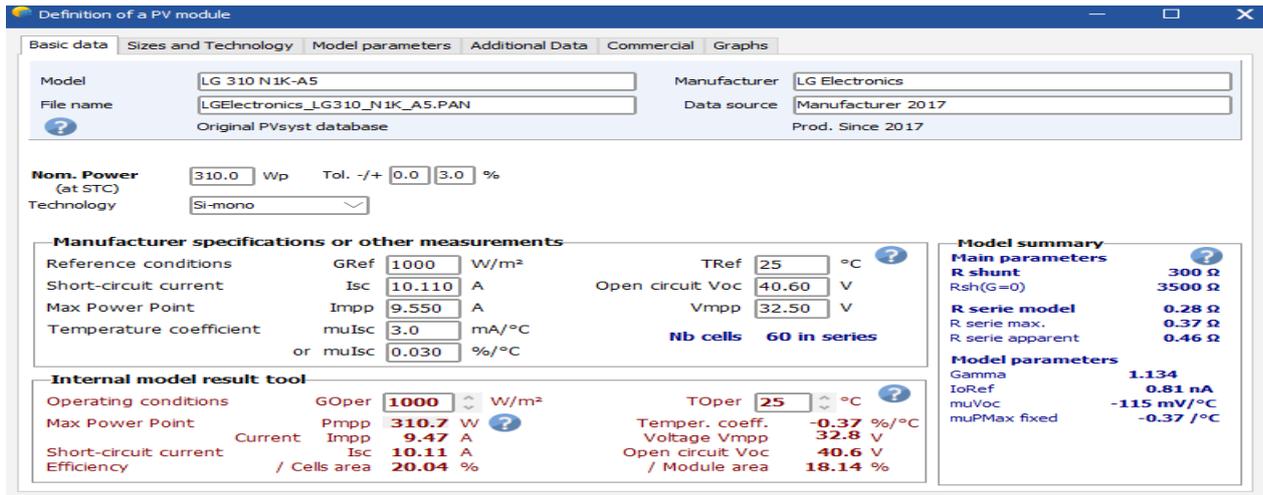


Figure IV.9 : Caractéristiques de module PV.

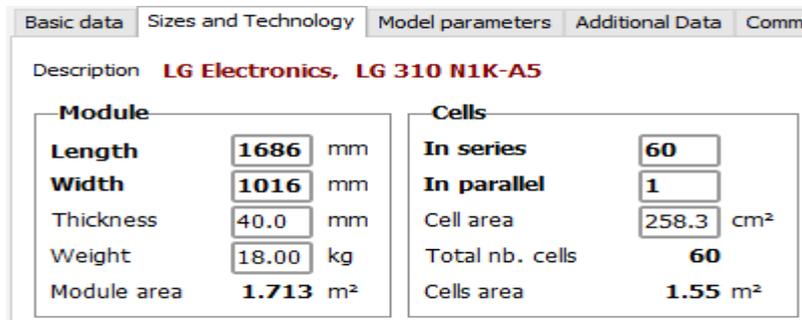


Figure IV.10 : Les dimensions de module PV.

d. Choix d'onduleur

L'onduleur choisi pour le réseau : 6 onduleur de 5kW «SolarEdge, SE 5000A – US 208V, Since 2012» peuvent caractériser des paramètres indiqués dans la figure 06

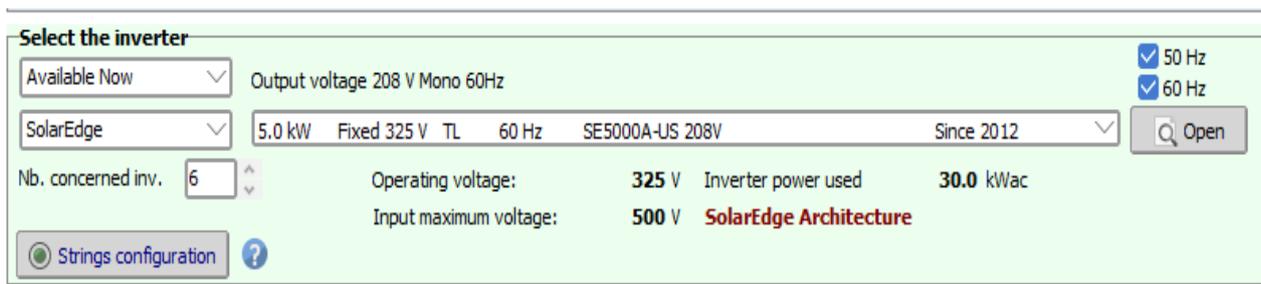


Figure IV.11 : Le choix d'onduleur.

On retrouve les paramètres de l'onduleur dans la figure 06 avec un rendement de (97%), et de fréquence 50/60Hz.

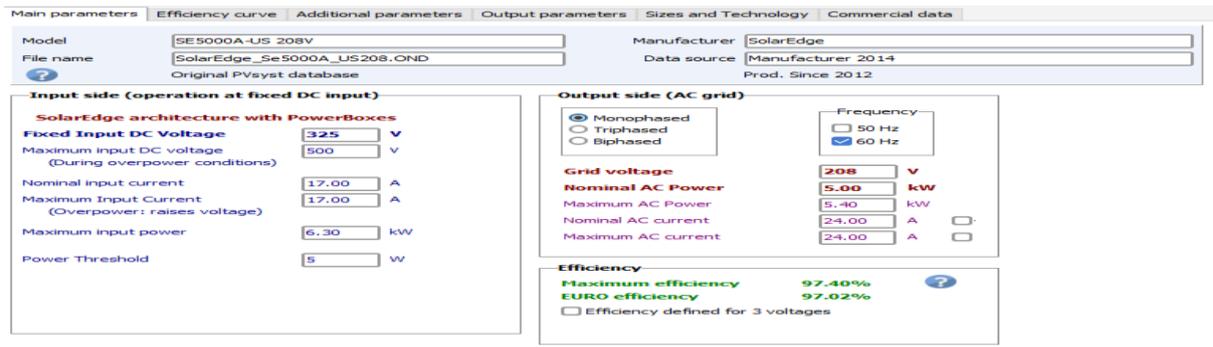


Figure IV.12 : Caractéristiques Techniques de l'onduleur.

e. Schéma simplifié du système PV

Une représentation visuelle des principaux composants et connexions d'un système photovoltaïque couplé aux réseaux Figure IV.13, voici une explication de chaque élément du schéma :

1. **Panneaux solaires** : Ce sont les modules photovoltaïques qui convertissent la lumière du soleil en électricité. Ils sont généralement installés sur un support ou un toit pour une exposition optimale au soleil.

2. **Onduleur** : L'onduleur est responsable de la conversion de l'électricité produite par les panneaux solaires en courant alternatif utilisable pour alimenter les appareils électriques.

3. **Câbles** : Les câbles électriques assurent la connexion entre les panneaux solaires, l'onduleur et d'autres composants du système.

4. **Compteur bidirectionnel** : Ce compteur permet de mesurer la quantité d'électricité produite par le système photovoltaïque et la quantité d'électricité injectée dans le réseau électrique lorsqu'il y a un excédent de production.

5. **Tableau de distribution** : Il s'agit d'un panneau électrique qui répartit l'électricité produite par le système photovoltaïque vers les différents circuits et appareils de la maison ou du bâtiment.

6. **Connexion au réseau électrique** : Le système photovoltaïque est généralement connecté au réseau électrique public, ce qui permet d'acheter de l'électricité en cas de besoin supplémentaire et de vendre l'excédent de production.

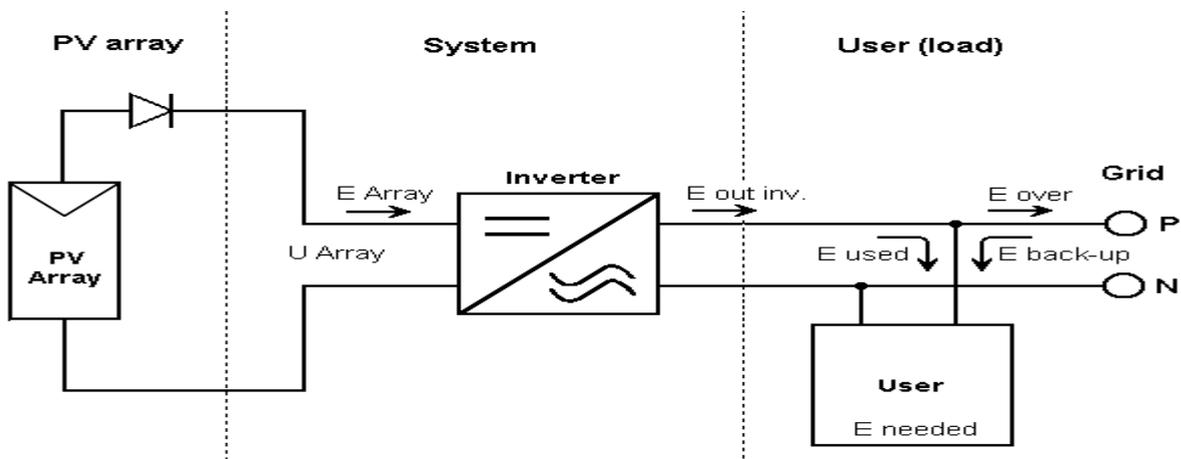


Figure IV.13 : Schéma simplifié du système couplé au réseau.

C'est un système de 102 modules PV, 6 onduleurs et la puissance exact de système photovoltaïque est 31.6kWc.

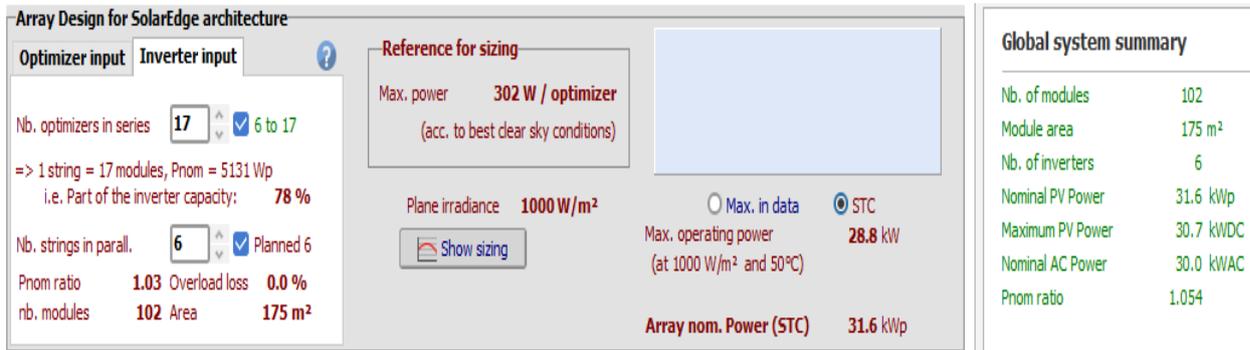


Figure IV.14 : Résumé du système global.

IV.2.3 Résultats et discussions de simulation de PVsyst

Nous présenterons les résultats et les discussions de l'analyse PVsyst du système photovoltaïque. Nous examinerons la production d'électricité estimée, les profils de production et les facteurs influençant les performances. Nous discuterons de l'adéquation du système à nos besoins énergétiques, de sa rentabilité potentielle et des avantages environnementaux. Ces résultats nous aideront à évaluer l'efficacité du système et à prendre des décisions pour son intégration dans notre ferme laitière.

a. Energie utile produite

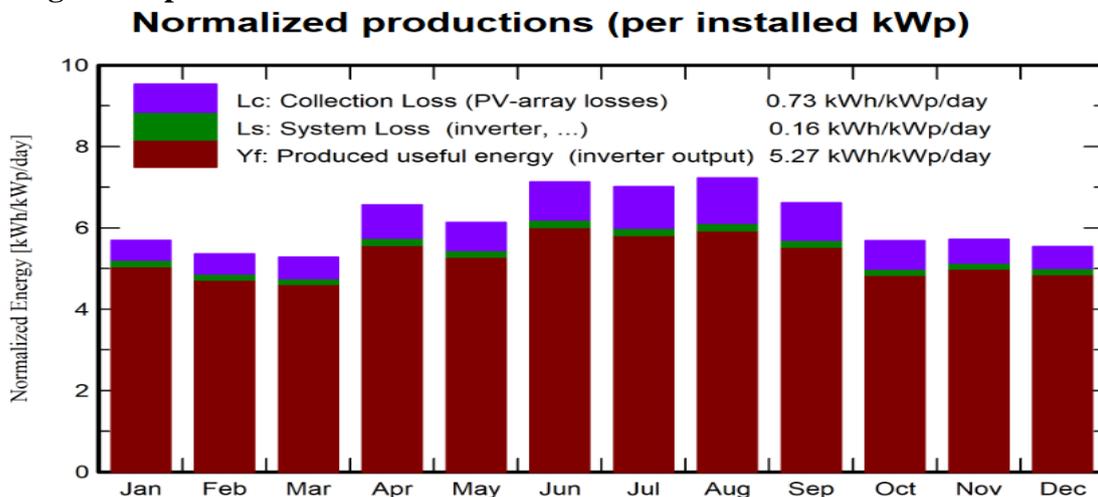


Figure IV.15: Production normalisées (par kWp installé).

La Figure IV.15 représente l'énergie utile Y_f produite par le système (à la sortie de l'onduleur), qui atteint la valeur maximum on mois de Juin et Aout, tandis qu'en mois Février et Mars est généralement baisse. Les pertes L_c et L_s sont les pertes correspondantes dans le champ PV (0.73kWh/kWp/day) et dues à l'onduleur (0.16 kWh/kWp/day), respectivement.

b. L'indice de performance (PR)

L'indice de performance est l'une des valeurs les plus importantes pour l'évaluation de l'efficacité d'une installation photovoltaïque. Concrètement, l'indice de performance désigne le rapport entre le rendement énergétique réel et le rendement énergétique théoriquement possible. Plus la valeur d'une installation photovoltaïque se rapproche des 100 %, plus cette installation photovoltaïque présente un fonctionnement efficace. Les installations photovoltaïques performantes atteignent toutefois un indice de performance pouvant aller jusqu'à 80 %.

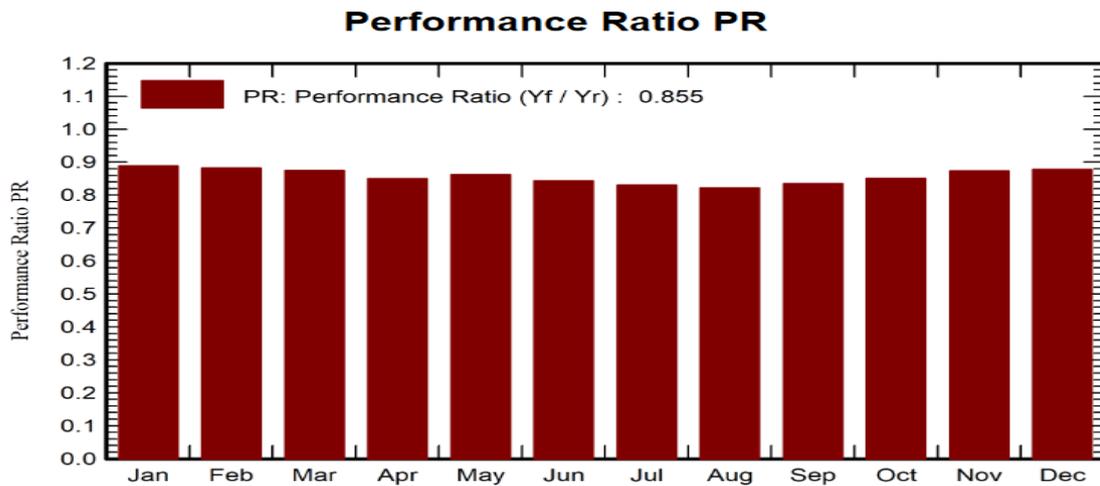


Figure IV.16: L'indice de performance (PR).

L'indice de performance est défini par le rapport de la production du système (Y_f) par l'énergie incidente de référence (Y_r) tel que :

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \tag{IV.8}$$

Avec :

$$Y_f = \frac{\text{Energie réellement fournie par l'installation}}{\text{Puissance crête de l'installation}} \quad (\text{kWh} / \text{kW}) \tag{IV.9}$$

$$Y_r = \frac{\text{Irradiation quotidienne dans les plans des module}}{\text{Irradiation condition STC}} \quad (\text{kWh} / \text{kW}) \tag{IV.10}$$

Il représente l'efficacité globale du système (85.5%).

c. Bilan et résultat principaux :

D'après ces résultats, on voit bien que l'énergie produite par le champ photovoltaïque (E_{Array}) est proportionnelle aux valeurs d'énergie incidente (G_{Inc}).

