

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJE-BOUIRA**



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté par :

**Merabet Yanis**

**Tighrine Chafik**

**En vue de l'obtention du diplôme de**

**Master Académique en Génie Mécanique**

**Option : énergétique**

**Thème :**

**Dimensionnement d'un système photovoltaïque isolé avec batterie sous PVsyst**

**Devant le jury composé de :**

M.Merzouk	M.A.A	UAMOB	Président
F. Baghdadi	M.C.B	UAMOB	Encadreur
T. Messai	M.A.A	UAMOB	Examineur

**Année Universitaire 2023/2024**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique  
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -  
X•O•V•E•X •K•L•E C•A•I•A •I•A•X - X•O•E•O•t -



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة أكلي محمد أولحاج  
- البويرة -

كلية العلوم والعلوم التطبيقية

Département : *Génie mécanique*

Spécialité : *Energétique*

**Autorisation de déposer un mémoire de Master  
pour soutenance**

Je soussigné, l'enseignant (e) : BAGHDADI FAZIA

L'encadreur du mémoire de fin d'études des étudiants :

- 1- Tighrine Chafik
- 2- Merabet yanis

Ayant le mémoire de fin d'études de Master intitulé :  
DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTÈME PHOTOVOLTAIQUE ISOLÉ AVEC  
BATTERIES SOUS PVSYST

**Promotion** : 2023/ 2024

Et après avoir consulté le mémoire dans sa forme finale j'autorise les étudiants à l'imprimer  
et la déposer pour la soutenance.

*Signature du L'encadreur*

Bouira le : 19/06/2024

*Signature du chef de département*





## نموذج التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز بحث.

انا الممضي اسفله،

السيد(ة) ..... نيسان بن شفيق ..... الصفة: طالب، استاذ، باحث  
الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية: ..... 401654067 ..... والصادرة بتاريخ: 22-05-18  
المسجل(ة) بكلية / معهد العلوم التطبيقية ..... قسم هندسة ميكانيكية  
والمكلف(ة) بإنجاز اعمال بحث(مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، اطروحة دكتوراه).  
عنوانها: ..... Dimensionnement d'un systeme photovoltaïque isolé  
..... avec batterie sous PVsyst  
تحت إشراف الأستاذ(ة): ..... محمادي فاري  
أصرح بشرفي اني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة الاكاديمية المطلوبة  
في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: ..... 24-07-18 .....

توقيع المعني(ة)

رأي هيئة مراقبة السرقة العلمية:

النسبة:

%

28

الامضاء:





## نموذج التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز بحث.

انا الممضي اسفله،

السيد(ة)..... م. د. ب. بنيس ..... الصفة: طالب، استاذ، باحث  
الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية: ..... 10.7759.0.14 ..... والصادرة بتاريخ: 2022.02.11  
المسجل(ة) بكلية / معهد: الكلية العلمية قسم: هندسة ميكانيكية  
والمكلف(ة) بإنجاز اعمال بحث(مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، اطروحة دكتوراه).  
عنوانها: ..... Dimensionnement d'un système hydraulique isolé dans PV syst .....  
تحت إشراف الأستاذ(ة): ..... ب. ف. عادي .....  
أصرح بشرفي اني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة الاكاديمية المطلوب  
في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 2022.07.18

توقيع المعني(ة) ب. ف. عادي

رأي هيئة مراقبة السرقة العلمية:

النسبة:

% 28

الامضاء:



# *Remerciement*

*En premier lieu, nous tenons à remercier Dieu, le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la santé, la force et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce projet.*

*Parvenus au terme de ce parcours de Master 2, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire de fin d'études. Ce travail représente l'aboutissement de deux années de recherche et d'investissement personnel, mais il n'aurait pu être mené à bien sans le soutien et l'encadrement précieux de nombreuses personnes.*

*Nous adressons nos plus vifs remerciements à Mme F. Baghdadi, encadreur de ce mémoire, pour sa confiance et son encadrement éclairé tout au long de ce projet. Sa disponibilité, ses conseils avisés et sa rigueur scientifique nous ont permis de progresser de manière significative et d'approfondir notre compréhension du sujet. Nous sommes particulièrement reconnaissants pour ses encouragements constants et sa foi en nos capacités.*

*Nous tenons également à remercier M. R. Nacef, encadreur technique propriétaire de l'entreprise Bouira Energy Solar, pour son accueil chaleureux et son implication dans ce projet. Ses précieuses connaissances du domaine et son expérience pratique nous ont été d'une aide inestimable pour l'élaboration et la mise en œuvre de la recherche. Sa patience et sa pédagogie nous ont permis de surmonter les obstacles techniques rencontrés et d'acquérir des compétences précieuses.*

*Ce mémoire de fin d'études représente une étape importante dans notre parcours académique et professionnel. Nous sommes reconnaissants à toutes les personnes qui ont contribué à sa réussite et nous garderons un excellent souvenir de cette expérience enrichissante.*

*Nous remercions le président et les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font en examinant notre travail.*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mon père et à ma mère, pour leur amour  
incommensurable, leur soutien indéfectible et leur  
encouragements constants qui m'ont porté tout au  
long de ce voyage académique.*

*A mon frère et me sœur pour leur complicité, leur  
soutien moral et leurs mots d'encouragement.*

*A mes amis proches, pour leur amitié sincère, leur  
compréhension et leur présence réconfortante dans les  
moments de doute.*

*À mon binôme Chafik avec qui j'ai partagé ce travail.*

*A tous ce qui m'ont accompagné de près ou de loin,  
merci de croire en moi et de m'avoir soutenu.*

**YANIS**

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*À la mémoire de mon père et de mon frère, Qui  
m'ont quitté trop tôt. Que ce mémoire soit un  
hommage à votre souvenir et à l'inspiration que  
vous m'avez toujours donnée.*

*À ma mère, ma sœur et mon frère, Sources  
inépuisables d'amour et de soutien. Je vous dédie  
ce mémoire, fruit de mon travail et de ma  
persévérance.*

*À ma grande famille et ma petite famille, Havres  
de paix et de réconfort. Merci pour votre présence  
constante et vos encouragements tout au long de  
mon parcours.*

*À mon binôme Yanis avec qui j'ai partagé ce  
travail*

*C'est grâce à vous tous que j'ai pu réaliser ce rêve.*

*Avec toute ma gratitude et mon affection.*

*Chafik*

## Résumé

### Dimensionnement d'une installation photovoltaïque isolée avec batterie sous PVSyst .

Ce mémoire explore le dimensionnement et l'efficacité des installations photovoltaïques isolées en Algérie, en mettant l'accent sur leur rôle crucial dans la transition énergétique du pays et leur application spécifique pour un bâtiment d'élevage à Oued el Bared Mchedallah, Wilaya de Bouira. L'étude inclut une analyse théorique approfondie, une méthodologie de dimensionnement intégrant des méthodes quasi-statiques et des calculs empiriques, ainsi qu'une simulation détaillée réalisée avec le logiciel PVSyst. Les résultats démontrent que les installations photovoltaïques isolées, optimisées avec des batteries solaires, peuvent fournir une solution énergétique fiable tout en réduisant significativement l'empreinte environnementale. Ce mémoire souligne l'importance cruciale de politiques et d'investissements stratégiques pour promouvoir ces technologies en Algérie, en particulier dans les régions isolées, et leur contribution indispensable à la transition énergétique vers des sources renouvelables et durables.

## Abstract

### dimensioning of an isolated photovoltaic installation with battery using PVSyst.

This thesis explores the sizing and efficiency of isolated photovoltaic installations in Algeria, focusing on their crucial role in the country's energy transition and their specific application to a livestock building in Oued el Bared Mchedallah, Wilaya de Bouira. The study includes an in-depth theoretical analysis, a sizing methodology incorporating quasi-static methods and empirical calculations, and a detailed simulation using PVSyst software. The results demonstrate that isolated photovoltaic installations, optimised with solar batteries, can provide a reliable energy solution while significantly reducing the environmental footprint. This thesis highlights the crucial importance of strategic policies and investments to promote these technologies in Algeria, particularly in isolated regions, and their indispensable contribution to the energy transition towards renewable and sustainable sources.

## المخلص

تستكشف هذه الأطروحة حجم وكفاءة المنشآت الكهروضوئية المعزولة في الجزائر، مع التركيز على دورها الحاسم في تحول الطاقة في البلاد وتطبيقها المحدد على مبنى لتربية المواشي في وادي البارد مشد الله بولاية البويرة. تتضمن الدراسة تحليلاً نظرياً تُظهر النتائج أن PVSyst متعمقاً، ومنهجية تحجيم تتضمن طرقاً شبه ثابتة وحسابات تجريبية، ومحاكاة مفصلة باستخدام برنامج المنشآت الكهروضوئية المعزولة، التي تم تحسينها باستخدام بطاريات الطاقة الشمسية، يمكن أن توفر حلاً موثوقاً للطاقة مع تقليل البصمة البيئية بشكل كبير. تسلط هذه الأطروحة الضوء على الأهمية الحاسمة للسياسات والاستثمارات الاستراتيجية لتعزيز هذه التقنيات في الجزائر، لا سيما في المناطق المعزولة، ومساهمتها التي لا غنى عنها في التحول الطاقوي نحو مصادر الطاقة المتجددة والمستدامة.