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	E_Grid MWh	EFrGrid MWh
January	102.6	24.51	9.67	176.3	174.4	5.112	3.069	1.112	3.845	1.957
February	105.6	35.28	10.88	150.0	147.7	4.313	2.772	1.066	3.115	1.706
March	138.5	59.31	13.74	163.7	160.7	4.665	3.069	1.286	3.238	1.783
April	187.9	63.02	17.46	196.8	193.3	5.458	3.330	1.491	3.800	1.839
May	202.6	68.74	15.48	190.2	185.8	5.341	3.441	1.560	3.620	1.881
June	239.2	66.50	20.34	213.9	209.1	5.882	4.740	2.204	3.502	2.536
July	235.7	70.21	24.21	217.3	212.8	5.881	4.898	2.237	3.468	2.661
August	221.9	61.24	25.41	224.1	219.8	6.001	4.898	2.213	3.608	2.685
September	170.5	50.67	23.61	198.6	195.0	5.404	3.330	1.500	3.743	1.830
October	130.8	44.46	21.20	176.3	173.7	4.890	3.441	1.406	3.341	2.035
November	105.1	29.35	14.56	171.6	169.4	4.884	2.970	1.149	3.589	1.821
December	95.5	25.55	13.87	171.6	169.7	4.908	3.069	1.135	3.629	1.934
Year	1935.8	598.83	17.57	2250.4	2211.4	62.739	43.027	18.359	42.499	24.668

Legends

- GlobHor Global horizontal irradiation
- DiffHor Horizontal diffuse irradiation
- T_Amb Ambient Temperature
- GlobInc Global incident in coll. plane
- GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
- EArray Effective energy at the output of the array
- E_User Energy supplied to the user
- E_Solar Energy from the sun
- E_Grid Energy injected into grid
- EFrGrid Energy from the grid

Figure IV.17 : Table de bilan et résultat principaux.

d. Diagramme des pertes

Les pertes totales peuvent être divisées en pertes optiques et pertes du système, comme illustre la figure 12. Les pertes optiques diminuent la quantité d'irradiation atteignant le générateur PV et comprennent les pertes d'horizon, d'ombrage proche, de réflexion et d'encrassement.

Les pertes du système sont des pertes dans le générateur photovoltaïque causées par l'augmentation de la température, le faible rayonnement, l'ombrage électrique, la qualité, la non-concordance et la résistance du câble CC, c'est-à-dire l'énergie produite par le générateur, par rapport à la puissance nominale. Les pertes de l'onduleur, l'indisponibilité et les pertes de câblage CA sont des pertes du système.

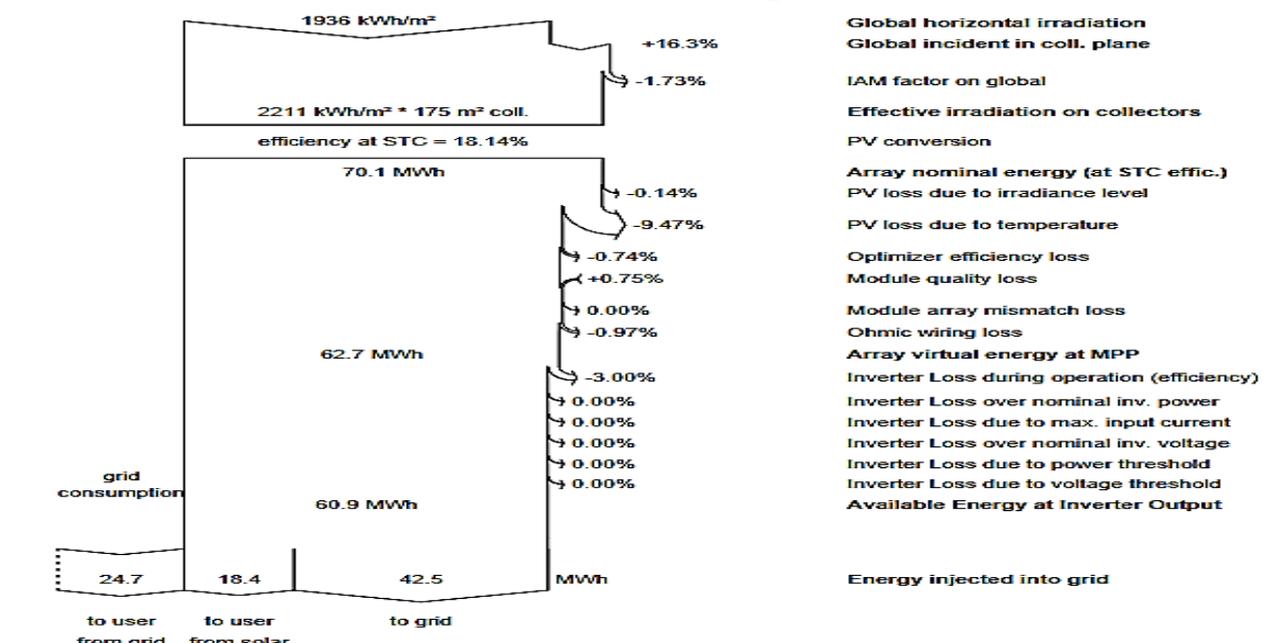


Figure IV.18 : Diagramme des pertes.

Le système photovoltaïque produit environ 60.9 MWh d'énergie solaire, 42.5MWh de l'énergie totale étant injectée dans le réseau. La ferme consomme environ 18,4MWh de l'énergie solaire produite et 24,7MWh du réseau.

IV.2.4 Evaluation économique du projet par Homer

Le cas d'étude est une zone de la wilaya de Tlemcen (Remchi).

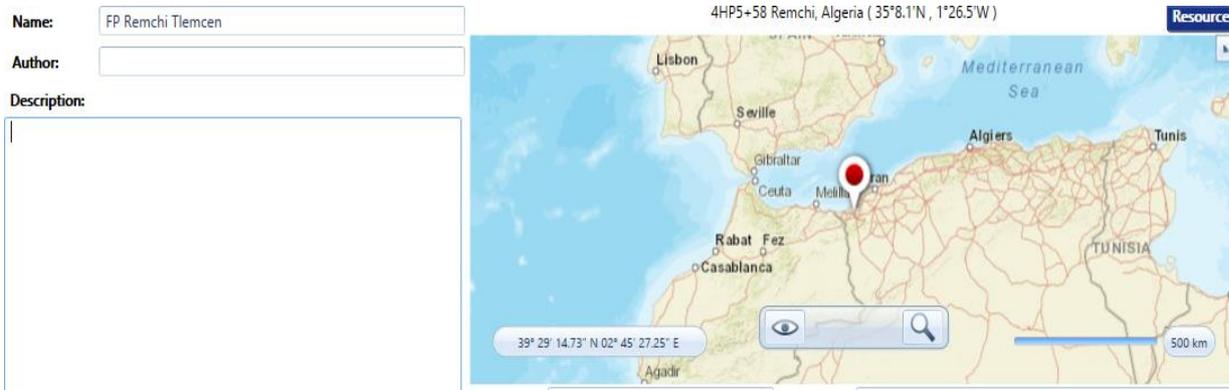


Figure IV.19 : Coordonnée Géographique de Remchi –Tlemcen avec Homer.

La figure ci-dessous illustre le rayonnement mensuel du site de Remchi à Tlemcen, obtenu à partir des données fournies par la NASA. Elle montre les niveaux de rayonnement solaire mensuels tout au long de l'année, fournissant ainsi des informations précieuses sur la disponibilité de l'énergie solaire à ce site spécifique.

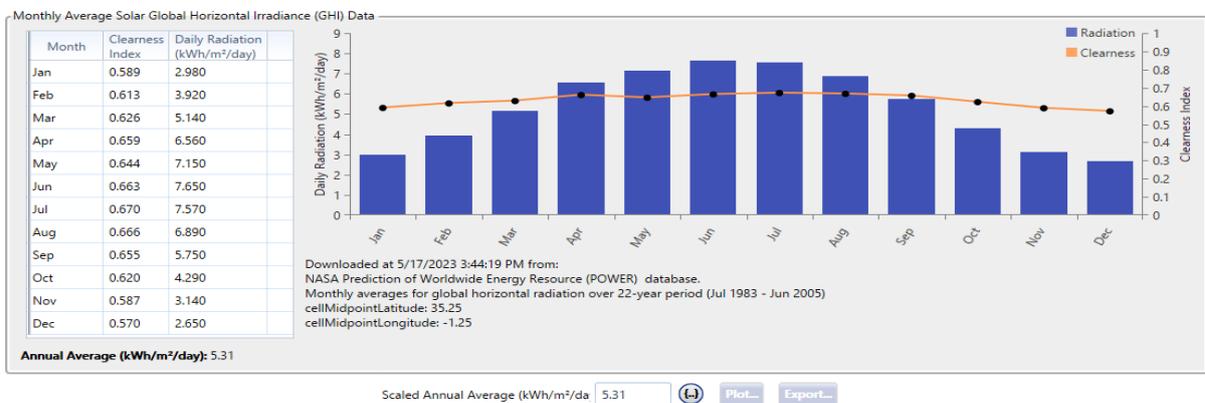


Figure IV.20 : La variation de l'irradiation solaire moyenne et journalière.

La figure ci-dessous présente les variations mensuelles de température du site de Remchi à Tlemcen.



Figure IV.21 : L'évolution des températures mensuelles moyennes de la région.

a. Présentation et schéma d'installation

L'installation choisit est une installation photovoltaïque raccordée au réseau et comporte :

- Des panneaux photovoltaïques monocristallins de 310 KWc de puissance. La puissance d'énergie photovoltaïque installée est entre : 25, 30, 35,40 KW. Le prix du module est à 200 \$. Un onduleur de de capacité entre : 25, 30, 35,40 KW avec 46 \$ pour 1 kW. La durée de vie du système est supposée 25 ans donc les panneaux ne seront pas remplacés. Le prix du KWh acheté du réseau est de 0.04 \$. On suppose que l'excès d'énergie photovoltaïque produite utilisé est non vendu et injectée au réseau.

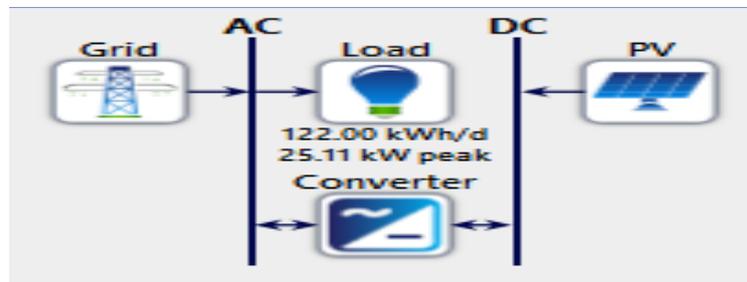


Figure IV.22 : Architecture du système.

Nous pouvons choisir la puissance nécessaires produite des panneaux photovoltaïques dans notre système connecté au réseau est de (25, 30, 35,40) KW de type Generic flat plate PV de 310 Wc.

Properties
 Name: Generic flat plate PV
 Abbreviation: PV
 Panel Type: Flat plate
 Rated Capacity (kW): 40
 Manufacturer: Generic
 www.homerenergy.com
 Notes: This is a generic PV system.

Cost

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
0.31	200.00	200.00	10.00

Lifetime time (years): 25.00

Site Specific Input
 Derating Factor (%): 80.00

Sizing
 HOMER Optimizer™
 Search Space
 kW: 25, 30, 35, 40

Electrical Bus
 AC (selected) DC

Figure IV.23 : Le module PV.

- Pour L'onduleur on choisit l'onduleur de type Huawei technologies et la capacité de entre (25, 30, 35,40) comme illustre la figure ci-dessous :

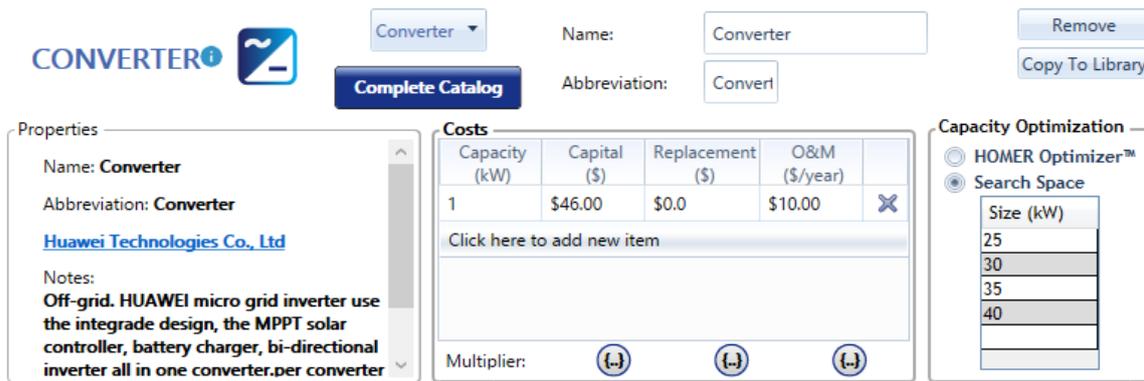


Figure IV.24: Caractéristique de l'onduleur.

- La figure IV.25 illustre les spécifications du réseau électrique dans HOMER, fournissant des détails sur le prix de réseau et de vente Ces informations sont essentielles dans notre étude pour configurer le système photovoltaïque connecté au réseau.

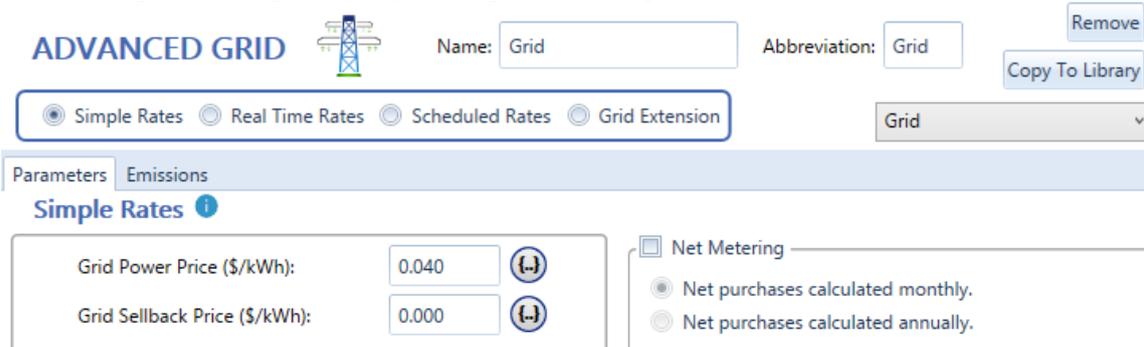


Figure IV.25: Le réseau de site.

b. La production du champ PV et la consommation

La production d'énergie photovoltaïque représente 63.3% de la production totale du système. La figure IV.26 montre la production mensuelle moyenne totale d'électricité sur l'année au cours de laquelle l'énergie électrique produite à partir du système photovoltaïque est supérieure à celle du réseau. Et montre aussi les besoins énergétiques du site fournis par le champ photovoltaïque.

Production	kWh/yr	%
Generic flat plate PV	43,897	63.3
Grid Purchases	25,404	36.7
Total	69,301	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	44,530	65.5
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Grid Sales	23,454	34.5
Total	67,984	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	0	0
Unmet Electric Load	0	0
Capacity Shortage	0	0

Quantity	Value	Units
Renewable Fraction	62.6	%
Max. Renew. Penetration	103	%

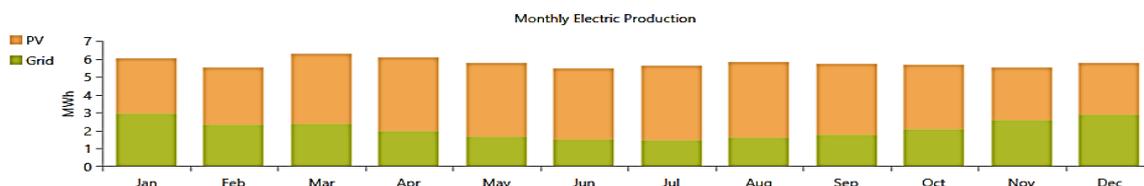


Figure IV.26 : La production électrique totale mensuelle.

La figure IV.27 montre que les pertes annuelles de l'onduleur égal à 1.317 %. Ces chiffres montrent également que la puissance d'entrée d'onduleur est égale à 43 897 kWh/ans, tandis que la puissance annuelle de sortie est estimée à 42 580 kWh/ans.

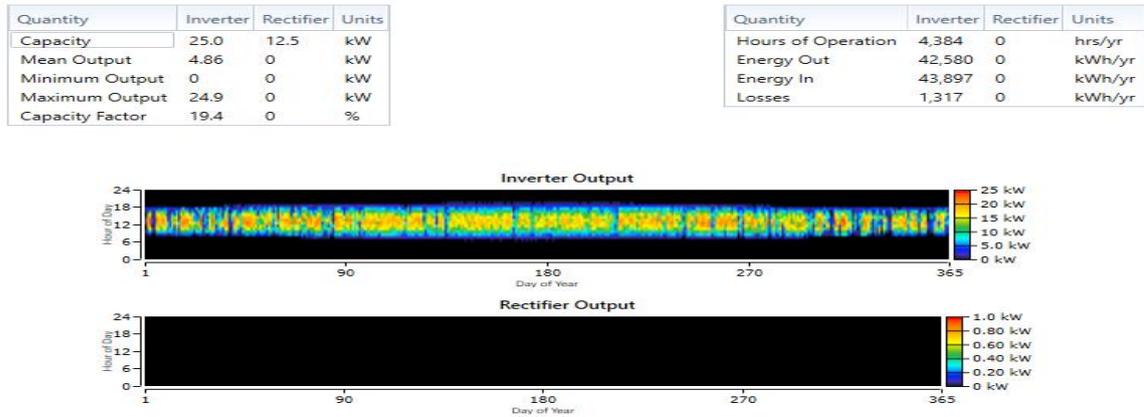


Figure IV.27: Indications puissance de l'onduleur.

c. Evaluation économique

HOMER, un logiciel d'optimisation énergétique, évalue et classe les configurations techniques en fonction de leur coût net actuel (NPC) et de leur coût de l'énergie (COE), afin de déterminer la solution optimale.

Tableau IV.2 : Résultats pour HOMER Pro.

Architecture				Cost				System	PV		Converter
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Capital Cost (\$)	Production (kWh/yr)	Inverter Mean Output (kW)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$44,073	\$0.0501	\$2,073	\$17,279	62.6	16,129	43,897	4.86
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$44,073	\$0.0501	\$2,073	\$17,279	62.6	16,129	43,897	4.86
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$44,949	\$0.0511	\$2,123	\$17,509	62.6	16,129	43,897	4.86
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$44,949	\$0.0511	\$2,123	\$17,509	62.6	16,129	43,897	4.86
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$45,826	\$0.0521	\$2,173	\$17,739	62.6	16,129	43,897	4.86
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$45,826	\$0.0521	\$2,173	\$17,739	62.6	16,129	43,897	4.86
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$46,702	\$0.0531	\$2,223	\$17,969	62.6	16,129	43,897	4.86
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$46,702	\$0.0531	\$2,223	\$17,969	62.6	16,129	43,897	4.86
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$49,038	\$0.0502	\$2,207	\$20,505	67.3	19,355	52,676	5.81
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$49,038	\$0.0502	\$2,207	\$20,505	67.3	19,355	52,676	5.81
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$49,915	\$0.0509	\$2,257	\$20,735	67.4	19,355	52,676	5.83
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$49,915	\$0.0509	\$2,257	\$20,735	67.4	19,355	52,676	5.83
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$50,791	\$0.0518	\$2,307	\$20,965	67.4	19,355	52,676	5.83
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$50,791	\$0.0518	\$2,307	\$20,965	67.4	19,355	52,676	5.83
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$51,668	\$0.0527	\$2,357	\$21,195	67.4	19,355	52,676	5.83
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$51,668	\$0.0527	\$2,357	\$21,195	67.4	19,355	52,676	5.83

Maintenant nous avons sélectionné la solution optimale illustrée dans la Figure suivantes :

Architecture				Cost				System	PV		Converter
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Capital Cost (\$)	Production (kWh/yr)	Inverter Mean Output (kW)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	\$44,073	\$0.0501	\$2,073	\$17,279	62.6	16,129	43,897	4.86

Figure IV.28 : Résultat optimal pour le système PV.

D'après ces résultats on y retrouve les informations suivantes :

- « Zone 1 » icônes des équipements du système et leur capacité :
 - Le champ PV : 25 kW.
 - Le réseau : 1000 kW.
 - L'Onduleur : 25 kW.
- « Zone 2 » l'investissement initial devant être fait :
 - NPC (Net Present Coest) : 44 073\$
 - COE (Coût de l'énergie) : 0.0501\$
 - Initial capital : 17 279 \$
- « Zone 3 » caractéristiques de sortie de champ PV :
 - Capital Cost 16 129 \$.
 - Production 43 897 KWh/ans.
- « Zone 4 » caractéristiques de sortie de l'onduleur : 4.86 KW.

Nous trouvons le coût annuel ou coût de la durée de vie (NPC : Net Present Cost) en \$, catégorisé par type de composants ou par type de coûts. La Figure IV.29 montre NPC détaillé de chaque composant du système optimal et le coût annuel détaillé de chaque composant du système. Nous remarquons que le coût total de la durée de vie de champs PV est supérieur celui de réseau.

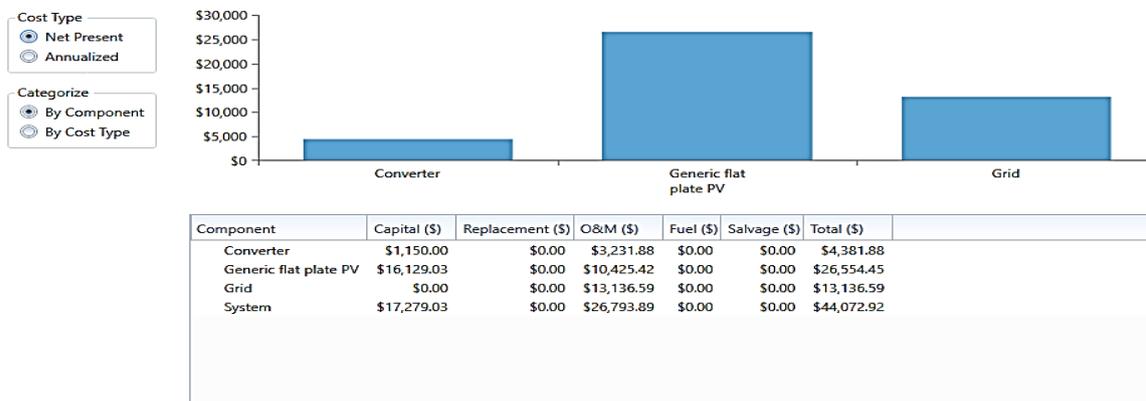


Figure IV.29 : NPC détaillé de chaque composant du système.

Le coût en capital initial du système optimal était de 17 279.03\$, dont les modules PV représentaient environ 93 % et l'onduleur 7 %. Le coût de la connexion au réseau électrique a été considéré comme négligeable en raison de la couverture élevée du service électrique. Tout au long de son cycle de vie, le NPC total du système PV optimal connecté au réseau a été estimé à 44 072.92 \$, il en est résulté un COE de 0.05 \$/kWh. Les revenus tirés de la revente d'électricité renouvelable au réseau à un impact significatif sur la facture énergétique de la ferme.

IV.3 Deuxième étude comparative : Cas d'étude Prince Île-Édouard – Canada [7]

IV.3.1 Présentation de site

Petite ferme laitière à Oyster Bed Bridge, Prince Île-Édouard, Canada Extondale Farms c'est une type d'exploitation laitière à petite échelle que l'on trouve dans toute la région du Canada atlantique.

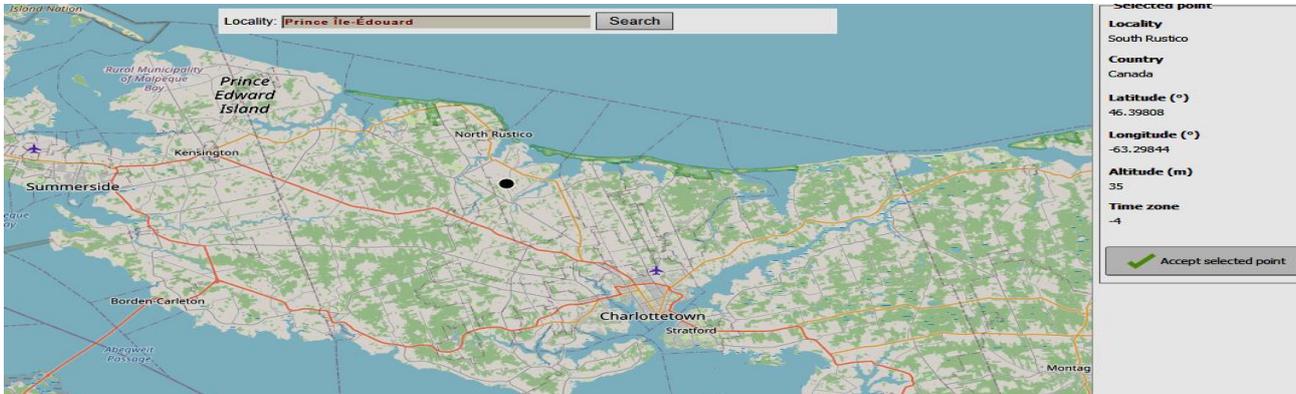


Figure IV.30: Les Cartes Géographiques de Prince Île-Édouard, Canada.

- L'Île-du-Prince-Édouard, au Canada, utilise principalement deux types d'énergies renouvelables : l'énergie éolienne et l'énergie solaire.

Énergie éolienne : L'Île-du-Prince-Édouard bénéficie d'excellentes conditions pour l'énergie éolienne en raison de ses vents forts et constants. L'énergie éolienne est utilisée pour produire de l'électricité à grande échelle sur l'île. Plusieurs parcs éoliens ont été développés, notamment le Parc éolien de North Cape et le Parc éolien d'East Point, qui contribuent significativement à la production d'électricité renouvelable de la province.

Énergie solaire : Bien que l'Île-du-Prince-Édouard ne bénéficie pas d'un ensoleillement aussi important que certaines autres régions du Canada, l'énergie solaire est également utilisée sur l'île. Les installations solaires, telles que les panneaux solaires sur les toits des bâtiments, sont utilisées pour produire de l'électricité et fournir de l'énergie thermique.

L'Île-du-Prince-Édouard s'est engagée à augmenter la part des énergies renouvelables dans son mix énergétique, dans le cadre de ses objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de transition vers une économie plus verte. Le gouvernement provincial a mis en place des politiques et des programmes pour encourager le développement des énergies renouvelables, soutenir l'installation de systèmes solaires et favoriser l'innovation dans le secteur énergétique.

IV.3.2 Calcule de la puissance crête

La consommation électrique de cette ferme est répété sur chaque une de : Chauffage, Ventilation, Réfrigération, Trait, Eclairage,MIsc et Ferme.

Tableau IV.3 : Résultats de l'audit de passage estimant la consommation annuelle d'électricité en fonction des heures de fonctionnement estimées et des cotes de l'équipement.[33]

	Type d'équipement	Durée (h/ans)	Puissance (W)	Nombre	Energie consommé (kWh/ans)
Chauffage	Bureau	4380	500	1	2190
	salle utilitaire	4380	500	1	2190
Ventilation	Moteurs de ventilateur	5000	746	4	14,920
Réfrigération	Compresseurs	2555	5680	2	29,024.8
	Moteur d'agitateur	1095	746	1	816.87
	Pompe de lavage	730	746	1	544.58
Trait	Pompe à vide à vitesse variable	2190	5595	1	12,253.05
Eclairage	Incandescence	5840	100	10	5840
	Fluorescent compact	5840	24	6	840.96
	T8	5840	60	33	11,563.2
	(grange ouverte 1) incandescent	5840	100	10	5840
	(grange ouverte 2) incandescent	5840	100	10	5840
	(chambre frigorifique) incandescent	2920	100	2	584
	(salle de service) T8)	2920	60	1	175.2
	(bureau) incandescent	5840	100	1	584
	Machine à laver	365	500	1	182.5
	Séchoir	365	2500	1	912.5
	Moteur de chaîne de nettoyage	365	2200	1	803

MIsc	Clôture électrique	8760	1.5	1	13.14
	Chargeur de batterie d'alimentation	6570	10	1	65.7
	Moteurs de broyeur d'orge	365	746	1	272.29
Ferme					12,000
Total					107,455.79

La consommation totale d'électricité de la ferme laitière est :

$$E_{\text{Demande}} = 107,455.79 \text{ kWh / ans}$$

$$E_j = 294.3994 \text{ kWh/j}$$

La puissance crête du système PV est calculée par l'équation suivante :

E_j : L'énergie journalière.

P_i : Le solaire à STC (1Kw/m², 25°C).

F : Le facteur déclassement PV(entre 0.85 ; 0.9).

η : Le rendement (95%).

P_c : La puissance crête.

R_g : Le rayonnement solaire global (5.48 kWh/m²/jour).

$$P_c = \frac{E_j * P_i}{R_g * F * \eta_{\text{ond}}}$$

$$P_c = 96.99 \text{ kWc}$$

- Charge journalière moyenne et - température moyenne

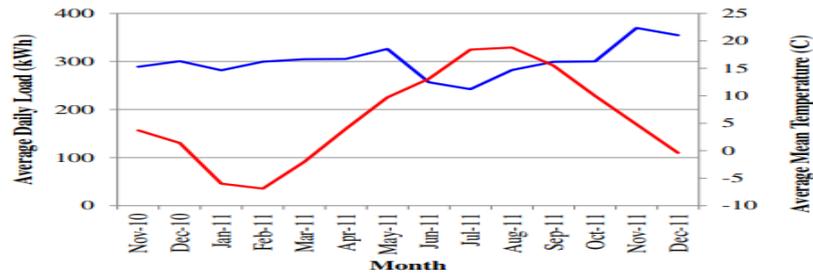


Figure IV.31: Charge journalière moyenne et évolution de la température moyenne.

Avec l'aide du programme Digitizer, nous pouvons extraire les valeurs suivantes :

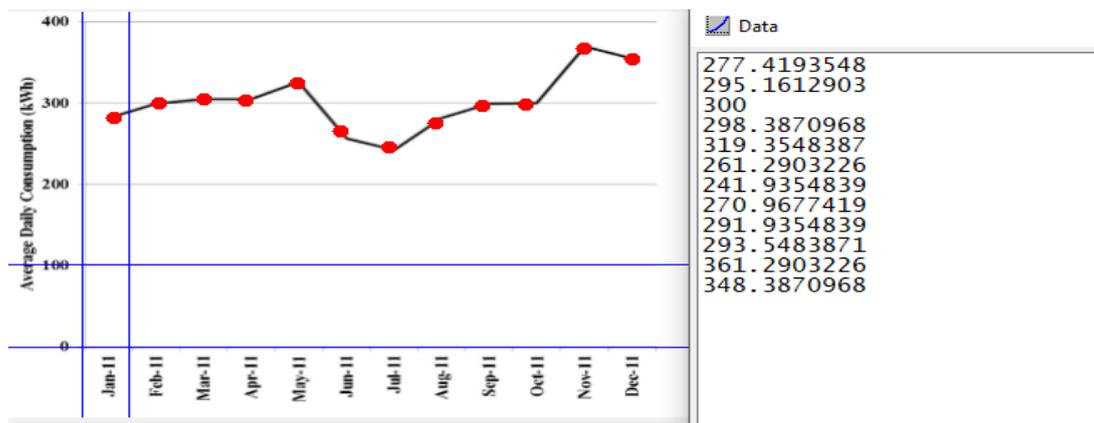


Figure IV.32 : Consommation quotidienne moyenne d'électricité.

Répartition des consommations électriques par secteur :

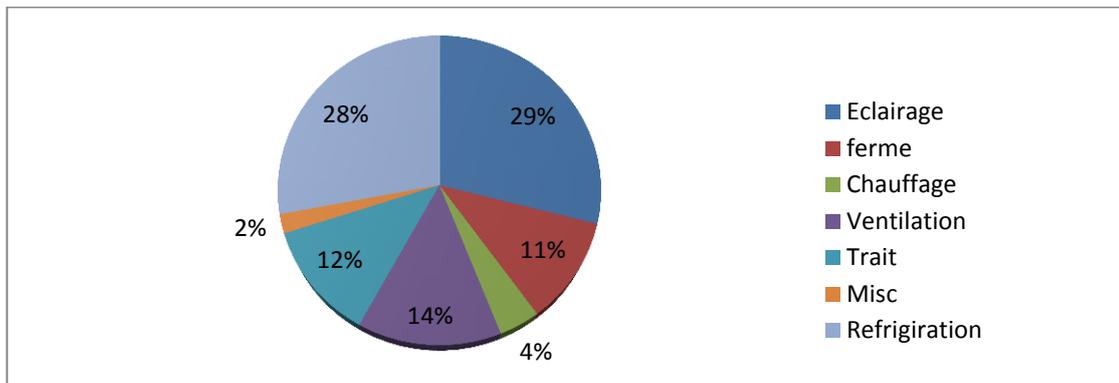


Figure IV.33 : Répartition des consommations électriques par secteur.

IV.3.3 Dimensionnement d'un système photovoltaïque connecté au réseau

On va proposer donc pour cette petite ferme : un système photovoltaïque connecté au réseau.

a. Les Coordonnées Géographiques de site

Pour Prince Île-Édouard, Canada la longitude est de -63.2984 °E, la latitude est de 46.3981° N, L'altitude est 35 mètres.

Figure IV.34 : Les coordonnées géographiques de site avec PV sys.

b. Données Météorologiques

Nous avons trouvé dans le NASA – SSE les coordonnées géographiques et métrologique de la zone de Prince Île-Édouard, le rayonnement horizontal global estimé et la température donnés dans le tableau prises après la simulation avec PVsyst.

Month	Global horizontal irradiation (kWh/m ² /day)	Horizontal diffuse irradiation (kWh/m ² /day)	Temperature (°C)
January	1.35	0.80	-8.3
February	2.14	1.12	-8.8
March	3.26	1.68	-3.6
April	4.30	1.87	3.2
May	5.45	2.47	9.6
June	6.02	2.60	15.5
July	6.02	2.50	19.9
August	5.25	2.22	20.1
September	3.98	1.81	16.1
October	2.41	1.22	9.8
November	1.30	0.79	3.3
December	1.01	0.64	-3.4
Year	3.55	1.65	6.1

Figure IV.35: Irradiation et Température à Prince Île-Édouard (NASA - SSE).

La simulation nécessite des valeurs horaires pour : Irradiation global annuel de ce site Prince Île-Édouard, qu'il est élevé 3.55 kWh/m²/j, Les valeurs d'Irradiation diffuse Horizontal sont: 1.65 kWh/m²/j, la température ambiantes de 6.1° C.

- L'orientation des panneaux

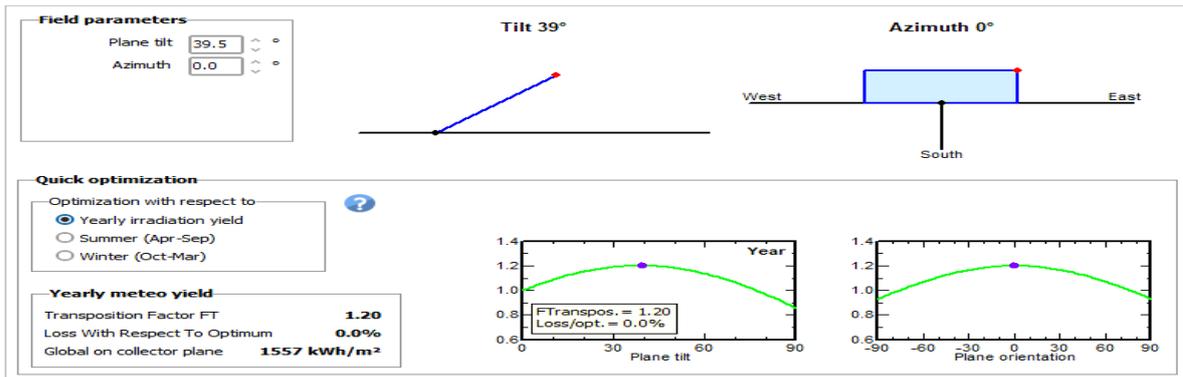


Figure IV.36: Angle d'orientation.