# TABLE DES MATIERES

<b>Introduction GÉNÉRALE .....</b>	<b>20</b>
<b>CHAPITRE I : Généralités sur l'énergie solaire et le photovoltaïque .....</b>	<b>21</b>
<b>I.1 INTRODUCTION.....</b>	<b>22</b>
<b>I.2 L'énergie solaire .....</b>	<b>22</b>
I.2.1 Le rayonnement solaire.....	23
I.2.2 Le spectre solaire.....	24
I.2.3 Dualité onde-particule.....	25
<b>I.3 La révolution de la terre autour du soleil.....</b>	<b>26</b>
I.3.1 Géométrie Terre-Soleil .....	26
I.3.2 Mouvements de la Terre autour du soleil.....	26
I.3.2.1 Paramètres de position.....	27
I.3.3 Trajectoire apparente du Soleil .....	28
I.3.4 Les gisements solaire en Algérie .....	29
<b>I.4 Conversion d'énergie solaire .....</b>	<b>30</b>
I.4.1 Le Solaire à concentration thermodynamique : L'énergie .....	30
I.4.2 Le solaire photovoltaïque :.....	31
I.4.3 Le solaire thermique.....	32
<b>I.5 L'effet photovoltaïque .....</b>	<b>32</b>
I.5.1 Principes Physiques.....	33
a) Photon et Excitation d'Électrons : .....	33
I.5.2 Historique de l'effet photovoltaïque.....	33
<b>I.6 Le silicium et ses propriétés.....</b>	<b>34</b>
I.6.1 Propriétés optiques.....	35
I.6.2 Propriétés électriques.....	35
I.7.1 Principe du fonctionnement d'une cellule photovoltaïque .....	36
I.7.2 Les Types des cellules PV .....	37
I.7.2.1 Cellules Photovoltaïques à Base de Silicium .....	37
I.7.2.2 Cellules Photovoltaïques à Base de Matériaux Composés .....	38
I.7.2.3 Cellules Photovoltaïques de Troisième Génération .....	39
I.7.3 Association des cellules .....	40
I.7.3.1 Les approches principales s'offrent à nous .....	40

I.7.3.2 Les caractéristiques électriques des cellules et modules PV.....	42
I.7.4 L'influence de l'éclairement sur la cellule PV.....	43
I.7.4.1 Lumière et cellules photovoltaïques.....	43
I.7.4.2 Explication du phénomène .....	44
I.7.5 Influence de la température sur la cellule PV.....	46
I.8 Les composants d'une installation photovoltaïque.....	47
I.8.1 Le module SOLAIRE : .....	47
I.8.2 Composition d'un panneau photovoltaïque : .....	47
I.8.2.1 Types de panneaux photovoltaïques.....	50
A) Panneaux solaires monocristallins : .....	50
B) Panneaux solaires polys cristallins : .....	51
C) Panneaux solaires à couche mince : .....	51
D) Panneaux solaires à pérovskite : .....	52
E) Panneaux solaires bifaciaux : .....	53
G) Panneaux solaires tandem : .....	53
I.8.3 Système de stockage.....	54
I.8.3.1 Types de batteries SOLAIRES : .....	55
I.8.4 Régulateur.....	57
I.8.4.1 Types de régulateurs solaires : .....	57
I.8.5 Onduleur.....	59
I.8.5.1 Type d'onduleur : .....	60
Critère de choix d'un onduleur : .....	60
A. Puissance nominale .....	60
B. Efficacité : .....	60
C. Compatibilité avec le réseau .....	60
I.9 Types d'installations photovoltaïques.....	61
I.9.1 Systèmes raccordés au réseau (on-grid).....	61
I.9.2 Systems hors reseaux (off-grid).....	61
I.9.3 Systèmes hybrides.....	62
I.10 Conclusion.....	63
CHAPITRE II : Dimensionnement d'une installation PHOTOVOLTAÏQUE ISOLE avec batterie .....	64

<b>II.1 Introduction.....</b>	<b>65</b>
<b>II.1.2 Définition .....</b>	<b>65</b>
<b>II.1.3 Objectif du dimensionnement photovoltaïque .....</b>	<b>65</b>
<b>II.2 les méthodes et les approches de dimensionnement : .....</b>	<b>66</b>
<b>II.2.1 Méthodes quasi-statiques (méthodes empiriques) .....</b>	<b>66</b>
<b>A) Méthode de l'irradiation moyenne.....</b>	<b>67</b>
<b>B) Méthode des abrégés de dimensionnement .....</b>	<b>67</b>
<b>C) Méthode des facteurs de correction.....</b>	<b>67</b>
<b>D) Logiciels de dimensionnement statique.....</b>	<b>67</b>
<b>II.2.2 Méthodes dynamiques pour le dimensionnement optimal des systèmes photovoltaïques ....</b>	<b>68</b>
<b>II .2.2.1 Méthodes numériques : [30].....</b>	<b>68</b>
<b>II.2.2.2 Méthodes informatiques .....</b>	<b>69</b>
<b>II .2.2.3 Méthodes mathématiques :.....</b>	<b>69</b>
<b>II.2.2.4 Intelligence artificielle.....</b>	<b>70</b>
<b>II.3 Données nécessaires au dimensionnement.....</b>	<b>71</b>
<b>II.3.1 Données relatives au site .....</b>	<b>71</b>
<b>II.3.2 Données relatives aux besoins en énergie.....</b>	<b>71</b>
<b>II.3.3 Données relatives aux composants du système .....</b>	<b>72</b>
<b>II.3.4 Outils et logiciels de dimensionnement.....</b>	<b>72</b>
<b>II.4 Les démarches à suivre pour mettre en place une installation solaire photovoltaïque .....</b>	<b>72</b>
<b>II.4.1 Présentation du site .....</b>	<b>73</b>
<b>II.4.2 Estimation des besoins en électricité.....</b>	<b>73</b>
<b>II.4.3 Estimation de l'énergie solaire récupérable .....</b>	<b>74</b>
<b>II.4.3.1 Irradiations moyennes mensuelles reçues sur une surface horizontale : .....</b>	<b>74</b>
<b>II.4.3.2 Inclinaison et orientation optimales des capteurs photovoltaïques.....</b>	<b>75</b>
<b>II.4.5 La tension du champ photovoltaïque pendant son fonctionnement.....</b>	<b>77</b>
<b>II.4.6 Nombre de modules photovoltaïques et caractéristiques.....</b>	<b>78</b>
<b>II.4.7. Mise en place des modules.....</b>	<b>78</b>
<b>II.4.7.1 Raccordement du module photovoltaïque en série .....</b>	<b>78</b>
<b>II.4.7.2 Raccordement du module photovoltaïque en parallèle : .....</b>	<b>78</b>

<b>II.5 Dimensionnement du système de stockage .....</b>	<b>79</b>
<b>II.5.1 Calcule de La capacité du parc de batteries .....</b>	<b>79</b>
<b>II.5.2 Calcule de nombre de batterie.....</b>	<b>79</b>
<b>II.5.3 Le raccordement des batteries de stockage.....</b>	<b>80</b>
<b>II.6 Dimensionnement de régulateur de charge .....</b>	<b>81</b>
<b>II.7 Dimensionnement de l'onduleur.....</b>	<b>81</b>
<b>II.8 Choix et dimensionnement des câbles de raccordement .....</b>	<b>82</b>
<b>II.8.1 Détermination de la section du conducteur entre les panneaux et le régulateur : .....</b>	<b>83</b>
<b>II.8.2 Détermination de la section du conducteur entre le régulateur et l'onduleur .....</b>	<b>83</b>
<b>II.8.3 Détermination de la section du conducteur entre les batteries et l'onduleur.....</b>	<b>84</b>
<b>II.8.4 Détermination de la section du conducteur pour le courant alternatif.....</b>	<b>85</b>
<b>II.9 les mesure de sécurité de l'installation.....</b>	<b>86</b>
<b>II.10 Les Enjeux de la Maintenance Photovoltaïque .....</b>	<b>88</b>
<b>CHAPITRE III : Simulation pour une installation isolé avec PVsyst.....</b>	<b>90</b>
<b>III.1 introduction.....</b>	<b>91</b>
<b>III.2 Présentation du logiciel PVsyst .....</b>	<b>91</b>
<b>III.2.1 La conception préliminaire.....</b>	<b>92</b>
<b>III.2.2 Conception d'un projet dans PVsyst .....</b>	<b>92</b>
<b>III.2.3 crée un projet .....</b>	<b>93</b>
<b>III.2.3.1. Nom de projet crée.....</b>	<b>94</b>
<b>III.2.3.2 choix de site .....</b>	<b>94</b>
<b>III.3.1 Trajectoire du soleil .....</b>	<b>95</b>
<b>III.3.2 Orientation des modules PV .....</b>	<b>96</b>
<b>III.4 Définitions des besoins d'utilisateur .....</b>	<b>97</b>
<b>III.4.1 distribution horaire de la charge.....</b>	<b>98</b>
<b>III.5 Définition de parc de batterie.....</b>	<b>99</b>
<b>III.6 Définition de champ PV .....</b>	<b>99</b>
<b>III.6.1 Effet de température sur les caractéristiques I-V .....</b>	<b>101</b>
<b>III.6.2 Effet de l'ensoleillement sur les caractéristiques I-V .....</b>	<b>102</b>
<b>III.7 Définition de régulateur :.....</b>	<b>102</b>
<b>III.8 Résultat de la simulation et discussion : .....</b>	<b>103</b>
<b>III.8.1 La première page.....</b>	<b>103</b>
<b>III.8.2 Résumé du projet .....</b>	<b>104</b>
<b>a) Résumé du Système : .....</b>	<b>104</b>

b) Caractéristiques de consommation : .....	105
c) Modules photovoltaïques : .....	105
d) Résultats de la Simulation : .....	105
III.8.3 Les paramètres généraux.....	105
Discussion :.....	105
III.8.4 Besoins de l'utilisateur .....	107
Discussion :.....	107
III.8.5 Résultats principaux .....	108
a) Production d'énergie normalisée .....	109
b) Indice de performance (PR) .....	109
c) analyse des résultats .....	109
III.8.6 Diagramme des pertes.....	110
a) analyse des résultats.....	111
III.8.7 Graphique prédéfini.....	111
Analyse des résultats : .....	112
III.9 Schéma simplifié de l'installation .....	113
III.10 Schéma simplifié du câblage : .....	113
III.11 conclusion :.....	114
BIBLIOGRAPHIE.....	115