Nous avons choisi un plan incliné fixe d'une inclinaison 39.5° (par rapport à l'horizontale) comme l'illustre la figure c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVsyst, en dehors de cette dernière le rendement diminue.

- Le choix de module PV

Nous avons choisi des modules de «34V/400Wc en Silicium monocristallin», la marque de «LG (since2017, Manufacturer)».et un régulateur de puissance 400 W la marque «SolarEdge Since 2020». La puissance de système photovoltaïque est 100kW.

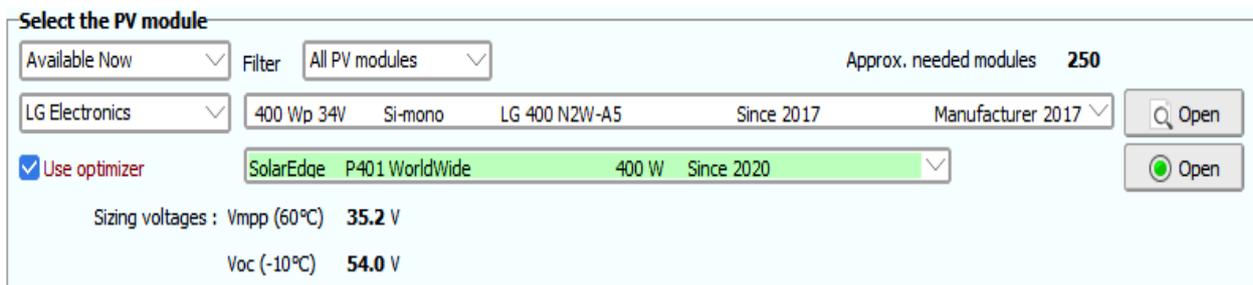


Figure IV.37 : Le module PV.

- Les caractéristiques de module PV

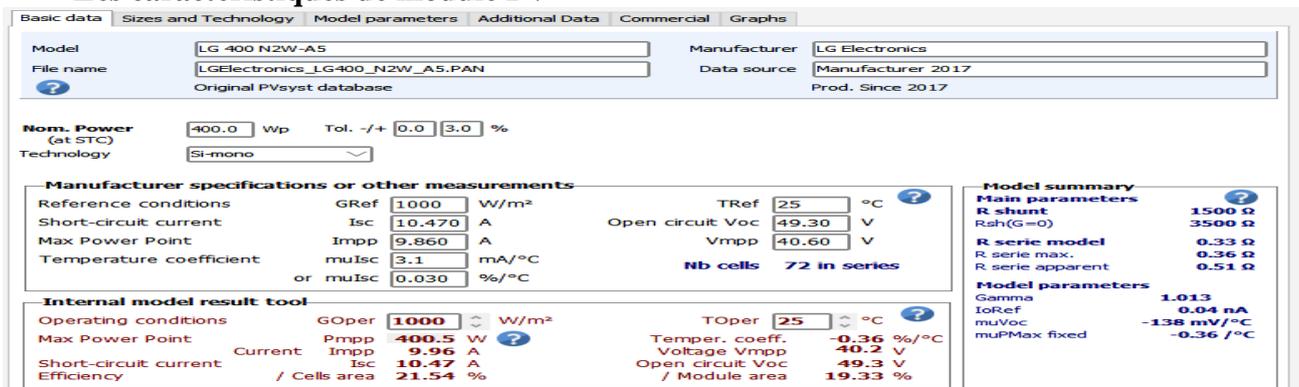


Figure IV.38 : Caractéristiques de module PV.

Basic data		Sizes and Technology	Model parameters	Additional Data	Comme
Description LG Electronics, LG 400 N2W-A5					
Module			Cells		
Length	2024	mm	In series	72	
Width	1024	mm	In parallel	1	
Thickness	40.0	mm	Cell area	258.3	cm ²
Weight	21.70	kg	Total nb. cells	72	
Module area	2.073	m ²	Cells area	1.86	m ²

Figure IV.39 : Les dimensions de module PV.

c. Le choix d'onduleur

L'onduleur choisi pour le réseau : 10 onduleur de 10kW «SolarEdge Since 2019» peuvent caractériser des paramètres indiqués dans la figure suivante :

Select the inverter

Available Now Output voltage 480 V Mono 50Hz

SolarEdge 10 kW Fixed 380 V TL 50/60 Hz SE10000H-EU-APAC/AUS Since 2019 50 Hz

Nb. concerned inv. 10 60 Hz Open

Operating voltage: 380 V Inverter power used 100.0 kWac

Input maximum voltage: 480 V **SolarEdge Architecture**

Strings configuration ?

Figure IV.40 : L'onduleur choisi.

IV.3.4 Résultat de simulation de PVsyst et discussion

a. Schéma simplifié de Système PV proposé

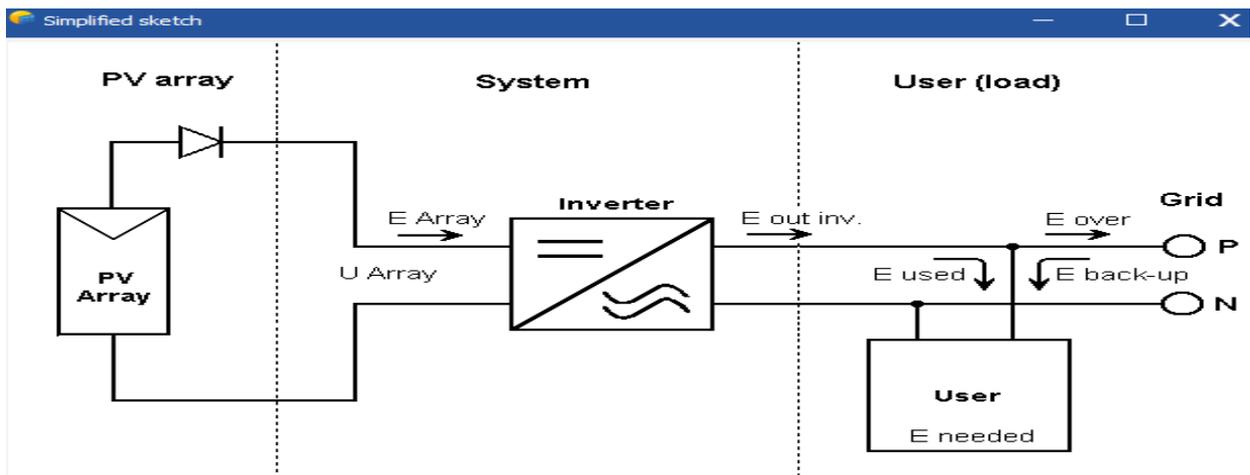


Figure IV.41 : Schéma simplifié du système couplé au réseau pour Canda.

C'est un système de 280 modules PV, 10 onduleurs et la puissance exact de système photovoltaïque est 112kWc.

Global system summary	
Nb. of modules	280
Module area	580 m ²
Nb. of inverters	10
Nominal PV Power	112 kWp
Maximum PV Power	106 kWDC
Nominal AC Power	100.0 kWAC
Pnom ratio	1.120

Figure IV.42 : Détail de système.

b. Production d'énergie

La Figure IV.43 montre l'énergie produite par l'installation photovoltaïque donnée par le logiciel PVsyst durant une année. Sur cette figure on remarquera que l'énergie maximale est produite durant la période d'été (juin, juillet, Aout).L'énergie minimale est produite durant le mois de Décembre.

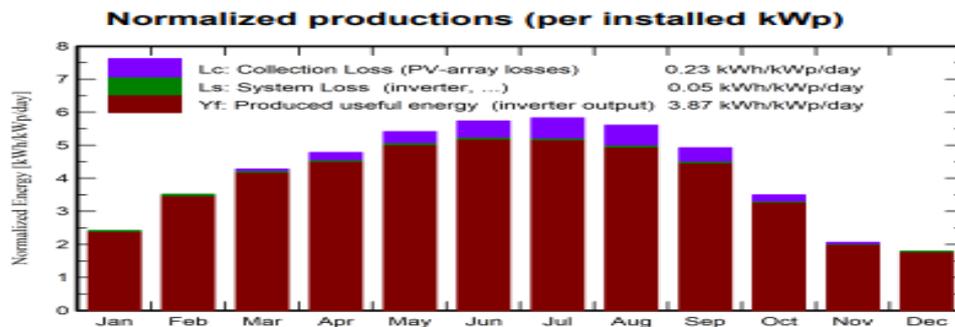


Figure IV.43 : Diagramme de production énergétique.

On a trouvé que :

- Énergie produite annuelle est 158.3 MWh/ans qui est supérieure à le besoin énergétique annuelle de la ferme étudié qui est 107.46 MWh/ans.

c. L'indice de performance

L'indice de performance (PR) est de 93.38% comme indique la figure ; cette valeur montre que l'installation photovoltaïque est efficace.



Figure IV.44 : L'indice de performance.

d. Diagramme des pertes

L'information sur les pertes énergétiques est détaillée sur le diagramme ci-dessous, le diagramme montre les pertes d'énergie de l'énergie reçue jusqu'à l'énergie injecté au réseau.

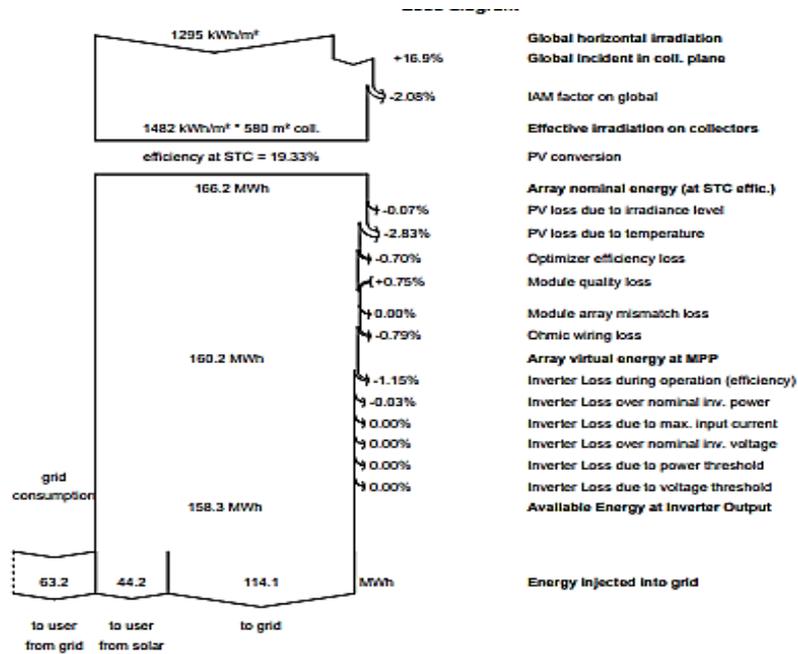


Figure IV.45 : Diagramme des pertes.

Nous remarquons que nous avons des pertes minimales (Pertes du champ PV, Pertes du système (onduleur), Pertes de distribution) et que la plupart des valeurs liées aux pertes sont nulle ; donc le rendement de système photovoltaïque ne diminue pas vraiment, dans les conditions réelles.

Le système photovoltaïque produit environ 158.3MWh.114.1MWh est injecter dans le réseau électrique et 44.2MWh est consommée par la ferme. Donc 41.15 % de l'énergie consommée par la ferme est de l'énergie photovoltaïque et 58.85 % est du réseau électrique.

e. Le Bilan

Le tableau suivant résume le bilan de l'énergie reçu et délivrée par l'installation Photovoltaïque durant une année par mois.

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EfrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
January	41.9	26.84	-8.29	72.6	71.4	8.40	9.126	2.805	5.50	6.321
February	59.9	31.11	-8.81	97.2	95.6	11.03	8.243	2.845	8.06	5.398
March	101.1	53.23	-3.58	132.7	130.2	14.72	9.126	3.829	10.72	5.298
April	129.0	61.56	3.23	143.4	140.1	15.35	8.832	4.054	11.12	4.778
May	169.0	83.70	9.63	167.9	163.8	17.64	9.126	4.754	12.69	4.372
June	180.6	85.05	15.54	172.2	168.3	17.65	8.832	4.721	12.73	4.111
July	186.6	87.01	19.87	180.7	176.6	18.16	9.126	4.821	13.13	4.305
August	162.8	68.72	20.11	173.9	169.9	17.41	9.126	4.405	12.81	4.721
September	119.4	61.07	16.13	147.8	144.8	15.21	8.832	3.963	11.08	4.869
October	74.7	38.88	9.75	108.5	106.7	11.53	9.126	3.203	8.20	5.923
November	39.0	25.53	3.32	62.0	61.0	6.81	8.832	2.438	4.30	6.394
December	31.3	21.48	-3.43	54.7	53.8	6.24	9.126	2.384	3.78	6.743
Year	1295.3	644.19	6.21	1513.7	1482.2	160.16	107.456	44.222	114.09	63.233

Figure IV.46 : Table de bilans et résultats principaux.

IV.3.4 Evaluation économique du projet par Homer

Le cas d'étude est une petite ferme de L'Île-du-Prince-Édouard.



Figure IV.47 : Cordonnées géographiques de la ferme.

La figure ci-dessous illustre le rayonnement mensuel du site d'Île-du-Prince-Édouard obtenu à partir des données fournies par la NASA.

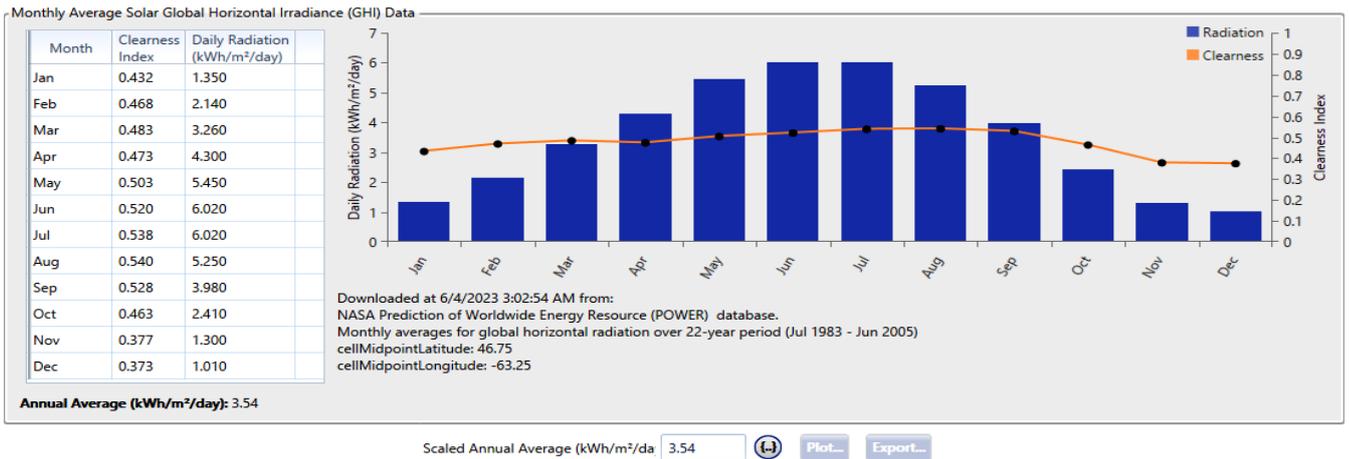


Figure IV.48 : La variation de l'irradiation solaire moyenne et journalière de la région.

- Température mensuels de L'Île-du-Prince-Édouard:
Avec l'aide du programme Digitizer, nous pouvons extraire les valeurs suivantes :

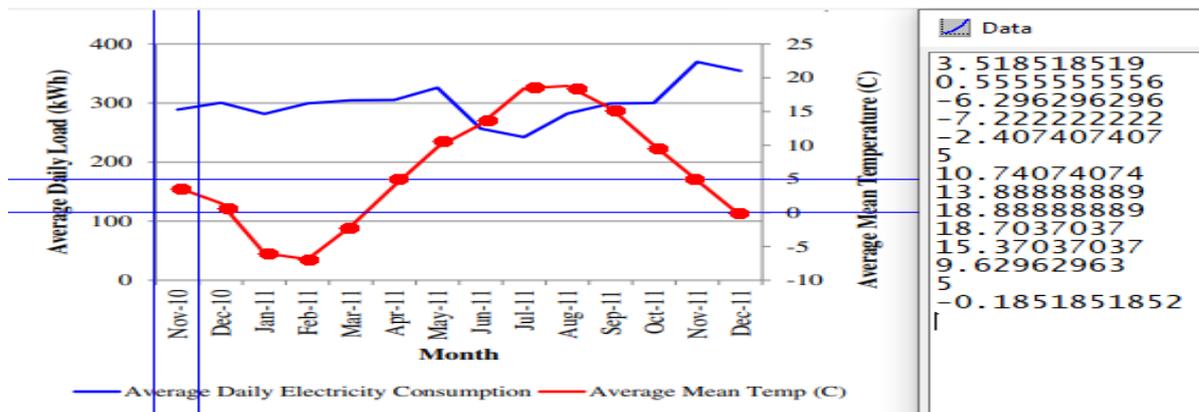


Figure IV.49 : Les températures mensuelles.

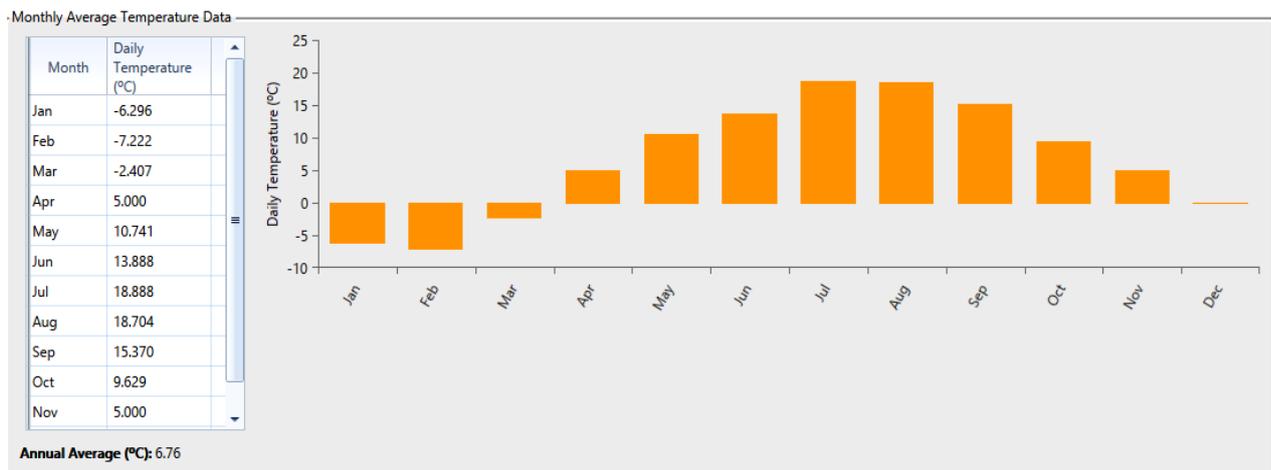


Figure IV.50 : L'évolution des températures mensuelles moyennes de la région.

a. Presentation et schema de installation

Nous avons choisi un système hybride photovoltaïque connecté au réseau, avec une durée de vie de système supposée 25 ans. Tous les systèmes connectés au réseau peuvent répondre à la demande de charge à tout moment, ce qui rend la faisabilité technique assurée pour toutes les configurations connectées au réseau.

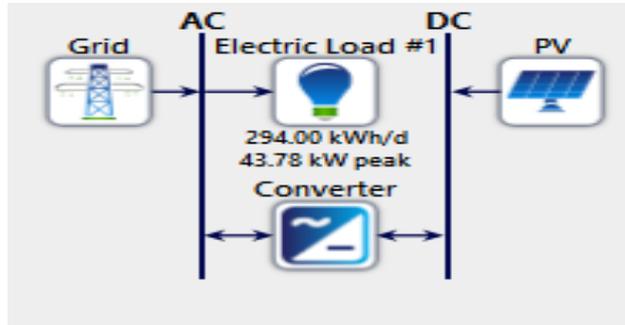


Figure IV.51 : Architecture du système électrique de la ferme.

- Nous pouvons choisir la puissance nécessaire produite des panneaux photovoltaïques dans notre système connecté au réseau est de (90,100,110) KW de type Generic flat plate PV de 310 Wc.

PV  Name: Abbreviation: Remove
Copy To Library

Properties		Cost				Sizing	
Name: Generic flat plate PV Abbreviation: PV Panel Type: Flat plate Rated Capacity (kW): 110 Manufacturer: Generic www.homerenergy.com Notes: This is a generic PV system.		Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)	<input type="radio"/> HOMER Optimizer™ <input checked="" type="radio"/> Search Space	
		0.31	216.99	216.99	10.00	kW 90 100 110	
		Lifetime time (years): <input type="text" value="25.00"/> (-) More...					
		Site Specific Input Derating Factor (%): <input type="text" value="80.00"/> (-)				Electrical Bus <input type="radio"/> AC <input checked="" type="radio"/> DC	

Figure IV.52: Spécifications de module photovoltaïque.

- Pour l'onduleur on choisit l'onduleur de capacité varie entre (90, 100,110) comme illustre la figure ci-dessous :

  System Converter Remove
Copy To Library

Abbreviation:

Properties		Costs				Capacity Optimization	
Name: System Converter Abbreviation: Converter www.homerenergy.com Notes: This is a generic system converter.		Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)	<input checked="" type="radio"/> HOMER Optimizer™ <input type="radio"/> Search Space	
		100	\$1,634.93	\$0.0	\$50.00	Size (kW) 90 100 110	
		Multiplier: <input type="text"/> (-) <input type="text"/> (-) <input type="text"/> (-)					

Figure IV.53: L'onduleur choisi.

ADVANCED GRID

Name:

Abbreviation:

Simple Rates
 Real Time Rates
 Scheduled Rates
 Grid Extension

Grid
▼

Parameters

Simple Rates ⓘ

Grid Power Price (\$/kWh):

Grid Sellback Price (\$/kWh):

Net Metering

- Net purchases calculated monthly.
- Net purchases calculated annually.

Figure IV.54: Le réseau de la région.

b. Spécifications de la consommation

On a les Données du profil de charge quotidienne enregistrées sur le site de l'étude de cas du 13 au 15 février 2012 (Figure IV.55).

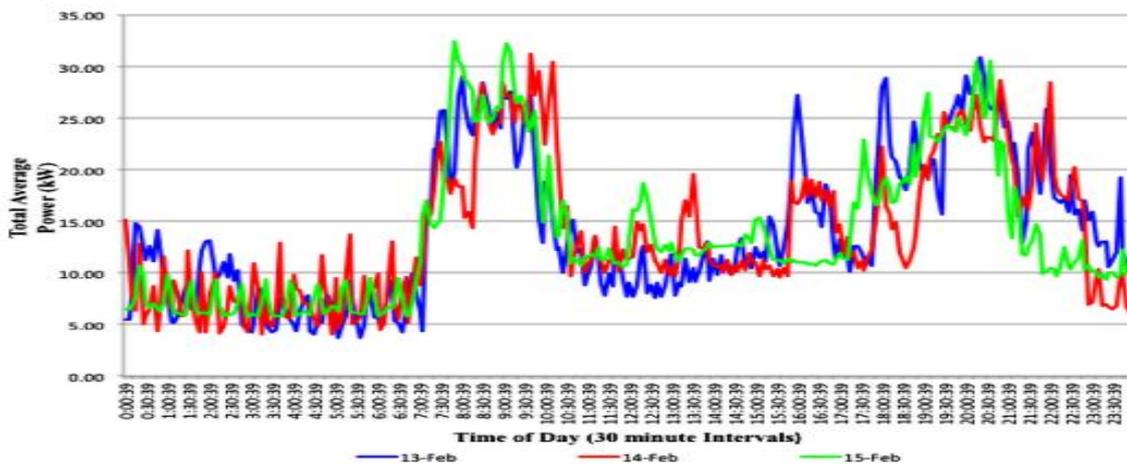


Figure IV.55 : Données du profil de charge quotidienne enregistrées sur le site de l'étude de cas.

On prend les données de « le 15 février » à l'aide de Digitizer figure & tableau suivant :

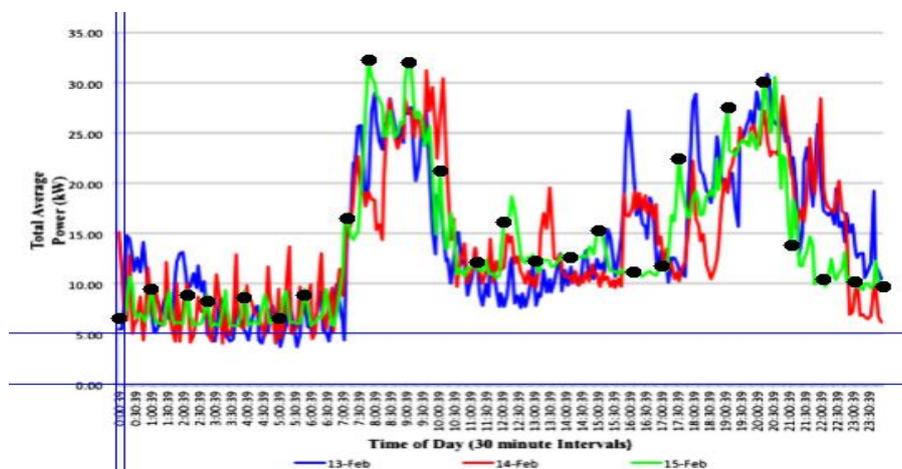


Figure IV.56 : Les données horaire de charge le 15 février (Digitizer).

Tableau IV.4: La charge horaire de ferme le 15 février.[33]

Le temps (Intervalle 1h)	La charge en kW
1 : 00 :39	9.324324324
2: 00 :39	8.716216216
3 : 00 :39	8.108108108
4: 00 :39	8.513513514
5: 00 :39	6.418918919
6: 00 :39	8.716216216
7: 00 :39	16.28378378
8: 00 :39	31.75675676
9: 00 :39	31.62162162
10: 00 :39	20.87837838
11: 00 :39	11.95945946
12: 00 :39	15.87837838
13: 00 :39	12.09459459
14: 00 :39	12.43243243
15: 00 :39	15
16: 00 :39	10.94594595
17: 00 :39	11.55405405
18: 00 :39	22.16216216
19: 00 :39	27.09459459
20: 00 :39	29.66216216
21: 00 :39	13.58108108
22: 00 :39	10.2027027
23: 00 :39	10
00 : 00 :39	9.527027027

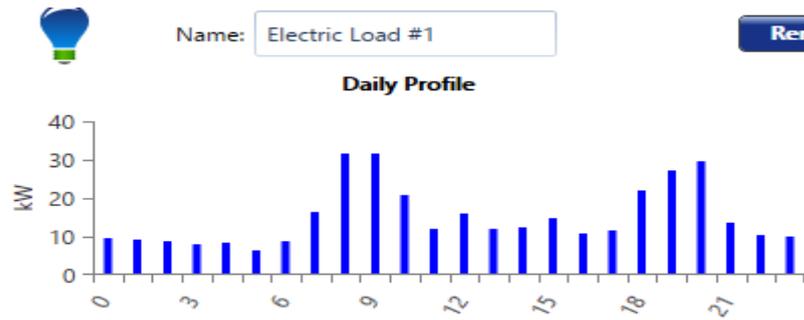


Figure IV.57 : Profil journalier de la consommation électrique (1h jusqu'à 21h).

IV.3.5 Résultat et discussion de simulation de HOMER

On résume dans le tableau les caractéristiques technico-économique du système :

Tableau IV.5 : les caractéristiques technico-économique du système.

Composant	Modèle	Taille (kW)	Cout initial (\$)	Cout de remplacement(\$)	Entretien (\$)	Durée de vie (ans)
Modules photovoltaïques	Generic	0.31	216.99	216.99	10	25
Convertisseur	Generic	100	1,634.93	0	50	15

Le logiciel HOMER, spécialisé dans l'optimisation des systèmes énergétiques, réalise des simulations sur une année complète en utilisant des données horaires. Il évalue toutes les configurations techniquement réalisables et les classe en fonction de leur coût net actuel (NPC) et le coût de l'énergie (COE). La configuration la plus économique est sélectionnée pour chaque catégorie et présentée comme la solution optimale selon HOMER.

Après le lancement du calcul, Homer donne plusieurs des solutions dans le Tableau suivant :

Tableau IV.6 : Résultat pour Homer Pro .

	PV (kW)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren. Frac (%)	Capital Cost (\$)	Production (kWh/yr)	Rectifier Mean Output (kW)	Inverter Mean Output (kW)
	90.0	999,999	90.0	\$146,132	\$0.0679	\$6,317	\$64,469	62.0	62,997	108,626	0	11.8
	90.0	999,999	90.0	\$146,132	\$0.0679	\$6,317	\$64,469	62.0	62,997	108,626	0	11.8
	90.0	999,999	100	\$146,360	\$0.0680	\$6,322	\$64,632	62.0	62,997	108,626	0	11.8
	90.0	999,999	100	\$146,360	\$0.0680	\$6,322	\$64,632	62.0	62,997	108,626	0	11.8
	90.0	999,999	110	\$146,588	\$0.0681	\$6,327	\$64,796	62.0	62,997	108,626	0	11.8
	90.0	999,999	110	\$146,588	\$0.0681	\$6,327	\$64,796	62.0	62,997	108,626	0	11.8
	100	999,999	90.0	\$149,180	\$0.0653	\$6,011	\$71,468	64.8	69,997	120,696	0	13.1
	100	999,999	90.0	\$149,180	\$0.0653	\$6,011	\$71,468	64.8	69,997	120,696	0	13.1
	100	999,999	100	\$149,391	\$0.0654	\$6,015	\$71,632	64.9	69,997	120,696	0	13.1
	100	999,999	100	\$149,391	\$0.0654	\$6,015	\$71,632	64.9	69,997	120,696	0	13.1
	100	999,999	110	\$149,619	\$0.0655	\$6,020	\$71,795	64.9	69,997	120,696	0	13.1
	100	999,999	110	\$149,619	\$0.0655	\$6,020	\$71,795	64.9	69,997	120,696	0	13.1
	110	999,999	90.0	\$152,497	\$0.0631	\$5,726	\$78,468	67.3	76,996	132,765	0	14.4
	110	999,999	90.0	\$152,497	\$0.0631	\$5,726	\$78,468	67.3	76,996	132,765	0	14.4
	110	999,999	100	\$152,542	\$0.0630	\$5,717	\$78,631	67.3	76,996	132,765	0	14.4
	110	999,999	100	\$152,542	\$0.0630	\$5,717	\$78,631	67.3	76,996	132,765	0	14.4

PV (kW)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Capital Cost (\$)	Production (kWh/yr)	Rectifier Mean Output (kW)	Inverter Mean Output (kW)
90.0	999,999	90.0	\$146,132	\$0.0679	\$6,317	\$64,469	62.0	62,997	108,626	0	11.8

Figure IV.58 : Résultat optimale sélectionnée par Homer.

- La solution optimal sélectionnée est un système PV de 90kW et onduleur de 90kW ; leur coût net actuel (NPC) : 146,132 \$ et le coût de l'énergie (COE) : 0.0679 \$; avec un capitale de 62,997 \$.
 - 62 % de l'énergie consommée est dû les énergies renouvelables.
- a. La production électrique mensuelle**

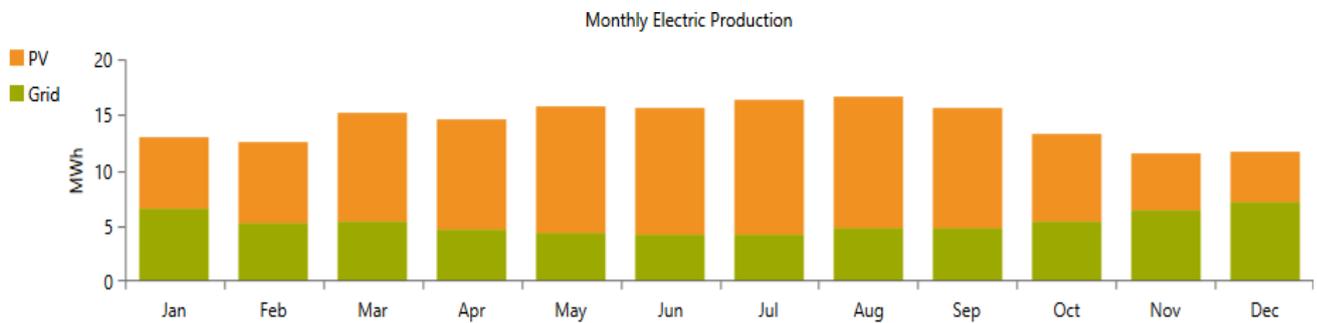
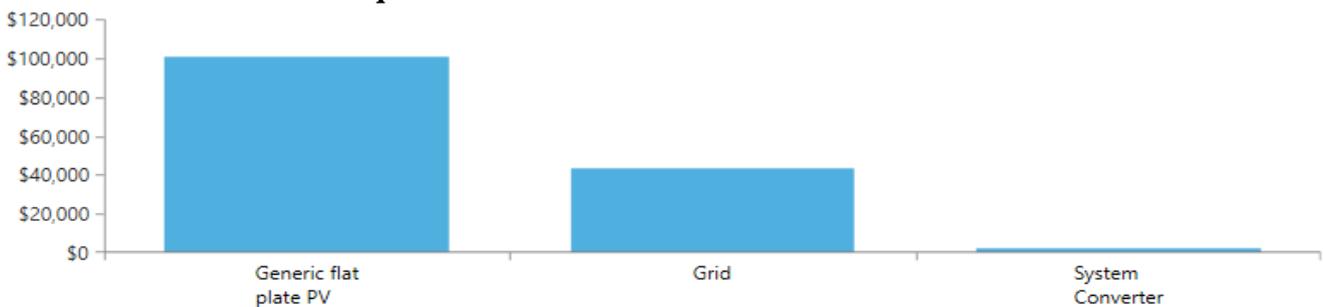


Figure IV.59 : la production électrique totale mensuelle.

- On remarque La production d'énergie est largement dominée par l'énergie photovoltaïque, qui constitue la principale source d'énergie générée.

b. Evaluation économique :



Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
Generic flat plate PV	\$62,997.10	\$0.00	\$37,531.50	\$0.00	\$0.00	\$100,528.60
Grid	\$0.00	\$0.00	\$43,550.19	\$0.00	\$0.00	\$43,550.19
System Converter	\$1,471.44	\$0.00	\$581.74	\$0.00	\$0.00	\$2,053.18
System	\$64,468.53	\$0.00	\$81,663.43	\$0.00	\$0.00	\$146,131.96

Figure IV.60: NPC détailler de chaque composant du système.