## **Liste des figures**

figure I.1:Les réactions de fusion Hélium.et photo du Soleil .....	22
figure I.2:Ensoleillement nominal [4].....	23
figure I.3:Rayonnement Solaire [5] .....	24
figure I.4: présente la courbe d'énergie du corps noir à 6000K [3].....	25
figure I.5: Mouvement de la terre[8].....	27
figure I.6:PARAMÈTRES DE POSITION.....	28
figure I.7:Trajectoire du soleil [8].....	29
figure I.8:LES GISEMENTS SOLAIRE EN ALGERIE [10] .....	30
figure I.9: Centrale solaire thermodynamique [11].....	31
figure I.10: Installation photovoltaïque [12] .....	31
figure I.11:Installation solaire thermique [13] .....	32
figure I.12: Effet photovoltaïque.....	33
figure I.13:Evolution de la technologie photovoltaïque [14] .....	34
figure I.14:Dopage négatif au phosphore et dopage positif au bore [7].....	36
figure I.15:Association des cellules en série [17] .....	41
figure I.16:Association des cellules en parallèle [17] .....	41
figure I.17: Association mixte [17].....	42
figure I.18:Courbe des caractéristiques courant-tension (I-V) et puissance-tension (P-V) d'une cellule PV [19].....	43
figure I.19:Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement (PVsyst) .....	45
figure I. 20:Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement (PVsyst).....	45
figure I.21:Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de la température (PVsyst) .....	46
figure I.22:Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de la température (PVsyst).....	47
figure I.23:Composition d'un panneau photovoltaïque [21].....	48
figure I.24:Panneaux solaires monocristallins [22].....	50
figure I.25:Panneau poly cristallin [22] .....	51
figure I.26:Couche mince.....	52
figure I.27:Panneau a pérovskite [23] .....	52
figure I.28:Modules bifaciaux [23] .....	53
figure I.29: Panneau tandem [23].....	54
figure I.30:Batterie au plomb-acide [24].....	55

figure I.31:Batterie lithium-ion [25] .....	56
figure I.32:Batterie au sodium-ion [26] .....	56
figure I.33:Batterie VRBF [27] .....	57
figure I. 34:Régulateur PWM .....	58
figure I.35:Régulateur MPPT.....	59
figure I.36:Onduleur .....	59
figure I.37:Installations On-grid [12].....	61
figure I.38:Installation On-grid [12] .....	62
figure I.39:Installations Hybride [29] .....	62
figure II.1:L'orientation des panneaux.....	76
figure II.2:Propriétés des câbles.....	85
figure II.3:Disjoncteur différentiel.....	86
figure II.4:Parafoudre.....	87
figure II.5:Fusible .....	87
figure II.6:Mise la terre .....	88
figure III.1:L'interface de logiciel PVsyst .....	92
figure III.2:Choix d'un système .....	93
figure III.3:Création d'un nouveau projet.....	93
figure III.4:Nom de projet crée .....	94
figure III.5:Le site choisis (Oued El Bared M'chedallah).....	94
figure III.7:Trajectoire de soleil à Oued El Bared M'chedallah .....	96
figure III.8:Première étape de la conception.....	96
figure III.9:Angle d'orientation des modules PV.....	97
figure III.10:Détermination des besoins électrique.....	98
figure III. 11:Distribution horaire de la charge .....	98
figure III.12:Caractéristique de parc de batteries.....	99
figure III.13:Caractéristique de champ PV .....	100
figure III.14:Caractéristique de module PV .....	100
figure III.15:Courbe d'influence de la température (I/V) .....	101

figure III.16: Courbe d'influence de l'ensoleillement (I/V) .....	102
figure III.17: Caractéristique de régulateur .....	103
figure III.18: Présentation de projet .....	103
figure III.19: Résumer de projet et des résultats .....	104
figure III.20: le paramètre de la simulation .....	106
figure III.21: Les besoins de l'utilisateur .....	107
figure III.22: les résultats principaux .....	108
figure III.23: Graphe des pertes .....	110
figure III.24: diagramme d'entrée/sortie journalière .....	111

### **Liste des tableaux**

tableau II.1: Tableau de la consommation journalière .....	74
tableau II.2: La puissance du champ photovoltaïque [34] .....	77



## **Nomenclature**

Symbole	Désignation	Unité
<b>v</b>	La fréquence	Hz
<b>c</b>	Célérité de la lumière	m/s
<b><math>\lambda</math></b>	Longueur d'onde	Nm
<b>E</b>	Energie	J
<b>h</b>	Constante du Planck	j×s
E <sub>c</sub>	La consommation journalière énergétique	Wh/ jour
P <sub>N</sub>	Puissance nominale de l'équipement.	W
h	Durée de fonctionnement de l'équipement	h
<b><math>\delta</math></b>	La déclinaison solaire	Degré
d	Le nombre du jour	/
P <sub>ch</sub>	Puissance crête de champs photovoltaïque	WC
I <sub>r</sub>	Temps moyen d'ensoleillement journalier	h/jour
K	Coefficient correcteur	/
N <sub>m</sub>	Nombre de module photovoltaïque.	/
P <sub>c</sub>	Puissance crête de champ PV	WC
P <sub>r</sub>	Puissance crête d'un module PV	WC
N <sub>s</sub>	Nombre de modules connectés en série	/
U	La tension de système	V
U <sub>opt</sub>	la tension optimale d'un module	V
N <sub>p</sub>	Nombre de module connecté en parallèle	/
C <sub>ch</sub>	Capacité du champ de batterie	Ah
N <sub>j</sub>	Nombre de jour d'autonomie	
D	Profondeur de décharge maximale de la batterie	%
U <sub>b</sub>	Tension de parc de batterie	V
$\eta_b$	Rendement de la batterie	%
N <sub>b</sub>	Le nombre de batteries totales	/

$N_{bs}$	Nombre de batterie en série.	/
$N_{bp}$	Nombre de batterie en parallèle	/
$V_{inst}$	La tension de l'installation	V
$V_{bat}$ :	La tension d'une batterie	V
$C_{pb}$	La capacité du parc des batteries	Ah
$C_b$	La capacité de chaque batterie	Ah
$I_e$	L'intensité admissible du courant d'entre de régulateur	Ah
$I_m$	Le courant de court-circuit d'un module	Ah
$N_p$	Nombre du module en parallèle	/
$A$	La valeur de sécurité	/
$I_{max}$	L'intensité du courant de sortie du régulateur	Ah
$P_{oduteur}$	Puissance de l'onduteur	KVA
$Pr$	Puissance réactive	W
$P$	Puissance nominale des équipements	W
$R$	Résistance	$\Omega$
$\Delta U$	Différence de potentiel admise aux bornes d'un câble de connexion	/
$S$	La section du câble	$mm^2$
$L$	Longueur du câble électriques	m
$\rho$	La résistivité	$\Omega.m$
$I_{pv}$	Le courant produit par le générateur PV	Ah
$\varepsilon$	La chute de tension alternative	%



## INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'énergie est l'un des enjeux mondiaux majeurs de notre époque. Mais son utilisation engendre des conséquences environnementales et économiques considérables. La crise énergétique mondiale, exacerbée par des facteurs tels que la croissance démographique, l'urbanisation et l'industrialisation rapide, nous oblige à repenser notre modèle énergétique de manière urgente et radicale. Les ressources fossiles, longtemps la principale source d'énergie de l'humanité, sont limitées et constituent une menace majeure pour notre environnement en raison de leur contribution significative au changement climatique.

Devant ces difficultés, il est essentiel de passer à des sources d'énergie plus durables et respectueuses de l'environnement, car cela représente une nécessité absolue. Les énergies renouvelables, comme le solaire, l'éolien et l'hydraulique, proposent des alternatives prometteuses pour un avenir énergétique plus respectueux de l'environnement. Parmi elles, l'énergie photovoltaïque (PV) se distingue par sa capacité à convertir directement et efficacement l'énergie solaire en électricité. Ces dernières années, l'énergie photovoltaïque a connu une croissance exponentielle. En 2022, 240 GW de nouvelles capacités solaires ont été installées à travers le monde, positionnant cette technologie comme un pilier central de la transition énergétique [1]. Les avantages qu'elle offre, tels que la réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'indépendance énergétique et la création d'emplois, sont indéniables. L'Algérie, avec son ensoleillement abondant, dispose d'un potentiel immense pour le développement de l'énergie photovoltaïque. Cependant, pour exploiter pleinement cet avantage, il est crucial de surmonter les défis spécifiques auxquels le pays est confronté. L'année 2024 marque un tournant décisif pour l'Algérie dans son engagement vers une transition énergétique durable [2]. Le pays investit massivement dans le développement de l'énergie solaire, avec des projets d'envergure qui visent à exploiter son immense potentiel solaire et à diversifier son mix énergétique.

Dans ce mémoire, nous attacherons à explorer en détail l'étude et le dimensionnement des installations photovoltaïques isolées. Nous analyserons les meilleures pratiques, les technologies émergentes qui favorisent le déploiement du PV.

# **CHAPITRE I**

## **GENERALITES SUR L'ENERGIE SOLAIRE ET LE PHOTOVOLTAÏQUE**

## I.1 INTRODUCTION

L'énergie solaire photovoltaïque est une source d'énergie renouvelable d'une importance croissante dans le paysage énergétique mondial. Fondée sur le Principe de conversion directe de la lumière solaire en électricité, cette technologie repose sur l'utilisation de dispositifs semi-conducteurs appelés cellules photovoltaïques. Au cours des dernières décennies, le développement et le déploiement de systèmes photovoltaïques ont connu une expansion significative, motivée par la nécessité de diversifier les sources d'énergie, de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de promouvoir la durabilité environnementale. Cette forme d'énergie solaire présente des avantages considérables, notamment son caractère modulaire, sa faible empreinte environnementale et son abondance sur une grande partie du globe. L'objectif de cette étude est d'examiner en profondeur les aspects techniques, économiques et environnementaux de l'énergie solaire photovoltaïque, en mettant en lumière ses opportunités, ses défis et son rôle potentiel dans la transition énergétique vers un avenir plus durable.

## PARTIE A

### I.2 L'ENERGIE SOLAIRE

Le solaire fait référence à l'énergie provenant du soleil, qui est convertie en différentes formes d'énergie utilisables par l'homme, telles que l'électricité ou la chaleur. Cette énergie est générée par le processus de fusion nucléaire qui se produit au cœur du soleil, où l'hydrogène est converti en hélium, libérant d'énormes quantités d'énergie sous forme de photons (particules de lumière).