- Nous remarquons que le coût total de de champs PV est supérieur à celui de réseau.

c. Les détails du convertisseur :

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	90.0	90.0	kW
Mean Output	11.8	0	kW
Minimum Output	0	0	kW
Maximum Output	87.9	0	kW
Capacity Factor	13.1	0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of Operation	4,372	0	hrs/yr
Energy Out	103,195	0	kWh/yr
Energy In	108,626	0	kWh/yr
Losses	5,431	0	kWh/yr

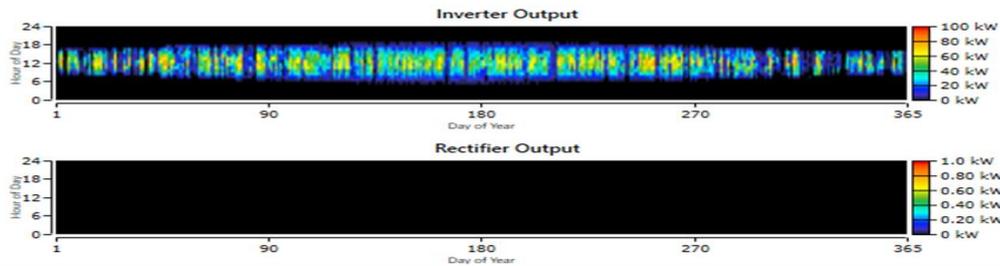


Figure IV.61: Specification du convertisseur.

IV.4 Synthèse comparative entre les deux cas d'études

IV.4.1 Production d'énergie solaire

En utilisant les résultats de la simulation avec PVSyst où nous comparons la production d'énergie solaire dans les deux fermes :

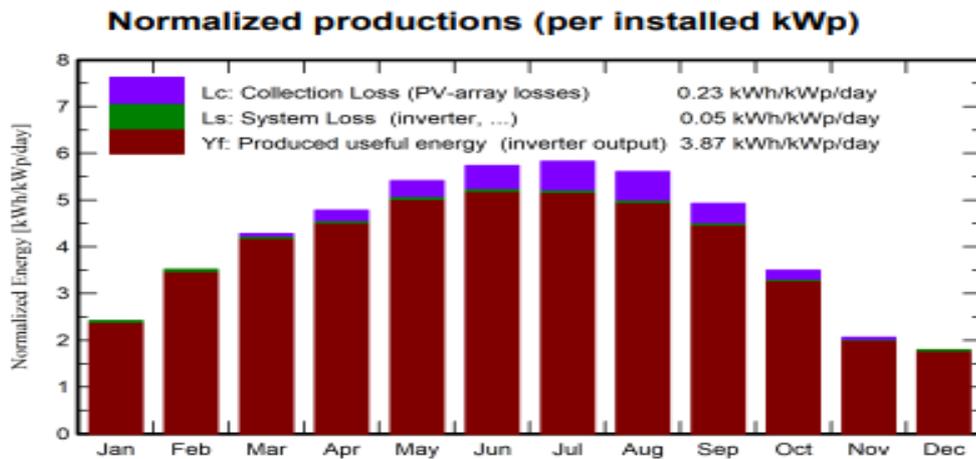


Figure IV.62 : Diagramme de production énergétique pour Canada.

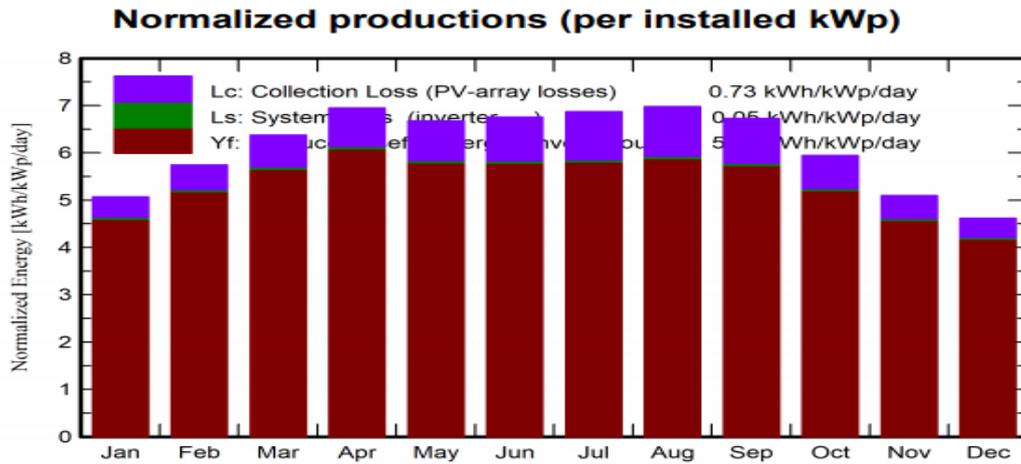


Figure IV.63: Production normalisées (par kWp installé).pour Tlemcen.

Les deux diagrammes de production énergétique du logiciel PVsyst met en évidence des variations saisonnières similaires, mais avec des niveaux de production différents. Le premier diagramme de Canada montre une production plus élevée pendant les mois d’été, tandis que le deuxième diagramme de Tlemcen présente une production plus équilibrée tout au long de l’année. Ces différences peuvent être attribuées aux conditions climatiques et aux caractéristiques techniques des installations, telles que l’orientation des panneaux solaires et l’inclinaison optimale.

IV.4.2 Consommation électrique

Les besoins en électricité pour l’éclairage, les équipements laitiers, la ventilation, la réfrigération, etc. Pour les deux fermes :

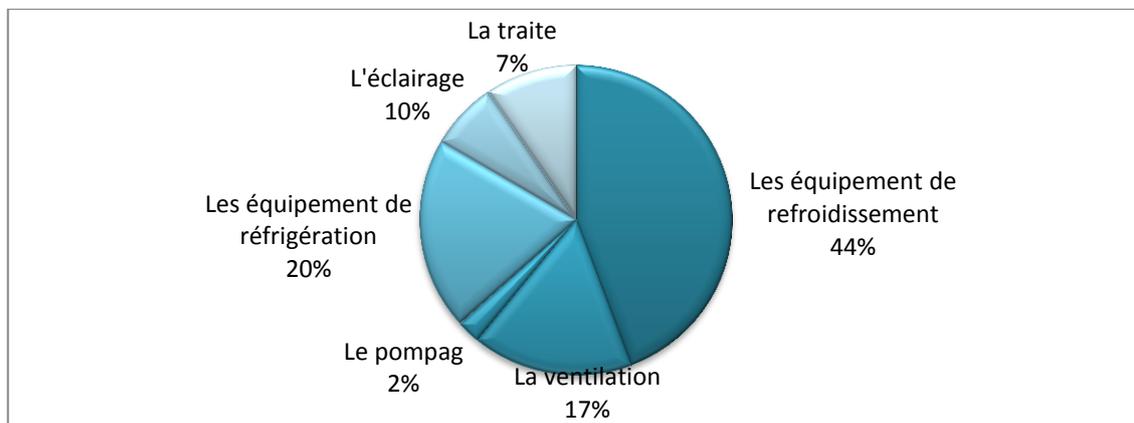


Figure IV.64 : Répartition de la consommation annuelle d’énergie électrique pour Tlemcen.

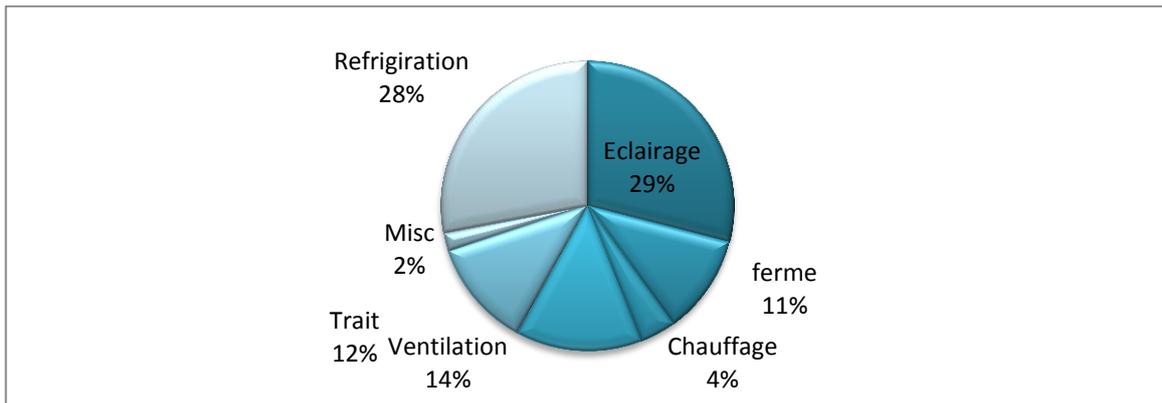


Figure IV.65 : Répartition des consommations électriques par secteur pour Canada.

IV.4.3 Autonomie énergétique

En utilisant les résultats de la simulation avec Homer. On va comparez la capacité des systèmes énergétiques à répondre aux besoins énergétiques de la ferme sans dépendre du réseau électrique externe.

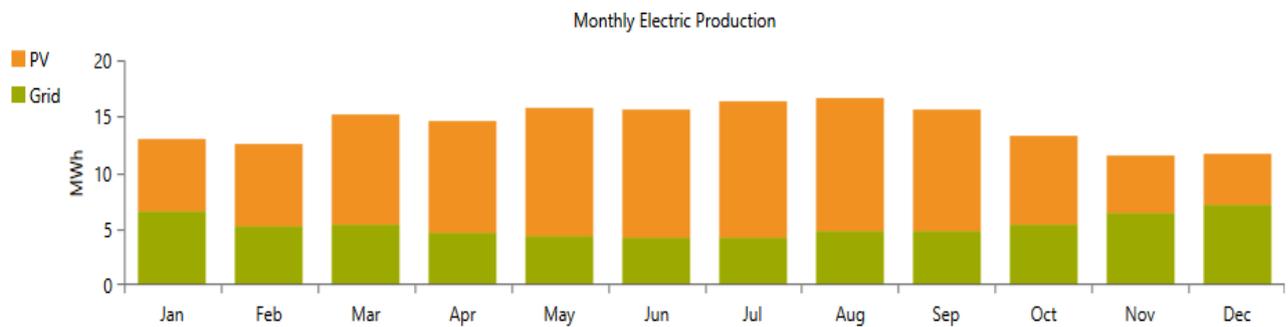


Figure IV.66 : La production électrique totale mensuelle (Canada).

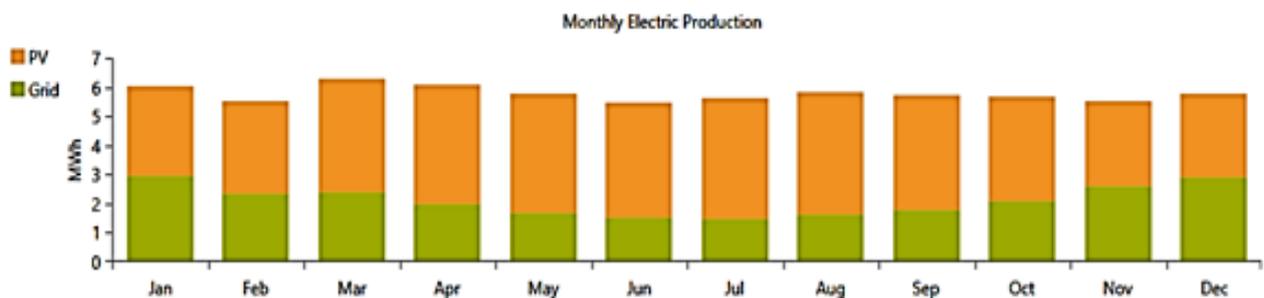


Figure IV.67 : La production électrique totale mensuelle(Tlemcen).

On remarque que la plupart d'énergie produite est du l'énergie photovoltaïque pour Canada et aussi Tlemcen.

IV.4.4 Composants du système

Les composants spécifiques dans les systèmes utilisés pour les deux fermes.

Pour la ferme de Remchi (Tlemcen):

Global system summary	
Nb. of modules	102
Module area	175 m ²
Nb. of inverters	6
Nominal PV Power	31.6 kWp
Maximum PV Power	30.7 kWDC
Nominal AC Power	30.0 kWAC
Pnom ratio	1.054

Figure IV.68 : Résumer de composant de système PV(Remchi).

Pour la ferme de Prince Ile-Edouard (Canada):

Global system summary	
Nb. of modules	280
Module area	580 m ²
Nb. of inverters	10
Nominal PV Power	112 kWp
Maximum PV Power	106 kWDC
Nominal AC Power	100.0 kWAC
Pnom ratio	1.120

Figure IV.69 : Résumer de composant de système PV(Canada).

IV.4.5 Connexion au réseau

Les deux systèmes sont connectés au réseau électrique, mais leur intégration dans le réseau diffère entre le Canada et Tlemcen. Au Canada, l'intégration dans le réseau est possible car le réseau électrique est stable et bien développé. En revanche, en Algérie, notamment à Tlemcen, l'intégration dans le réseau pose des défis en raison de l'instabilité du réseau électrique. Cela peut rendre difficile l'exploitation optimale des installations photovoltaïques pour l'alimentation en électricité de la ferme pilote.

IV.4.6 Synthèse comparative

Pour faire la comparaison entre deux fermes pilotes laitières, l'une à Tlemcen en Algérie et l'autre au Canada, après la simulation avec PVsyst et Homer, nous pouvons prendre en compte plusieurs aspects pour la comparaison.

- *Aspects Techniques*

- Tlemcen (Algérie) : L'intégration de l'énergie solaire dans les fermes pilotes laitières de Tlemcen peut être techniquement plus complexe en raison de l'instabilité du réseau électrique local. Cela peut nécessiter des solutions de stockage d'énergie et une gestion intelligente de la production solaire pour assurer une alimentation électrique stable.
- Canada : Les fermes pilotes laitières au Canada bénéficient généralement d'un réseau électrique stable et bien développé, ce qui facilite l'intégration de l'énergie solaire. Les systèmes photovoltaïques peuvent être dimensionnés en fonction des besoins énergétiques de la ferme, avec la possibilité d'injecter l'excédent d'énergie dans le réseau.

- *Aspects Économiques*

- Tlemcen (Algérie) : En raison de la situation du réseau électrique instable, les coûts liés à l'intégration de l'énergie solaire peuvent être plus élevés. Des investissements supplémentaires peuvent être nécessaires pour la mise en place de systèmes de stockage d'énergie ou de solutions de secours pour garantir une alimentation électrique continue.
- Canada : Les fermes pilotes laitières au Canada peuvent bénéficier de tarifs d'achat d'électricité solaire et d'incitations gouvernementales, ce qui peut réduire les coûts initiaux d'installation des systèmes photovoltaïques. De plus, la réduction des factures d'électricité à long terme peut contribuer à la rentabilité globale de l'intégration de l'énergie solaire.

- *Aspects Environnementaux*

- Tlemcen (Algérie) : L'utilisation de l'énergie solaire dans les fermes pilotes laitières de Tlemcen permet de réduire la dépendance aux combustibles fossiles et les émissions de gaz à effet de serre. Cela contribue à atténuer l'impact environnemental et à promouvoir le développement durable dans la région.
- Canada : L'intégration de l'énergie solaire dans les fermes pilotes laitières au Canada contribue également à la réduction des émissions de carbone et à la transition vers une économie à faible émission de carbone. Cela aide à préserver l'environnement et à répondre aux objectifs de durabilité du pays.

En résumé, l'intégration de l'énergie solaire dans les fermes pilotes laitières de Tlemcen en Algérie et du Canada présente des différences significatives en termes d'aspects techniques, économiques et environnementaux. Alors que le Canada bénéficie d'un réseau électrique stable et de mesures incitatives favorables, Tlemcen fait face à des défis liés à l'instabilité du réseau. Néanmoins, les deux régions peuvent tirer parti de l'énergie solaire pour réduire les émissions de carbone et promouvoir la durabilité dans le secteur laitier.

IV.5 Conclusion

L'analyse approfondie de ces deux cas permet de mieux comprendre les avantages, les défis et les opportunités de cette approche dans le contexte de l'agriculture durable en Algérie. Ces connaissances sont précieuses pour orienter les décisions de planification et d'investissement dans le secteur agricole algérien, en favorisant une meilleure compréhension des bénéfices potentiels de l'intégration des énergies renouvelables. Les conclusions et recommandations tirées de cette analyse peuvent guider les décideurs et les acteurs du secteur agricole dans l'adoption efficace et rentable des systèmes photovoltaïques, contribuant ainsi à la promotion d'une agriculture durable et respectueuse de l'environnement en Algérie.

CHAPITRE V

Intégration du système PV a la ferme laitière de Bouromie -Bli

V.1 Introduction

Ce dernier chapitre de notre mémoire se focalise sur la simulation et l'analyse de l'intégration de systèmes photovoltaïques dans une ferme pilote existante en Blida - Bouromie, en utilisant le logiciel HOMER.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la faisabilité technique et économique de cette intégration dans le contexte spécifique de la ferme pilote étudiée. Nous commencerons par présenter brièvement la ferme pilote en mettant en évidence sa position géographique, son type de production, ses équipements et sa consommation électrique. Ensuite, nous détaillerons la méthode de simulation utilisée avec le logiciel HOMER afin d'évaluer les performances du système photovoltaïque intégré.