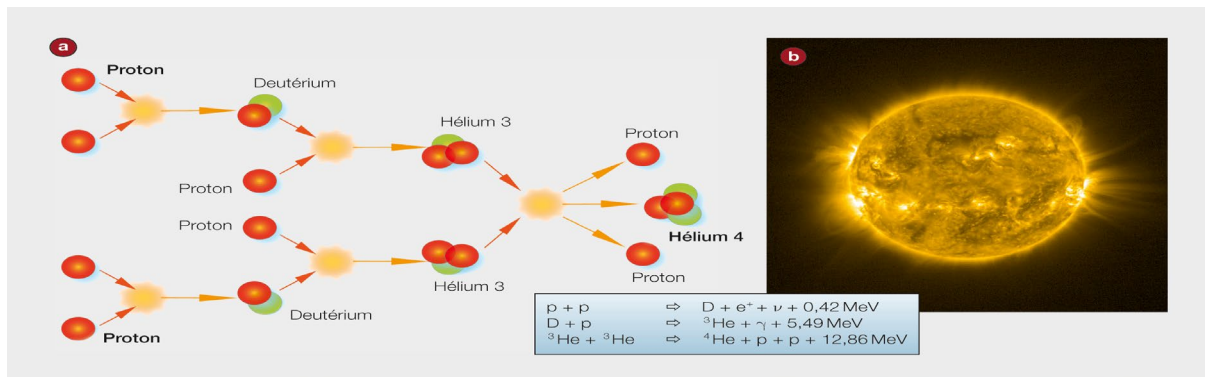
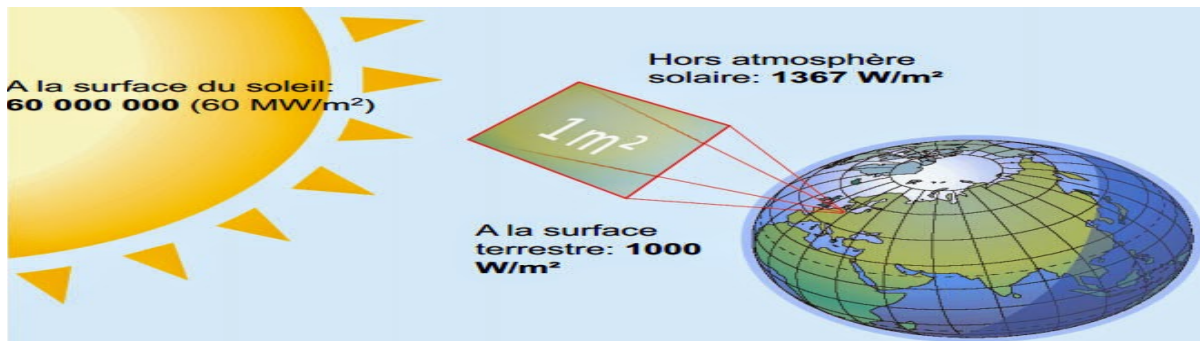


FIGURE I.1: LES REACTIONS DE FUSION HELIUM. ET PHOTO DU SOLEIL

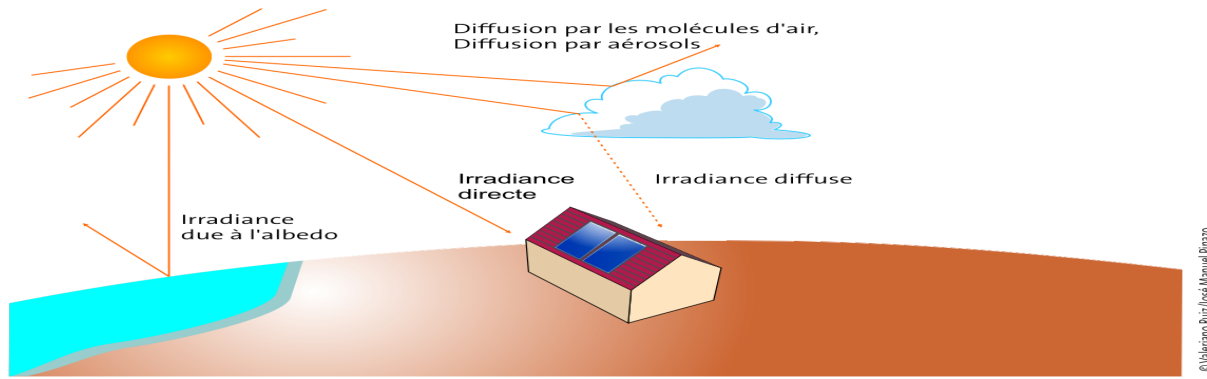
La terre se trouve à une distance d'environ 150 millions de kilomètres du soleil et la vitesse de la lumière est d'environ 300 000 km/s (299 792 458 m/s). Les rayons du soleil sont donc visibles pendant environ 8 minutes. La constante solaire correspond à la quantité d'énergie solaire atteignant la limite externe de l'atmosphère face au soleil. Elle est généralement estimée à  $1367 \text{ W/m}^2$ . En ce qui concerne le sol, la densité d'énergie solaire diminue à  $1000 \text{ W/m}^2$  en raison de l'absorption dans l'atmosphère. [3]



**FIGURE I.2: ENSOLEILLEMENT NOMINAL [4]**

### I.2.1 LE RAYONNEMENT SOLAIRE

Le rayonnement solaire fait référence à l'émission d'énergie du Soleil sous forme d'énergie électromagnétique. Ce rayonnement, qui englobe différentes longueurs d'onde comme la lumière visible, les infrarouges et les ultraviolets, joue un rôle crucial dans la survie sur notre planète. Une partie du rayonnement solaire est absorbée par l'atmosphère terrestre, tandis qu'une autre atteint la surface de la Terre, où elle est soit réfléchie, absorbée ou transmise par les éléments présents. La mesure du rayonnement solaire au sol avec le spectromètre et le Pyranomètres. Il évalue la répartition de l'énergie solaire reçue au sol en fonction de la plage de longueur d'onde allant de 300 nm à 2500 nm. La position de l'instrument sur un pointeur solaire permet d'observer du lever au coucher.



**FIGURE I.3: RAYONNEMENT SOLAIRE [5]**

- Le rayonnement direct signifie que les rayons solaires atteignent le sol sans changer leur trajectoire initiale. Les rayons demeurent alignés.
- La lumière du soleil traverse l'atmosphère et se heurte à des obstacles tels que les nuages, la poussière, etc. Ces barrières ont pour conséquence d'orienter les rayons du soleil parallèles (à l'origine) dans une multitude de directions différentes.
- Le rayonnement réfléchi se produit lorsque les rayons lumineux se réfléchissent sur une surface réfléchissante, comme la neige en montagne. La réflexion est influencée par l'albédo (capacité de réflexion) de la surface en question. [5]

### **I.2.2 LE SPECTRE SOLAIRE**

Le spectre du rayonnement solaire électromagnétique est extrêmement vaste, allant des rayonnements radio aux rayons X. Le spectre continu, qui correspond sensiblement à celui d'un corps noir à environ 6000°K, est généralement distingué du spectre réel d'émission du soleil. La courbe d'énergie du corps noir à 6000K est illustrée dans la figure I4, tandis que le rayonnement solaire extérieur à l'atmosphère et le rayonnement solaire au niveau de la mer sont représentés en fonction de la longueur d'onde. Il est évident que 9,2% de l'énergie de ce spectre est concentrée dans l'ultraviolet, 42,4% dans le visible et 48,4% dans l'infrarouge, comme le montrent ces courbes. [3]



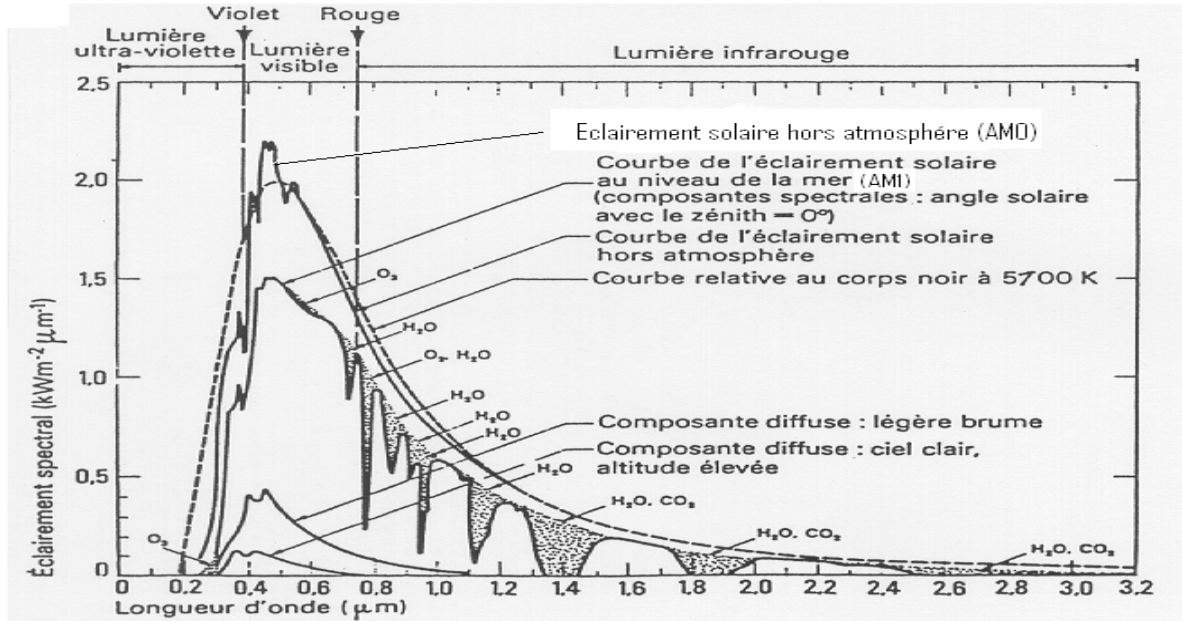


FIGURE I.4: PRESENTE LA COURBE D'ENERGIE DU CORPS NOIR A 6000K [3]

D'après la figure I.4 nous constatons que le rayonnement solaire peut être réfléchi, diffusé ou absorbé. Par ailleurs, les spectres des rayonnements réfléchi, diffusé, et absorbé sont différents.

### I.2.3 DUALITE ONDE-PARTICULE

Quand un faisceau lumineux traverse deux fentes assez proches, il ne produit pas deux taches de lumière, mais un ensemble de taches sombres et lumineuses alternées sur un écran placé derrière ce sont des interférences. Il est impossible d'expliquer ce phénomène autrement que si la lumière est une onde qui se propage dans l'espace. Effectivement, lorsqu'il y a une rencontre entre deux ondes, elles peuvent soit se renforcer, soit s'annuler, ce qui entraîne des alternances de taches sombres et brillantes sur l'écran. Cette théorie ondulatoire fut renforcée par de nombreuses expériences, telles que les observations de l'astronome Huygens, les recherches de Young, Fresnel, Arago et enfin Maxwell, qui a formulé l'équation de la propagation des ondes lumineuses.