Nous analyserons les résultats obtenus pour fournir des informations précieuses sur l'efficacité de l'intégration des systèmes photovoltaïques dans le contexte spécifique de cette exploitation agricole. Nous examinerons notamment la production d'énergie solaire, les coûts associés et les éventuelles économies d'énergie réalisées grâce à cette intégration.

V.2 Présentation de la ferme Bouromie-Blida

Notre étude de cas porte sur une ferme laitière située à El Affron en Blida, avec une latitude de 36,28 et une longitude de 2,38 figures V.1. Cette ferme appartenant à Islam Ashour s'étend sur une superficie de 11 hectares, comprenant 1 hectare de bâtiments d'élevage et le reste dédié à diverses productions agricoles. Elle compte au total 148 vaches, dont 81 vaches laitières.



Figure V.1 : La position géographique de la ferme.

Tableau V.1 : La production laitière de la ferme en 2016.

<i>Mois</i>	<i>Production de laits (L)</i>
<i>Janvier</i>	<i>30924</i>
<i>Fevrier</i>	<i>29924</i>
<i>Mars</i>	<i>26730</i>
<i>Avril</i>	<i>24302</i>
<i>Mai</i>	<i>37883</i>
<i>juin</i>	<i>45108</i>
<i>Juillet</i>	<i>48807</i>
<i>Aout</i>	<i>51976</i>
<i>Septembre</i>	<i>45106</i>
<i>Octobre</i>	<i>43366</i>
<i>Novembre</i>	<i>40913</i>
<i>Decembre</i>	<i>40518</i>

V.3 Profil de charge de la ferme

Le profil de charge a été estimé à partir des factures mensuelles de consommation d'électricité de 2016. Cependant, il n'a pas été possible d'évaluer avec précision le profil de charge horaire pour l'ensemble de l'année. Par conséquent, nous avons analysé la consommation mensuelle d'électricité en tenant compte des principales activités agricoles présentes dans la ferme, telles que les bâtiments d'élevage l'alimentation, la traite, le refroidissement du lait, le pompage, etc

Tableau V.2 : La consommation électrique de la ferme en 2016.

Année (2016)	L'énergie consommée (kWh)		
	Nuit	Jour	Totale
Janvier	1227	1675	2902
Fevrier	3903	8278	12181
Mars	3198	5384	8582
Avril	2892	5054	7946
Mai	2938	5639	8577
Juin	2540	7314	9854
Juillet	2851	9657	12508
Aout	2942	8594	11536
Septembre	3592	9595	13187
Octobre	3736	8975	12711
Novembre	3862	7496	11358
Decembre	3975	6857	10832

- L'énergie annuelle consommé est :

$$E_{\text{Demande}} = 122,174 \text{ kW/ans}$$

- La puissance crête du système PV est calculée par l'équation suivante :

$$P_c = 32 \text{ kWc.}$$

La consommation énergétique annuelle de la ferme est de 122 174 MWh/an. La Figure V.2 résume graphiquement les profils mensuels types observés pour l'année 2016. On peut observer deux pics de consommation en septembre avec 13 187 kWh et en octobre avec 12 711 kWh. Ces pics de consommation correspondent généralement au chauffage des bâtiments d'élevage et à l'éclairage supplémentaire nécessaire pendant cette période

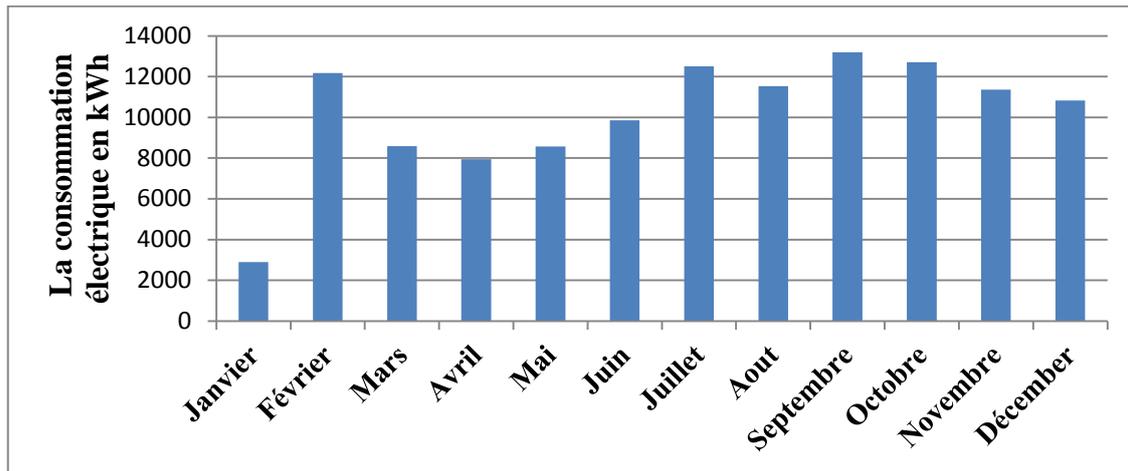


Figure V.2: Consommation électrique mensuelle de la ferme pour l'année 2016.

V.4 Evaluation économique avec Homer

Comme mentionné précédemment dans cette étape du projet, nous procédons à des simulations afin de déterminer la faisabilité de l'utilisation d'énergies renouvelables dans la ferme étudiée

V.4.1 Définition du projet

Le cas d'étude est une ferme laitière située dans zone de la wilaya de Blida- Bouromie ; la figure suivante présente la définition de projet dans le logiciel Homer.



Figure V.3 : Cordonnées géographiques de la ferme.

- Rayonnement mensuels de Bouromie

La figure ci-dessous illustre le rayonnement mensuel du site de Bouromie Blida, obtenu à partir des données fournies par la NASA. Elle montre les niveaux de rayonnement solaire mensuels tout au long de l'année, fournissant ainsi des informations précieuses sur la disponibilité de l'énergie solaire à ce site spécifique.



Figure V.4 : La variation de l'irradiation solaire moyenne et journalière de la zone étudiée.

- Température mensuels de Bouromie

La figure ci-dessous présente les variations mensuelles de température du site de Bouromie Blida.



Figure V.5 : La variation de la température de la zone étudiée.

V.4.2 Présentation et schéma d'installation

L'installation choisit est une installation photovoltaïque raccordée au réseau comporte des panneaux photovoltaïques monocristallins de 310 KWc de puissance, pour une charge de 439.57 kWh/d.

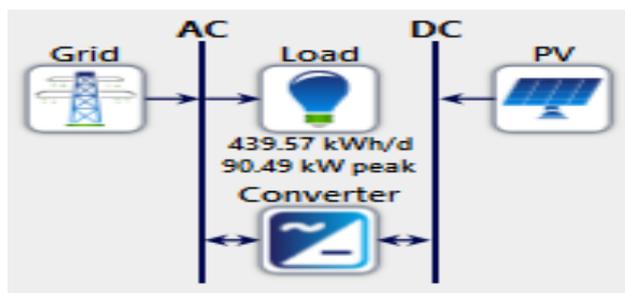


Figure V.6 : L'architecture de système électrique de la ferme (Bouromie).

- Spécifications des panneaux solaires photovoltaïques

Les modules photovoltaïque choisie sont des modules de Generic flat plate PV , avec un capitale de 20,000DA ; et un durée de vie de 25ans.

Capacity (kW)	Capital (DA)	Replacement (DA)	O&M (DA/year)
0.31	20,000.00	20,000.00	100.00

Lifetime time (years): 25.00

Derating Factor (%): 80.00

Electrical Bus: AC DC

Figure V.7 : Spécification de panneaux.

- Spécifications du convertisseur

On a choisie un système de conversion du puissance entre 100kW et 200kW.

Capacity (kW)	Capital (DA)	Replacement (DA)	O&M (\$/year)
1	DA6,244.90	DA0.0	DA200.00

Multiplier: [] [] []

Figure V.8 : Spécification de convertisseur.

- Spécifications du Grid

La figure suivante illustre les spécifications du réseau électrique dans HOMER Ces informations sont essentielles pour configurer le système photovoltaïque connecté au réseau. Le prix de 1kwh est 5.4DA et on a pas l'injection dans le réseaux .

Simple Rates Real Time Rates Scheduled Rates Grid Extension

Grid Power Price (DA/kWh): 5.400

Grid Sellback Price (DA/kWh): 0.000

Figure V.9 : Les paramètres du réseau électrique.

V.2.3 Résultats et discussions

Après le lancement du calcul, Homer donne plusieurs solutions, la solution optimale illustrée dans la figure suivantes :

PV (kW)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (DA)	COE (DA)	Operating cost (DA/yr)	Initial capital (DA)	Ren Frac (%)	Capital Cost (DA)	Production (kWh/yr)	Rectifier Mean Output (kW)	Inverter Mean Output (kW)
31.3	999,999	23.8	DA9.54M	DA4.42	DA570,051	DA2.17M	38.4	2,020,363	67,516	0	7.32
	999,999		DA11.2M	DA5.40	DA866,393	DA0.00	0				

Figure V.10 : Résultat optimal pour le système PV.

La ferme de Boroumie nécessite un système photovoltaïque de 31.3 kWc avec un onduleur de 324 kW pour répondre à sa consommation d'énergie.

- La production du champ PV et la consommation

La production totale d'énergie par le système proposé est de 1 70 330 kWh par an. Dans la Fig V.11. La production mensuelle d'électricité et la consommation annuelle d'énergie par la charge AC ont été représentées avec la contribution de chaque composant. Comme déduit de la figure, 39 % de l'énergie a été obtenue à partir du PV en raison de la présence d'une forte ressource solaire dans la région d'étude. La puissance de sortie du PV est illustrée à la Fig V.12.

Production	kWh/yr	%
Generic flat plate PV	67,516	39.6
Grid Purchases	102,814	60.4
Total	170,330	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	160,443	96.1
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Grid Sales	6,467	3.87
Total	166,910	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	47.1	0.0277
Unmet Electric Load	0	0
Capacity Shortage	0	0

Quantity	Value	Units
Renewable Fraction	38.4	%
Max. Renew. Penetration	107	%

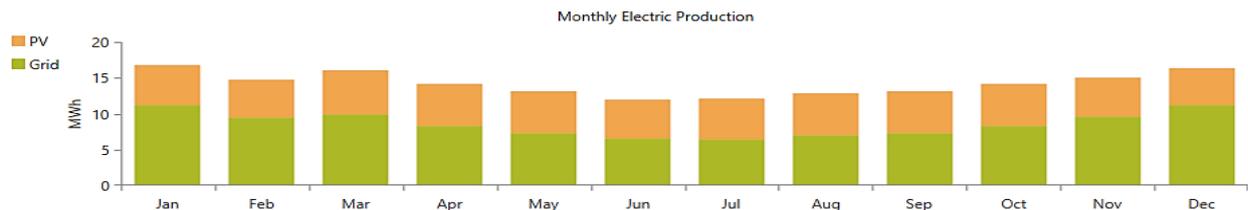


Figure V.11 : La production électrique totale mensuelle.

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	31.3	kW
Mean Output	7.71	kW
Mean Output	185	kWh/d
Capacity Factor	24.6	%
Total Production	67,516	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	25.5	kW
PV Penetration	42.1	%
Hours of Operation	4,365	hrs/yr
Levelized Cost	2.46	DA/kWh

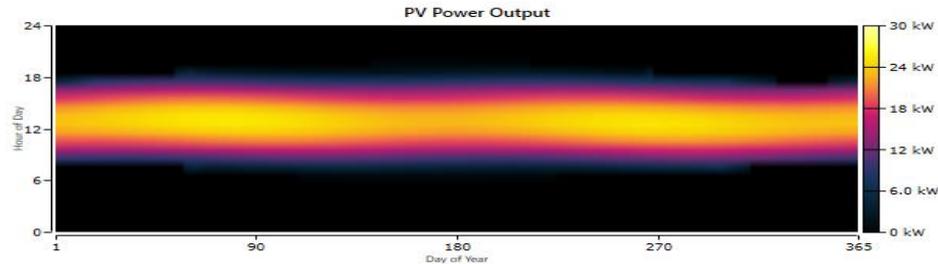


Figure V.12: Indications puissance de panneaux.

Donc l'énergie électrique produite à partir du système photovoltaïque est inférieur à celle du réseau. Et montre aussi les besoins énergétiques du site fournis par le champ photovoltaïque. Les coûts d'exploitation et de maintenance sont principalement dus aux pièces mobiles du générateur et aux inspections opportunes des panneaux solaires pour détecter les dommages.

- **Caracteristiques du convertisseur**

Le logiciel Homer donne aussi toute la caractéristique spécifique du convertisseur choisie. comme la figure V.13 présente.

- Les pertes annuelles de l'onduleur ne dépassent pas 3,373 %.
- La puissance d'entrée d'onduleur est égale à 67 469 kWh/ans.
- La puissance annuelle de sortie est estimée à 64 096kWh/ans.

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	23.8	23.8	kW
Mean Output	7.32	0	kW
Minimum Output	0	0	kW
Maximum Output	23.8	0	kW
Capacity Factor	30.8	0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of Operation	4,365	0	hrs/yr
Energy Out	64,096	0	kWh/yr
Energy In	67,469	0	kWh/yr
Losses	3,373	0	kWh/yr

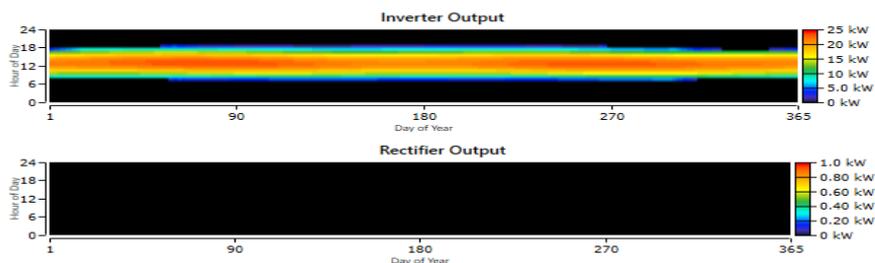


Figure V.13: Indications puissance de l'onduleur.

Le coût en capital initial du système optimal était de 2 168 770.35DA, dont les modules PV représentaient environ 93 % et l'onduleur 7 %. Le coût de la connexion au réseau électrique a été considéré comme négligeable en raison de la couverture élevée du service électrique. Tout au long de son cycle de vie, le NPC total du système PV optimal connecté au réseau a été estimé à 9 538 110 DA. Il en est résulté un COE de 4.42 DA/kWh. Figure V.14.

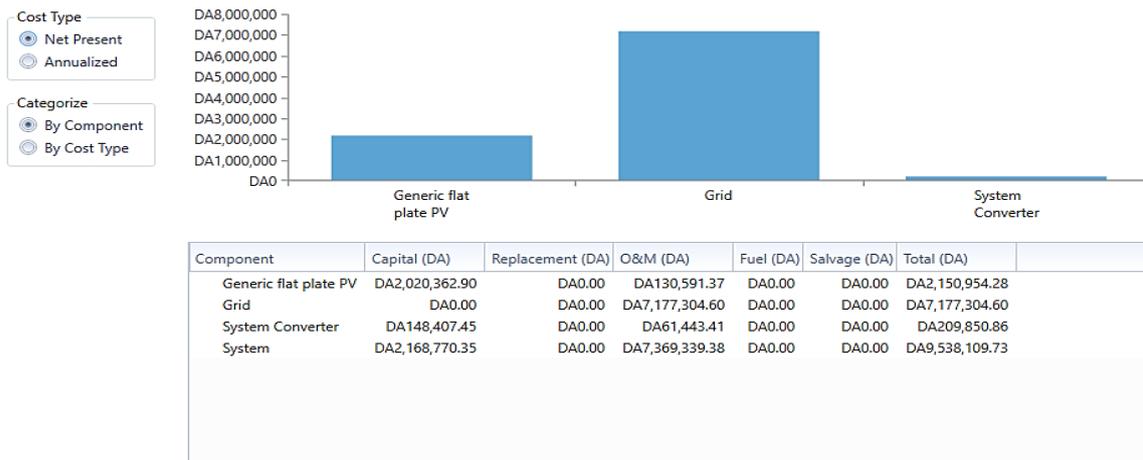


Figure V.14 : NPC détaillé de chaque composant du système.

Lors de la comparaison des résultats obtenus avec le logiciel HOMER pour le réseau électrique et le système photovoltaïque connecté au réseau, il est clair que le système photovoltaïque présente des avantages économiques significatifs par rapport au réseau électrique. En effet, le système photovoltaïque se distingue par un coût initial inférieur, ce qui peut s'expliquer par une optimisation des coûts des équipements ou une efficacité accrue du système. En revanche, le réseau électrique bénéficie d'un coût initial nul, par ce qu'étant géré par la société nationale « Sonalgaz ».