Une autre conception de la lumière, celle d'un faisceau de particules, était défendue par certains physiciens, tels que Newton, afin d'expliquer la réflexion : les particules de lumière « rebondissent » sur le miroir (comme des balles). C'est seulement au XX<sup>e</sup> siècle que ces deux théories de la lumière, ondulatoire et corpusculaire, furent enfin réconciliées, grâce à la découverte du photon par Planck et Einstein. En réalité, la lumière possède effectivement une double nature. Il s'agit d'une onde électromagnétique, ou une oscillation périodique, qui se distingue par sa longueur

donc  $\lambda$  (périodicité spatiale) ou sa fréquence  $\nu$  : plus la fréquence est élevée, plus la longueur d'onde est faible, et inversement :

$$\nu = c/\lambda \quad (I.1)$$

Où Cela montre la rapidité de la lumière. Au sein du spectre solaire visible, la longueur d'onde est représentée par la "couleur" de la lumière. Il s'agit également d'un faisceau de photons qui sont semblables à des « grains de lumière » qui transportent une quantité d'énergie qui varie en fonction de leur longueur d'onde, comme le montre la formule de Louis de Broglie (1924) : [6]

$$E = h * \nu = h * c/\lambda \quad (I.2)$$

### I.3 LA REVOLUTION DE LA TERRE AUTOUR DU SOLEIL

#### I.3.1 GEOMETRIE TERRE-SOLEIL

Le Soleil est une étoile pseudo-sphérique de 1 391 000 km de diamètre. Il se trouve à 149 598 000 km en moyenne de la Terre. Il est constitué de gaz, principalement de l'hydrogène et de l'hélium, et il est le théâtre de réactions de fusion nucléaire permanentes, avec une température de cœur de 107 K. La géométrie terrestre-solaire nécessite une connaissance de l'orbite elliptique terrestre : [7]

- Cette forme signifie que la distance entre la Terre et le Soleil varie tout au long de l'année.
- Au point le plus proche (**périhélie**), la Terre se trouve à environ 147 millions de km du Soleil.
- Au point le plus éloigné (**aphélie**), elle se trouve à environ 152 millions de km.

De l'inclinaison axiale et des positions relatives variables tout au long de l'année. La combinaison de ces éléments génère les saisons, le cycle jour-nuit, ainsi que différents phénomènes astronomiques tels que les éclipses. La compréhension de cette géométrie complexe est cruciale pour comprendre les processus climatiques et astronomiques sur notre planète.

#### I.3.2 MOUVEMENTS DE LA TERRE AUTOUR DU SOLEIL

La Terre présente une orbite légèrement elliptique autour du Soleil dont le Soleil est le foyer (voir figure I5). En réalité, leur distance diffère de  $\pm 1,69\%$  tout au long de l'année en raison de la légère excentricité de l'orbite terrestre ( $e = 0,017$ ).

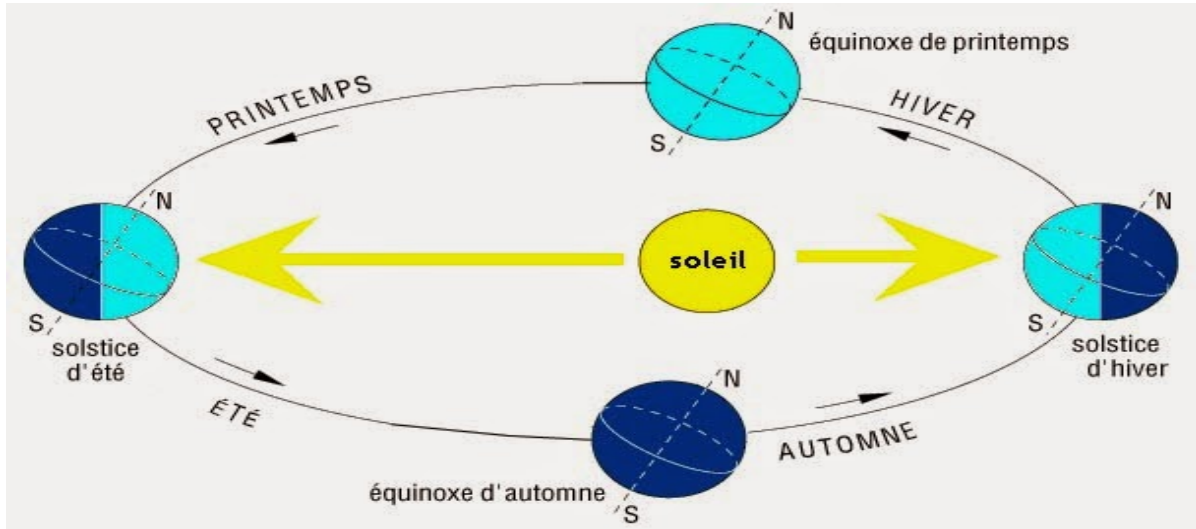


FIGURE I.5: MOUVEMENT DE LA TERRE [8]

La Terre présente une inclinaison de 23,45 degrés sur son axe de rotation par rapport au plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre). L'angle  $\delta$  est le rapport entre l'axe Terre-Soleil et le plan de l'équateur à un certain moment de l'année. Au solstice d'été, la déclinaison est de + 23,45 degrés, au solstice d'hiver, elle est de - 23,45 degrés et aux équinoxes, elle est nulle. Les saisons sont influencées par cette déclinaison, car dans l'hémisphère nord, les rayons nous atteignent avec un angle plus élevé sur l'horizon en été et plus bas en hiver (à l'inverse dans l'hémisphère sud). Elle souligne également que les variations saisonnières sont plus prononcées aux hautes latitudes. Le fait que l'activité solaire ne soit pas constante et que la Terre subit des éruptions est également connu, mais leurs effets ne dépassent pas 4 % de variation d'intensité du rayonnement émis. [8]

#### I.3.2.1 PARAMETRES DE POSITION

Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles est l'équateur, une ligne fictive de séparation entre l'hémisphère nord et l'hémisphère sud. Le méridien correspond au plan du site qui traverse l'axe des pôles. Deux coordonnées, les coordonnées terrestres, séparent chaque point de la sphère terrestre : sa latitude  $\phi$ , positive dans l'hémisphère nord, négative dans l'hémisphère sud, et sa longitude  $L$ , positive à l'ouest, négative à l'est. L'origine de la méridienne, utilisée pour mesurer la longitude, est celle de Greenwich. [9]

La latitude est un élément géographique qui est représenté par une valeur angulaire, qui représente la position d'un point sur la terre au nord ou au sud de l'équateur, qui constitue le plan de base.

- La longitude est un élément géographique qui se manifeste par une valeur angulaire, qui représente la position est ou ouest d'un point sur la Terre. La longitude de référence sur la Terre est le méridien de Greenwich.
- L'altitude correspond à la distance verticale, mesurée en mètres, entre le point étudié et le relief terrestre, avec le niveau de la mer.

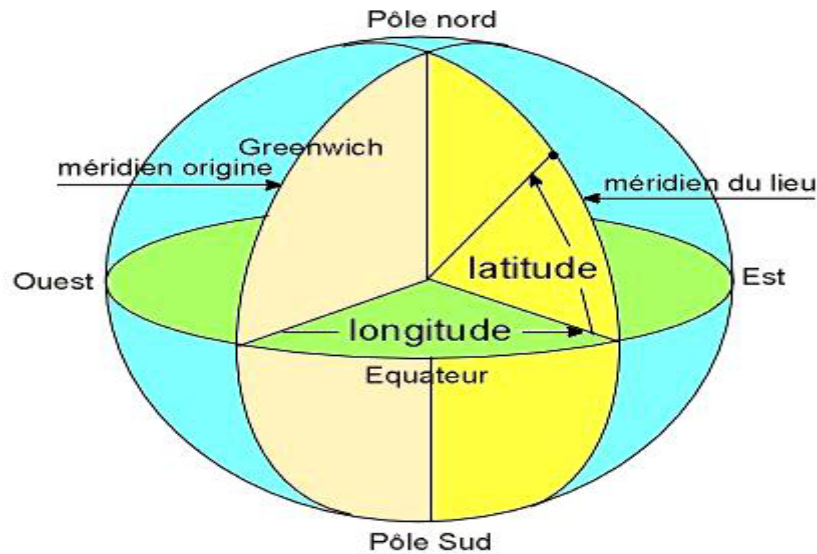


FIGURE I.6:PARAMÈTRES DE POSITION

### I.3.3 TRAJECTOIRE APPARENTE DU SOLEIL

Afin de générer une quantité optimale d'électricité, il est nécessaire de positionner un module photovoltaïque de manière perpendiculaire aux rayons du soleil. Il est très souvent impossible d'obtenir cela, car la position du soleil change chaque jour et chaque année, et il faut donc décrire la trajectoire du soleil apparente qui dépend de la latitude et de la longitude de ce point de la surface terrestre.

Il est important de rappeler que la latitude correspond à la distance angulaire d'un point du globe par rapport à l'équateur (de 0 à 90 degrés dans l'hémisphère nord). En ce qui concerne la longitude, elle est aussi un angle, mesuré par rapport au méridien de Greenwich (arc de cercle qui traverse les deux pôles et la ville de Greenwich en Angleterre) en direction de l'est. La hauteur angulaire  $h$  – l'angle entre la direction du Soleil et le plan horizontal du lieu – et l'azimut  $\alpha$  – l'angle entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le Soleil, compté négativement vers l'est (fig. I7).

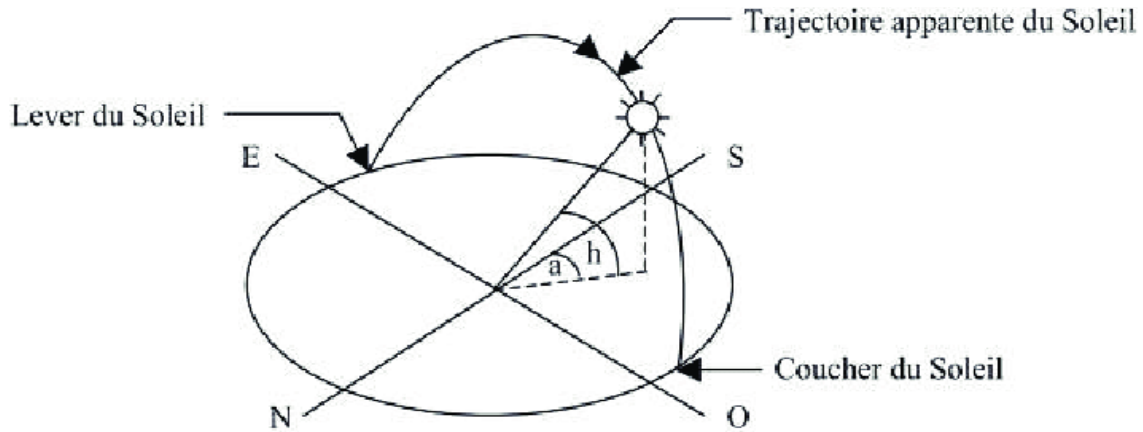


FIGURE I.7:TRAJECTOIRE DU SOLEIL [8]

#### I.3.4 LES GISEMENTS SOLAIRE EN ALGERIE

Afin de comprendre l'ampleur des énergies renouvelables en Algérie et les enjeux importants et inépuisables liés à ces énergies non encore exploitées, notamment le gisement solaire exceptionnel qui couvre une superficie de 2381745 km<sup>2</sup>. L'Algérie est l'un des pays qui possède une grande variété de sites en raison de son secteur étendu, où le rayonnement de la région près de la mer est influencé par les différentes saisons. Les régions du nord de l'Algérie sont davantage abritées que celles du sud.

Dans les régions désertiques du Sahara, l'énergie solaire est très importante, mais les températures atmosphériques sont plus élevées. La variété des conditions climatiques se manifeste par une fluctuation de l'ensoleillement moyen global reçu au niveau horizontal, variant de 4,5 à 7,5 kWh/mètre carré. En prenant en considération cette variété, on peut classer l'Algérie en huit zones climatiques avec un ensoleillement approximatif, comme le montre la figure I.9.

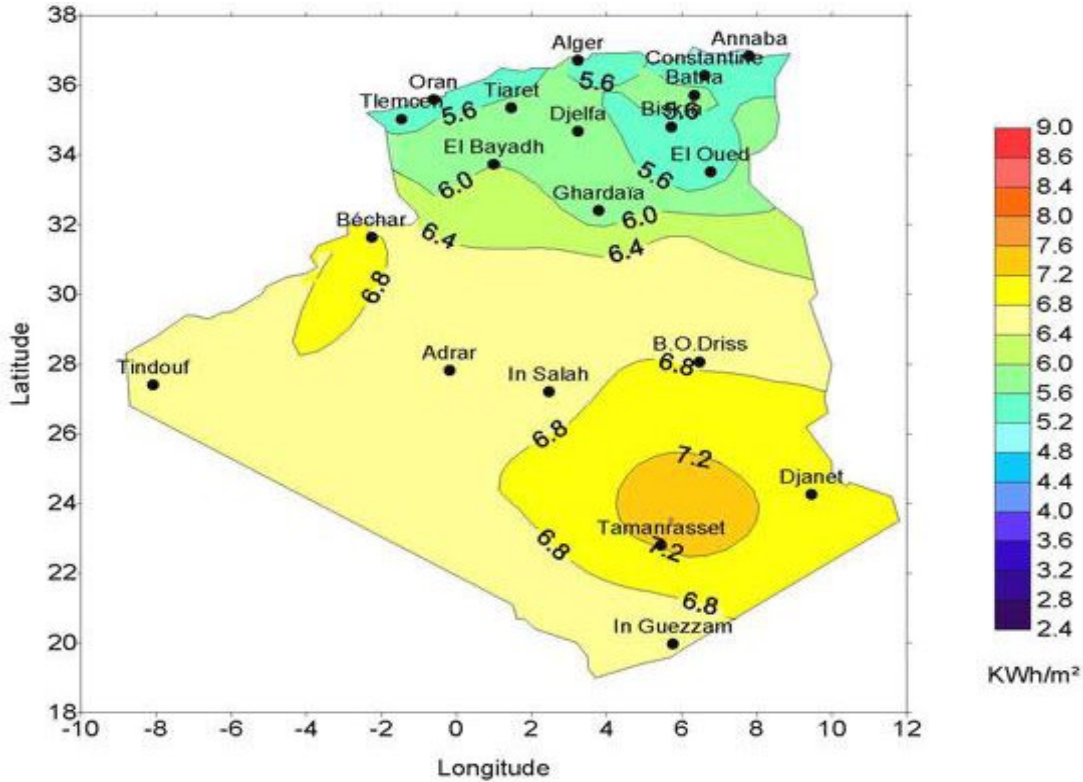


FIGURE I.8:LES GISEMENTS SOLAIRE EN ALGERIE [10]

## I.4 CONVERSION D'ENERGIE SOLAIRE

**I.4.1 LE SOLAIRE A CONCENTRATION THERMODYNAMIQUE :** L'ENERGIE solaire thermodynamique, également connue sous le nom d'énergie solaire concentrée (CSP), utilise l'énergie du soleil pour produire de la chaleur à haute température qui est convertie en électricité. Cette technologie utilise des miroirs ou des lentilles pour concentrer la lumière du soleil sur un récepteur, augmentant ainsi l'intensité du rayonnement solaire. Le récepteur absorbe la chaleur et la transfère à un fluide caloporteur tel que de l'huile thermique ou de l'air chauffé à haute température. Ce fluide de travail est ensuite utilisé pour générer de la vapeur, qui entraîne une turbine reliée à un générateur pour produire de l'électricité. L'énergie solaire thermodynamique est principalement utilisée pour la production d'électricité à grande échelle et offre un grand potentiel de production d'énergie renouvelable et décarboné. Les installations CSP modernes peuvent atteindre des rendements de conversion d'énergie allant jusqu'à 22% (cycle de Rankine) jusqu'à



40%, voire plus et des températures allant jusqu'à 500 C°, grâce à l'utilisation d'optiques sophistiquées, de cycles thermodynamiques avancés et d'une gestion efficace de la chaleur.

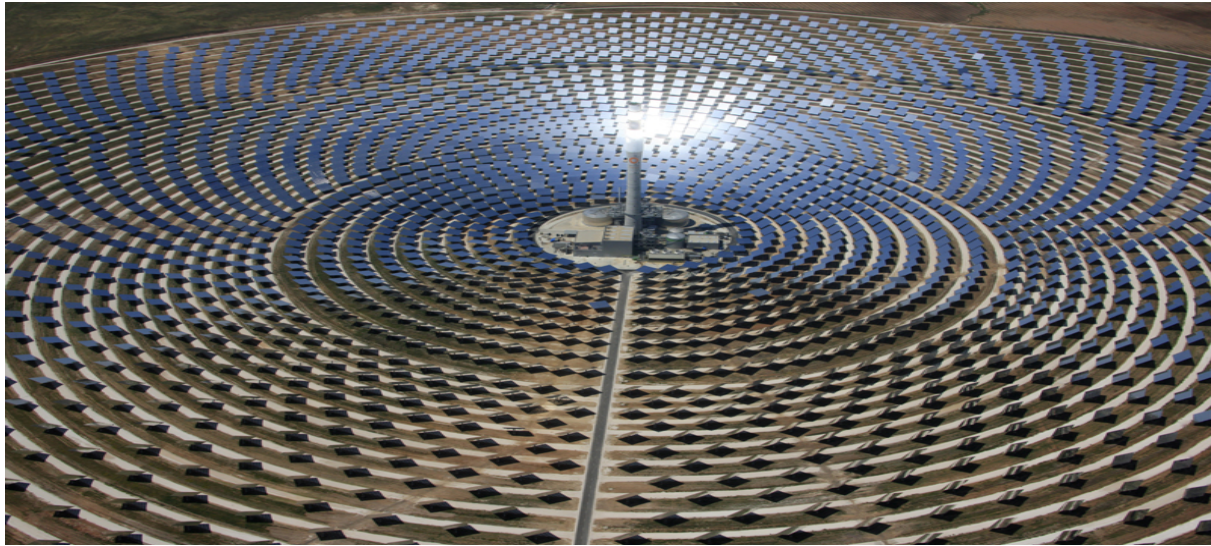


FIGURE I.9: CENTRALE SOLAIRE THERMODYNAMIQUE [11]

**I.4.2 LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE :** L'énergie solaire peut être convertie en électricité à l'aide de cellules photovoltaïques, qui capturent la lumière du soleil et la transforment directement en courant électrique. Ces cellules sont souvent regroupées pour former des panneaux solaires, qui peuvent être installés sur des toits, des centrales solaires au sol ou d'autres structures.

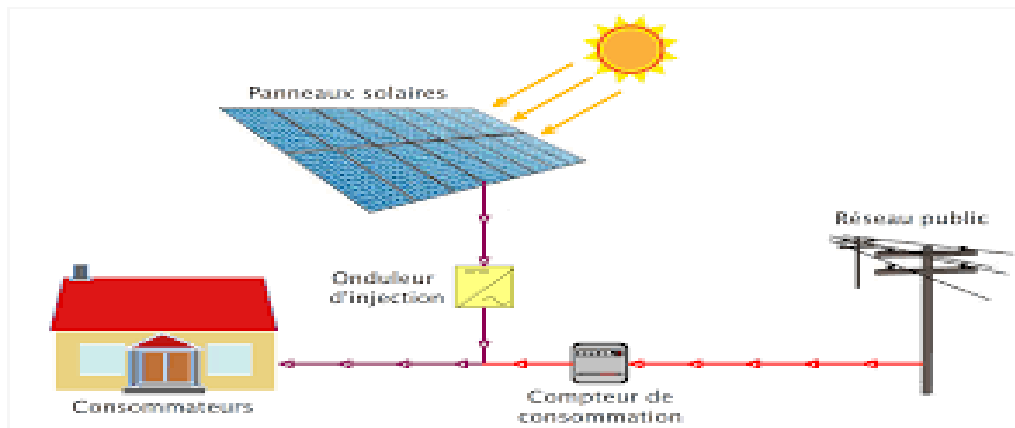


FIGURE I.10: INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE [12]

### I.4.3 LE SOLAIRE THERMIQUE

La technologie solaire thermique exploite l'énergie solaire pour générer de la chaleur utilisée pour le chauffage ou la production d'eau chaude sanitaire. Cette approche utilise des capteurs solaires qui captent l'énergie du soleil et la convertissent en chaleur. Par la suite, cette chaleur peut être transmise à un fluide caloporteur, habituellement de l'eau ou un mélange eau-glycol, à travers des échangeurs thermiques, afin d'être employée dans des systèmes de chauffage résidentiels, commerciaux ou industriels. Le potentiel du solaire thermique est considérable pour diminuer la dépendance aux énergies fossiles et favoriser la transition vers une économie à faible empreinte carbone. Les rendements sont compris entre 30 et 60% et les températures varient de 60 à 80°C.