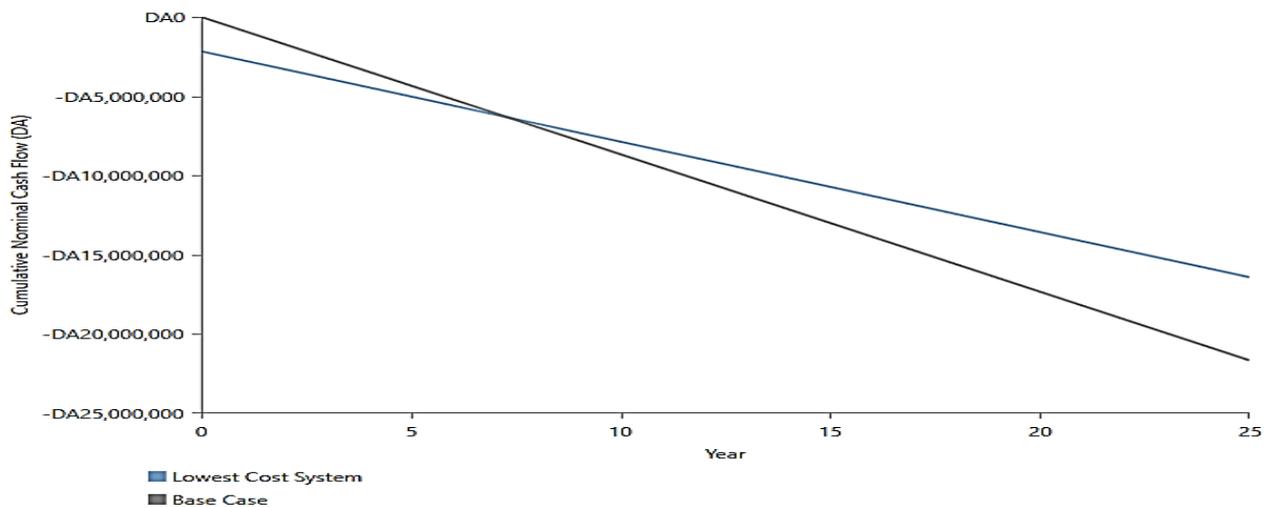


Figure V.15 : Les bénéfices de système proposé.

Economic Metrics		Cost Summary	
		Base Case	Lowest Cost System
IRR	13%	DA11.2M	DA9.54M
ROI	9.7%	DA0.00	DA2.17M
Simple Payback	7.3 yr	DA866,393/yr	DA570,051/yr
		DA5.40/kWh	DA4.42/kWh

Figure V.16 : Métriques économiques et résumé des coûts du système.

De plus, le coût moyen de production de l'énergie (COE) est également plus bas dans le système photovoltaïque, ce qui indique une meilleure compétitivité économique. Cette performance économique supérieure est confirmée par un taux de rendement interne (IRR) de 13% et un retour sur investissement (ROI) de 9.7%. Ces indicateurs financiers démontrent la rentabilité accrue du système photovoltaïque

Dans notre cas, il est clair que le système photovoltaïque présente une rentabilité supérieure par rapport au réseau électrique. Cela est démontré par un simple pay back de 7.3 ans, ce qui indique que l'investissement initial dans le système sera récupéré en environ 7.3 ans grâce aux économies réalisées sur les factures d'électricité.

V.3. Conclusion

En conclusion, l'étude menée sur une ferme laitière a démontré que l'intégration des systèmes photovoltaïques (PV) dans les exploitations agricoles est une solution optimale sur plusieurs aspects. Les résultats obtenus ont confirmé la rentabilité économique de l'installation d'un système PV, en tenant compte de différents facteurs tels que l'emplacement, la consommation énergétique de la ferme et le potentiel énergétique local.

L'analyse des données a révélé que le système PV permet de générer une quantité significative d'énergie renouvelable, réduisant ainsi la dépendance aux sources d'énergie traditionnelles et les émissions de gaz à effet de serre associées. De plus, grâce aux progrès technologiques et à la diminution des coûts des équipements PV, l'investissement initial dans un système PV est devenu plus abordable, permettant aux agriculteurs de réaliser des économies à long terme sur leurs factures d'électricité.

L'intégration d'un système PV dans une ferme laitière présente également des avantages supplémentaires. En plus de la production d'énergie propre, le système PV peut fournir de l'ombre et une protection contre les intempéries pour les animaux, contribuant ainsi à leur bien-être. De plus, en exploitant les espaces disponibles tels que les toits des bâtiments ou les terres non utilisées, les agriculteurs peuvent maximiser l'utilisation de leur site tout en contribuant à la transition vers une économie plus durable.

En conclusion, l'étude a souligné que l'intégration des systèmes PV dans les fermes laitières est une solution rentable et bénéfique à la fois sur le plan économique et environnemental. Il est recommandé aux exploitants agricoles de considérer sérieusement l'installation d'un système PV en tenant compte des facteurs locaux tels que l'emplacement géographique, la consommation énergétique et le potentiel énergétique afin de bénéficier pleinement des avantages offerts par cette technologie

Conclusion Générale

L'intégration des énergies renouvelables dans les fermes pilotes en Algérie revêt une importance cruciale pour répondre aux besoins énergétiques de manière durable. Cette étude a démontré que les énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire, offrent des solutions durables pour répondre aux besoins énergétiques des fermes pilotes. En réduisant la dépendance aux combustibles fossiles, cette transition énergétique favorise le développement agricole et du secteur des énergies renouvelables, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire et énergétique du pays. L'analyse des logiciels de simulation PVsyst et HOMER a souligné leur rôle essentiel dans l'évaluation et l'optimisation des systèmes d'énergie renouvelable, en particulier les systèmes photovoltaïques. Ces outils permettent d'améliorer l'efficacité, la rentabilité et la durabilité des projets d'énergie renouvelable en fournissant des fonctionnalités avancées pour l'analyse des performances, l'estimation des coûts et la simulation de différentes configurations de systèmes. PVsyst et HOMER sont donc des outils indispensables pour accélérer la transition vers des sources d'énergie propres et durables.

En conclusion, les connaissances acquises dans cette étude fournissent une base solide pour guider les décisions de planification et d'investissement dans l'intégration des énergies renouvelables dans le secteur agricole en Algérie. Les conclusions et recommandations tirées de cette analyse approfondie contribueront à une meilleure compréhension des avantages, des défis et des opportunités de cette approche dans le contexte de l'agriculture durable. Ces informations sont précieuses pour promouvoir une transition énergétique efficace, favorisant à la fois le développement agricole et la préservation de l'environnement.

Bibliographie :

- [1] : T. Charroin, F. Galan, M. Capitain, Les consommations d'énergie dans les systèmes d'élevage bovin. Première contribution des Réseaux d'Elevage, 27-28 mars 20.
- [2] : K. Amara, Thèse : contribution à l'étude de conception d'une centrale PV, université de Tizi Ouzou 2015.
- [3] : Daniel Felder, OFAG, secteur Systèmes agroenvironnementaux et éléments fertilisants, 2019
- [4] : AnnettLatsch et ThomasAnken, Consommation énergétique de l'agriculture en Suisse, Février 2015, Environnement Agroscope Transfer | N° 56 / 2015.
- [5] : Algérie Focus, 19 octobre 2010.
- [6] : Abdelkader Bouazgui, Concession agricoles, sur Algérie Focus, 27 novembre 2017.
- [7] : KADRI Ahmed, Thèse : Simulation des performances d'une mini centrale électrique multi-source alimentant une ferme agricole saharienne, 22/12/2011.
- [8] : <https://www.calculcee.fr/article/regulation-ventilation-silos-installations-stockage-en-vrac-de-cereales/>
- [9] : Jean-Baptiste Dollé et all, Les consommations d'énergie en bâtiment d'élevage laitier, Repères de consommations et pistes d'économies, Institut de l'élevage, Janvier 2009.
- [11] : Anna-Kaisa Jaak konen, Lukentietopalvelu, Energy consumption by agriculture and proportion of renewable energy, Natural Resources Institute Finland (Luke), 03/01/2023.
- [12] : Goulding AJ, Maher I. Power prices in context: comparing Alberta delivered electricity prices to other Canadian provinces on a levelplayingfield. LondonEconomics; 2011.
- [13]: Lin, H.C, Huber, J und Hülsbergen, K.J, Energy use efficiency of organic and agroforestry farming systems, 2013
- [14] : Muir, J.F. Fuel and Energy Use in the FisheriesSector.Approaches, inventories and strategic implications.FAO, 2015.
- [15]: <https://www.partispour.com/les-fermes-pilotes-de-la-salonga/>
- [16] : https://wwf.panda.org/wwf_news/?326633/RDC-Au-Parc-National-de-la-Salonga-les-fermes-modeles-favorisent-une-agriculture-durable
- [17] : Ircod Congo – Fiche d'expérience : Renforcement des fermes pilotes – 2017.
- [18] : Journal officiel, 1989-04-19, no 16, pp. 337-339.
- [19] : Ramdane Kebbabi, El Watan , 12 novembre 2018

- [20] : <https://algeria-watch.org/?p=70063>
- [21] : <https://www.giplait.dz/spip.php?article12>
- [22] : <https://agrolog.dz/fr/presentation.html>
- [23] : <http://www.gvapro-dz.com/presentationgvapro/>
- [24] : <https://www.aps.dz/economie/153578-agriculture-le-gouvernement-examine-les-perspectives-de-developpement-des-fermes-pilotes>
- [25] : <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie>
- [26] : http://www.maritimeelectric.com/understanding_electricity/about_electricity_prices/abo_where_we_buy_electricity.aspx
- [27] : T. Nacer, A. Hamidat , O. Nadjemi , M. Bey ,Feasibility study of grid connected photovoltaic system in family farms for electricity generation in rural areas ,29 /04/2016
- [28] : T. Nacer a, A. Hamidat , O. Nadjemi , A comprehensive method to assess the feasibility of renewable energy on Algerian dairy farms ,2 July 2015.
- [29] : M. Bey, A. Hamidat b , B. Benyoucef a , T. Nacer ,Viability study of the use of grid connected photovoltaic system in agriculture: Case of Algerian dairy farms ,17/05/2016.
- [31] : Thibaud SIMON, Analyse de logiciel Homer, CYTHELIA ,23/07/14.
- [32] : Mostefaoui Zineb, Amara Sofiane, Énergie photovoltaïque pour une ferme laitière intelligente à Tlemcen, unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, Ghardaïa – Algeria 24 - 25 Octobre 2018
- [33] : Carrie Houston,Samuel Gyamfi, Jonathan Whale, Evaluation of energy efficiency and renewable energy generation opportunities for small scale dairy farms: A case study in Prince Edward Island, Canada, 8 December 2013.
- [34] : GPEI,Renewableenergy initiative. Government of Prince Edward Island, 2011.
- [35] : Jean-Pierre Revéret et all, Profil de consommation d'énergie à la ferme dans six des principaux secteurs de production agricole du Québec, décembre 2006.
- [36] : Kraatz S. Energy intensity in live stock operations and modeling of dairy farming systems, AgricSyst ,2012.
- [37] : MEL. Where we buy our electricity.Maritime-Electric Ltd; 2011.
- [38] : Overview of the United States Dairy Industry USDA, National Agricultural Statistics Service, September 2010.
- [39] : PEIEC. Chartingour electricity future.Fina lreport.Prince Edward Island Energy Commission, 2012.

[40] : T.Nacer,A.Hamidat,O.Nadjemi ,Analyse des impacts technico-économiques d'un système énergétique hybride connecté au réseau appliqué à un élevage bovin , 2015.

[41] : T.Nacera ,A.Hamidatb , O.Nadjemi ,Techno-economic impacts analysis of a hybrid grid connected energy system applied for a cattle farm,2015.

[42] : Anaïs Marechal, journaliste scientifique, L'agriculture consomme peu d'énergie, mais émet beaucoup de GES, 23 février 2022.

[43] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Exploitation_agricole#En_Europe

Les Annexe :

Les fermes pilotes qui existent en Algérie :

	Fermes	Lieu	Wilaya
01	Bensaha	OuedRhiou	Relizane
02	Kaid Amar	Matmar	Relizane
03	Si Mourad	Sidi Ali	Mostaganem
04	Belatar	Mostaganem	Mostaganem
05	Fornaka	Mostaganem	Mostaganem
06	Hamamou	Benchikao	Médéa
07	Dhaoui Ahmed	Ouamri	Médéa
08	Si Achour	BeniSlimane	Médéa
09	Si Antar	BeniSlimane	Médéa
10	Ouamri	Ouamri	Médéa
11	Gouga	Mila	Mila
12	Teleghma	Teleghma	Mila
13	Ferdoua	SidiMerouane	Mila
14	DjebelOkab	OuedAthmania	Mila
15	Aichouba Ali	Chlef	Chlef
16	Si Farid	Ténes	Chlef
17	Si Menouer	Abou El Hassen	Chlef
18	Si Yahy	Medjadja	Chlef
19	Belkhedim	Abou El Hassen	Chlef
20	Si Baroudi	Boukader	Chlef
21	BirSafSaf	BirSafSaf	Chlef
22	Bessami	BirOuedKhélifa	Ain Defla
23	Benouadhah	Djendel	Ain Defla

24	Zeraoula	Arib	Ain Defla
25	Bensaha	Abadia	Ain Defla
26	Bouhmidi	Djendel	Ain Defla
27	Benbrik	Bir Oued Khélifa	Ain Defla
28	Boumaza	Guelma	Guelma
29	Belkheir	Guelma	Guelma
30	Djebala	Guelma	Guelma
31	Guelma	Guelma	Guelma
32	Richi	Guelma	Guelma
33	Si Rabah	Tessala	Sidi Bel Abbès
34	Si Walid	Sidi Bel Abbès	Sidi Bel Abbès
35	Si Safi	Tessala	Sidi Bel Abbès
36	SidiKhaled	Sidi Bel Abbès	Sidi Bel Abbès
37	Mekerra	Sidi Bel Abbès	Sidi Bel Abbès
38	Yousfi Tayeb	Tifach	Souk Ahras
39	Samai	Berriche	Oum El Bouaghi
40	Hamoudi Said	Ksar Sbihi	Oum El Bouaghi
41	Noui Lahmadi	Ksar Sbahi	Oum El Bouaghi
42	BouhaliHamdane	Ain Fakroun	Oum El Bouaghi
43	Mezghiche Mohamed	Bir Chouhada	Oum El Bouaghi
44	Aouabdia	Ouled Hamla	Oum El Bouaghi
45	Ghoul Moussa	Sigus	Oum El Bouaghi
46	Ben AïchoucheYahia	Tixter	Bordj Bou Arréridj
47	Abbaci Larbi	Bordj Bou Arréridj	Bordj Bou Arréridj
48	Laâtar Lakhmissi	Kaïs	Khenchela
49	Azzaba	Azzaba	Skikda
50	Larbi Daoudi	El Harrouche	Skikda

51	Beddai Chaabane	Skikda	Skikda
52	Makhloufi Aissa	El Eulma	Sétif
53	Bouterraa Mahmoud	El Oueldja	Sétif
54	Messaoud Chekhchoukh	BeniFouda	Sétif
55	KadriBrahim	Constantine	Constantine
56	El Baâraouia	El Khroub	Constantine
57	Rekani	Constantine	Constantine
58	Larbi Ben M'hidi	Biskra	Biskra
59	Haichour Ali	Arib	Bouira
60	Pépinière	M'chedellah	Bouira
61	Ghanem Said	Bordjmenaiel	Boumerdes
62	Cap Djinet	Cap Djinet	Boumerdes
63	Pépinièreviticole	Khemis Khechena	Boumerdes
64	Si Semiani	Hadjout	Tipaza
65	Bourkiza	Bourkika	Tipaza
66	Si Imekrez	Koléa	Tipaza
67	Zerdali	Bourkika	Tipaza
68	Douaouda	Douaouda	Tipaza
69	Hadjout	Hadjout	Tipaza
70	Chérif Eddine	Sougueur	Tiaret
71	Boukhtache	Rahouia	Tiaret
72	Hattabi Mokhtar	Mechraa Sfa	Tiaret
73	Hattab	Mechraa Sfa	Tiaret
74	Les Andalouses	Bousfer	Oran
75	Hamadouche	Saf Saf	Tlemcen
76	Benaissa	Sabra	Tlemcen

77	Koreib	Sabra	Tlemcen
78	Guermouche	Sebdou	Tlemcen
79	Belaïdouni	Ain Youcef	Tlemcen
80	SidiAbdelli	Hennaya	Tlemcen
81	Si Said	AinNehala	Tlemcen
82	Remchi	Remchi	Tlemcen
83	Saim	Aoubellil	Ain Témouchent
84	Bentata	AinTolba	Ain Témouchent
85	Boudouma	AinKahil	Ain Témouchent
86	Sekrane	Chaabat El Ham	Ain Témouchent
87	Tadmait	Tadmait	Tizi Ouzou
88	Si Lotfi	Mascara	Mascara
89	Maoussa	Mascara	Mascara
90	Zaghloul	Sig	Mascara
91	El Arfiane	El Oued	El Oued
92	Touier	Jijel	Jijel
93	Taher	Taher	Jijel
94	El Hadjar	El Hadjar	Annaba
95	AinBerda	AinBerda	Annaba
96	Kheraza	Annaba	Annaba
97	Bellalia	Ahmeur El Ain	Blida
98	El Affroune	El Affroune	Blida
99	Les CinqPalmiers	Oued El Alleug	Blida
100	Kerfa	Blida	Blida
101	Chebli	Chebli	Blida

102	Bougara	Chebli	Blida
103	Reguieg	Boufarik	Blida
104	Oued El Alleug	Oued El Alleug	Blida
105	Issad Mohamed	Mouzaïa	Blida
106	Hadj Ben Aek	Mouzaïa	Blida
107	Amizour	Amizour	Béjaïa
108	Mira Abderahmane	Tazmalt	Béjaïa
109	Si Ramdane	Saida	Saida
110	Zraguet	Saida	Saida
111	Si Miloud	Oued Tlélat	Oran
112	Si Benguellaz	Mendes	Relizane
113	Ben Boulaid	Ain Djazzer	Batna
114	KadiZiza	El Hassi	Batna
115	Draâ Ben Khedda	Draâ Ben Khedda	Tizi Ouzou
116	Bouraoui Mohamed	Skikda	Skikda
117	Si Abdelkrim	Tiaret	Tiaret
118	ChebaitaMokhtar	Chebaita	Tarf
119	BoubakerHimel	AinBerda	Annaba
120	RichiAbdelmadjid	Belkheir	Guelma
121	ChaibiLarbi	El Karma	Annaba
122	Merred	Mila	Mila