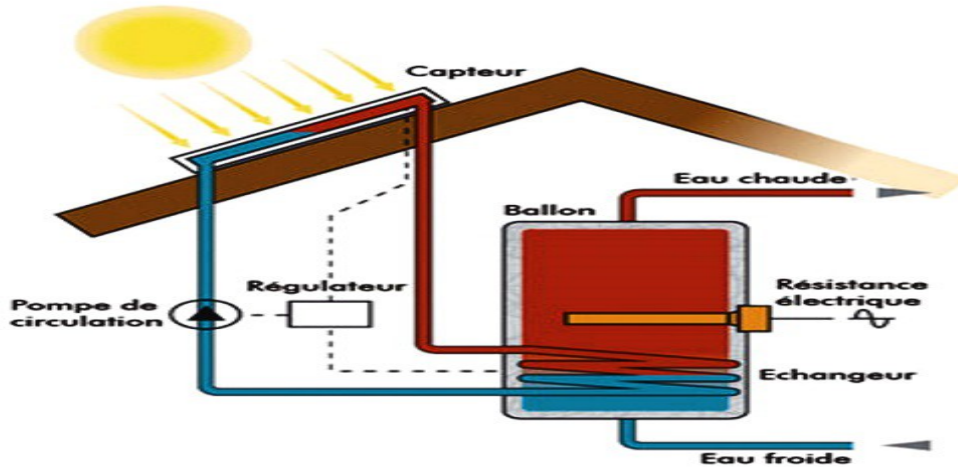


FIGURE I.11: INSTALLATION SOLAIRE THERMIQUE [13]

## PARTIE B

### I.5 L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE

L'effet photovoltaïque correspond à un processus physique où certaines substances, telles que les semi-conducteurs tels que le silicium, produisent de l'électricité lorsqu'elles sont exposées à la lumière. Il s'agit de la fondation de la technologie des cellules photovoltaïques, aussi connues sous le nom de cellules solaires, qui constituent les éléments essentiels des panneaux solaires. [3]



### I.5.1 Principes Physiques

#### A) PHOTON ET EXCITATION D'ÉLECTRONS :

- Lorsque les photons de la lumière frappent une cellule photovoltaïque, ils peuvent transférer leur énergie à des électrons dans le matériau semi-conducteur de la cellule.
- Si l'énergie du photon est supérieure à la bande interdite (gap énergétique) du matériau, elle peut exciter un électron de la bande de valence vers la bande de conduction, créant une paire électron-trou.

#### b) Création de Paires Électron-Trou

- L'électron libre (dans la bande de conduction) et le trou (laissé dans la bande de valence) peuvent se déplacer librement dans le matériau.
- Les électrons et les trous se déplacent en direction opposée sous l'influence d'un champ électrique interne créé par la jonction p-n de la cellule.

### I.5.2 HISTORIQUE DE L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE

L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Alexandre-Edmond Becquerel. Il a observé que certains matériaux produisaient une petite quantité d'électricité lorsqu'ils étaient exposés à la lumière du soleil. Cependant, il a fallu attendre plusieurs décennies avant que des progrès significatifs soient réalisés dans le développement de cellules photovoltaïques pratiques.

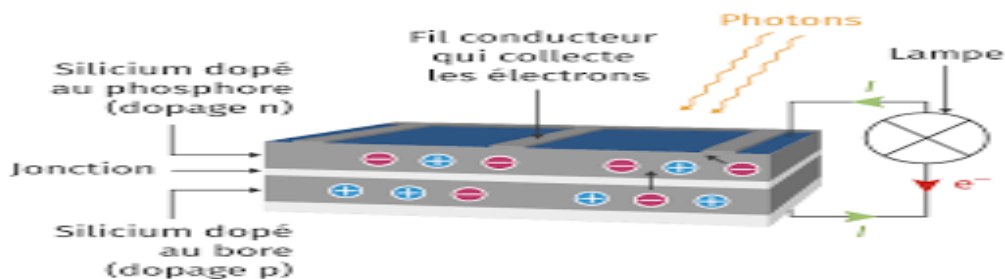
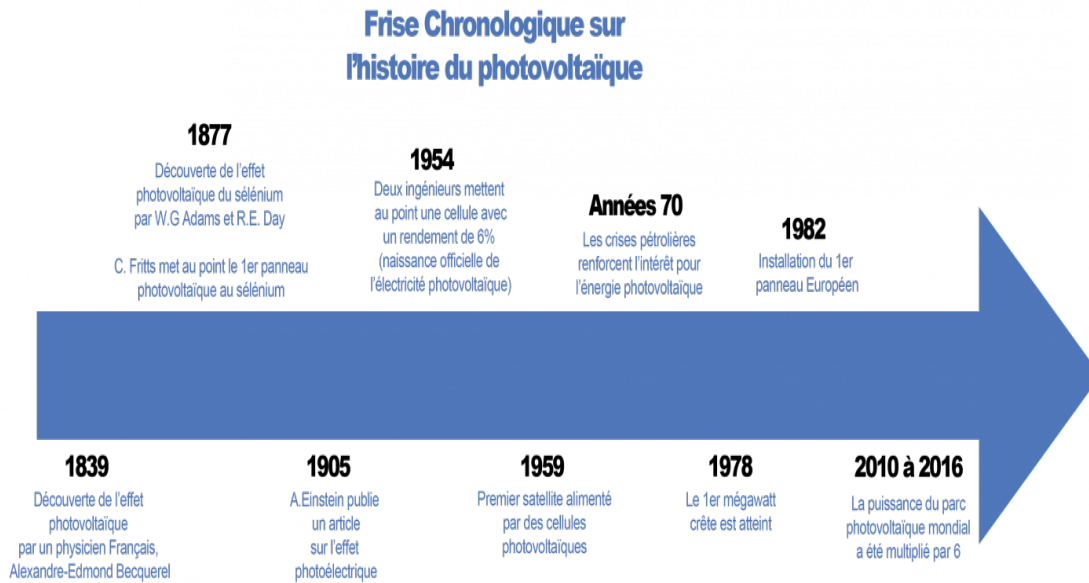


FIGURE I.12: EFFET PHOTOVOLTAÏQUE

## Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire et le photovoltaïque

Dans les années 1950 et 1960, des progrès importants ont été réalisés dans la technologie des semi-conducteurs, ce qui a conduit à la création des premières cellules solaires commerciales. Depuis lors, la recherche et le développement dans le domaine des cellules solaires ont considérablement progressé, améliorant l'efficacité et réduisant les coûts de production.



**FIGURE I.13:**EVOLUTION DE LA TECHNOLOGIE PHOTOVOLTAÏQUE [14]

### I .6 LE SILICIUM ET SES PROPRIETES

Différentes méthodes sont disponibles pour convertir directement la lumière solaire en électricité. La conversion photovoltaïque la plus célèbre est celle qui utilise des matériaux semi-conducteurs comme le silicium (Si), le germanium (Ge), le sélénium (Se) ou des composés semi-conducteurs comme l'arséniure de gallium (GaAs) et le tellure de cadmium (CdTe). Malgré leurs performances élevées, les cellules solaires de type GaAs sont extrêmement coûteuses à produire et leur utilisation est actuellement principalement réservée aux applications spatiales. La plupart des panneaux solaires sont conçus à partir de silicium cristallin, en raison de divers bénéfices. Le silicium n'est pas toxique, à la différence d'autres matériaux tels que le cadmium ou le sélénium, et il offre des performances de conversion exceptionnelles. [15]

En outre, le silicium, sous forme de composés (silicates, silice), représente environ 28 % de la croûte terrestre, ce qui en fait une source presque inépuisable. [15] Le silicium présente des propriétés optiques et électriques spécifiques qui le rendent particulièrement adapté à la conversion photovoltaïque :

### I.6.1 PROPRIÉTÉS OPTIQUES

- **Absorption** : Le silicium absorbe efficacement la lumière solaire, permettant ainsi la génération de paires électron-trou nécessaires à la production de courant électrique.
- **Réflexion** : La réflexion peut être réduite par des traitements de surface spécifiques, améliorant ainsi l'efficacité de l'absorption.
- **Transmission** : Bien que la transmission à travers le silicium soit généralement faible dans les cellules photovoltaïques, elle est minimisée pour maximiser l'absorption.

### I.6.2 PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES

- **Semi-conducteur** : Le silicium est un semi-conducteur intrinsèque. Sa conductivité électrique peut être contrôlée par le dopage, processus par lequel des impuretés spécifiques sont ajoutées pour modifier ses propriétés électroniques.
- **Bande interdite** : L'énergie de la bande interdite du silicium est de 1,1 eV à température ambiante, ce qui est idéal pour les applications photovoltaïques.
- **Conductivité** : La conductivité électrique du silicium peut être ajustée, permettant une manipulation précise des charges électriques générées par l'absorption de la lumière.

Grâce à ces propriétés, le silicium joue un rôle central dans la technologie photovoltaïque. Sa disponibilité abondante et ses caractéristiques avantageuses font de lui le matériau de prédilection pour la fabrication des cellules solaires, contribuant de manière significative au développement des énergies renouvelables et à la réduction de la dépendance aux combustibles fossiles.

## I.7 La cellule photovoltaïque

L'élément essentiel des panneaux solaires est la cellule photovoltaïque, un dispositif semi-conducteur, généralement en silicium, qui transforme directement l'énergie lumineuse en électricité. Elle a une tension de sortie assez faible, ne dépassant pas habituellement 0,7 volts.

**Taille et forme des cellules photovoltaïques :** Les cellules photovoltaïques présentent des dimensions variées, allant de 10 à 100 cm<sup>2</sup>. Leur forme peut être circulaire, carrée ou dériver de ces deux géométries de base. [7]

### I.7.1 PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

La cellule photovoltaïque, élément fondamental des panneaux solaires, repose sur le principe de la jonction PN. Cette jonction, créée en dopant différemment les deux faces d'un substrat semi-conducteur, génère une barrière de potentiel séparant les zones dopées N et P.

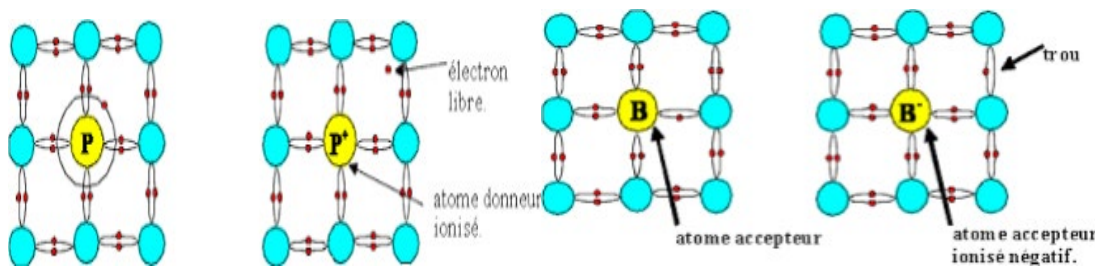


FIGURE I.14: DOPAGE NEGATIF AU PHOSPHORE ET DOPAGE POSITIF AU BORE [7]

**Lumière et création de charges :** Lorsque des photons de lumière frappent la cellule, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN. Cette énergie excite les électrons, les libérant de leurs atomes et créant ainsi des charges libres :

- **Électrons libres (charges N) :** Dans la zone N, l'excès d'électrons se déplace vers la borne négative de la cellule.
- **Trous libres (charges P) :** Dans la zone P, la perte d'électrons crée des "trous" positifs qui se déplacent vers la borne positive.

**Différence de potentiel et production d'électricité :** Ce mouvement d'électrons et de trous génère une différence de potentiel électrique mesurable entre les bornes positives et négatives de la cellule. C'est cette différence de potentiel, exploitée par les circuits électriques, qui permet de produire du courant continu.

### **I.7.2 LES TYPES DES CELLULES PV**

Différents types de cellules photovoltaïques existent, dont les plus courantes sont principalement fabriquées à partir de silicium. Chaque catégorie de cellules présente un rendement propre. Parmi les variétés présentes : [16]

#### **I.7.2.1 CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES A BASE DE SILICIUM**

Ces cellules représentent la majorité des panneaux solaires sur le marché.

##### **a) Silicium Monocristallin (Mono-Si) :**

###### **➤ Caractéristiques :**

- Fabriquées à partir d'un seul cristal de silicium.
- Apparence uniforme, généralement de couleur noire.
- **Avantage :**
  - Rendement élevé (environ 15-22%).
  - Longue durée de vie et haute efficacité dans les espaces restreints.
- **Inconvénients :**
  - Coût de production élevé dû à un processus de fabrication complexe.
- **Applications :**
  - Idéales pour les espaces limités où un rendement élevé est nécessaire.

##### **b) Silicium Polycristallin (Poly-Si) :**

###### **➤ Caractéristiques :**

- Fabriquées à partir de multiples cristaux de silicium.
- Apparence tachetée, généralement de couleur bleue.

###### **➤ Avantage :**

- Coût de production inférieur à celui des cellules monocristallines.

###### **➤ Inconvénients :**

- Rendement légèrement inférieur (environ 13-18%).

- Moins efficaces dans des conditions de faible luminosité.
- **Applications :**
  - Utilisées dans des installations où l'espace n'est pas une contrainte majeure.

**c) Silicium Amorphe (a-Si) :**

- **Caractéristiques :**
  - Utilisent une fine couche de silicium non cristallin.
  - Flexibles et légers, peuvent être appliqués sur des surfaces variées.
- **Avantage :**
  - Coût de production faible.
  - Performances raisonnables dans des conditions de faible luminosité et chaleur.
- **Inconvénients :**
  - Rendement inférieur (environ 6-10%).
  - Dégradation plus rapide au fil du temps.
- **Applications :**
  - Idéales pour des applications portables ou sur des surfaces flexibles.

**I.7.2.2 CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES A BASE DE MATERIAUX COMPOSES**

Ces technologies utilisent des combinaisons de matériaux pour améliorer l'efficacité et réduire les coûts.

**A. Cellules en Couches Minces :**

- **Types :**
  - **Tellurure de Cadmium (CdTe)**
    - Rendement modéré (environ 9-16%).
    - Coût de production faible.
  - **Cuivre-Indium-Gallium-Selenium (CIGS)**
    - Rendement élevé pour les couches minces (environ 10-20%).
    - Flexibilité pour diverses applications.

➤ **Avantage :**

- Moins de matériaux nécessaires.
- Potentiel de production à faible coût et large échelle.

➤ **Inconvénients :**

- Efficacité généralement inférieure à celle des cellules en silicium.
- Utilisation de matériaux rares ou toxiques (CdTe).

### **I.7.2.3 CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES DE TROISIEME GENERATION**

Ces technologies émergentes visent à surmonter les limitations des cellules de première et deuxième génération.

#### **a) Cellules à Points Quantiques**

➤ **Caractéristiques :**

- Utilisent des nano cristaux pour améliorer l'absorption de la lumière.
- Flexibles et peuvent être intégrées dans des matériaux divers.

➤ **Avantage :**

- Potentiel de rendement élevé.
- Possibilité de production à bas coût.

➤ **Inconvénients :**

- Technologies encore en développement et pas encore largement commercialisées.

#### **b) Cellules Photovoltaïques Organiques (OPV)**

➤ **Caractéristiques :**

- Utilisent des polymères ou des petites molécules organiques.
- Flexibles et peuvent être fabriquées à moindre coût.

➤ **Avantage :**

- Léger, flexible, et peut être produit en grandes surfaces.

➤ **Inconvénients :**

- Rendement relativement faible (environ 3-12%).
- Durée de vie limitée par rapport aux cellules à base de silicium.

**c) Cellules à Pérovskites :**

➤ **Caractéristiques :**

- Utilisent des matériaux à structure pérovskite.
- Atteignent des rendements élevés (plus de 25% en laboratoire).

➤ **Avantage :**

- Haut rendement et potentiel de production à faible coût.

➤ **Inconvénients :**

- Stabilité et durabilité encore des sujets de recherche intense. [16]

**I.7.3 ASSOCIATION DES CELLULES**

Individuellement, les cellules photovoltaïques délivrent une tension et une puissance trop faibles pour alimenter la plupart des équipements électriques. C'est là qu'intervient l'association de cellules, une technique astucieuse pour booster leurs performances. [17]

**I .7.3.1 LES APPROCHES PRINCIPALES S'OFFRENT A NOUS**

**A) Association en série :**

- **Empilement des cellules :** On relie la borne positive d'une cellule à la borne négative de la suivante, et ainsi de suite.
- **Résultat :** La tension totale s'additionne, augmentant significativement la capacité d'alimentation.
- **Inconvénient :** Le courant délivré reste inchangé.



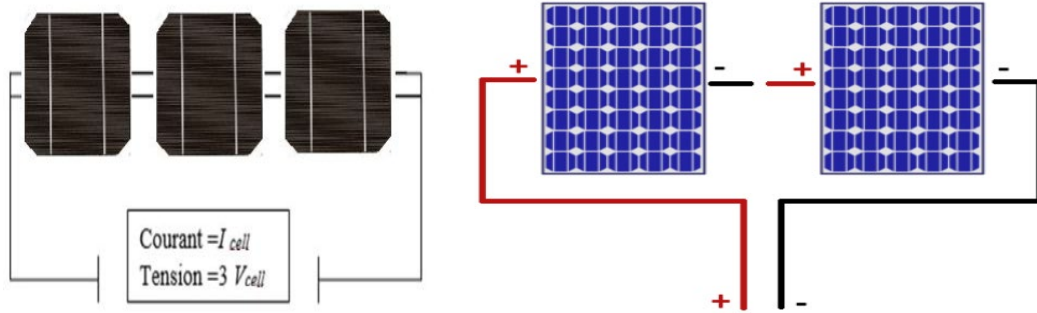


FIGURE I.15: ASSOCIATION DES CELLULES EN SERIE [17]

**B) Association en parallèle :**

- **Connexion côte à côte :** On relie les bornes positives de toutes les cellules entre elles, et de même pour les bornes négatives.
- **Résultat :** Le courant total délivré s'additionne, permettant d'alimenter des charges plus puissantes.
- **Inconvénient :** La tension reste celle d'une seule cellule.

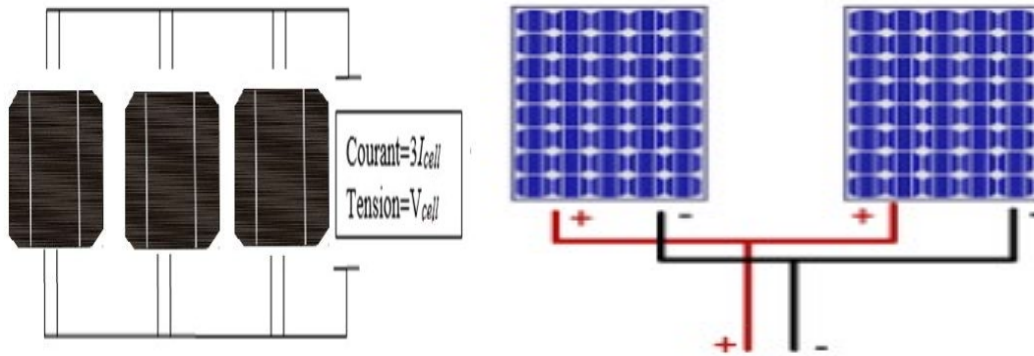


FIGURE I.16: ASSOCIATION DES CELLULES EN PARALLELE [17]

**Association mixte (série et parallèle combinées) :**

- **Flexibilité ultime :** On combine les avantages des deux approches pour obtenir une tension et un courant adaptés aux besoins spécifiques.

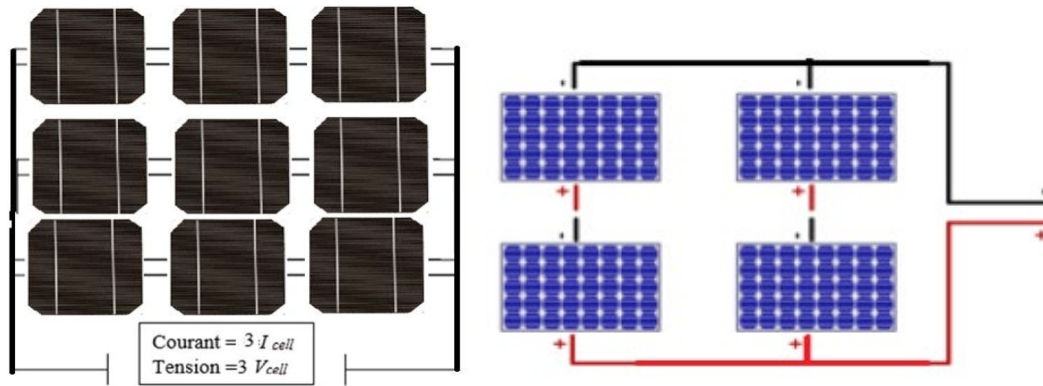


FIGURE I.17: ASSOCIATION MIXTE [17]

### I.7.3.2 LES CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DES CELLULES ET MODULES PV

Les modules photovoltaïques, ces éléments rectangulaires rigides et minces qui composent les panneaux solaires, possèdent des caractéristiques spécifiques qui permettent d'évaluer leurs performances. Décodons ensemble ces termes clés [18]

#### A) Puissance crête ( $P_c$ ) :

La puissance crête correspond à la puissance électrique maximale que le module peut fournir dans des conditions standardisées (température de  $25^{\circ}\text{C}$  et éclairage de  $1000 \text{ W/m}^2$ ). Il s'agit d'une mesure essentielle de la capacité de production d'énergie d'un panneau.

#### B) Caractéristique $I=f(V)$ :

Cette courbe graphique illustre la relation entre le courant ( $I$ ) débité par le module et la tension ( $V$ ) à ses bornes. Elle permet de comprendre le comportement électrique du module dans différentes conditions d'ensoleillement et de charge.

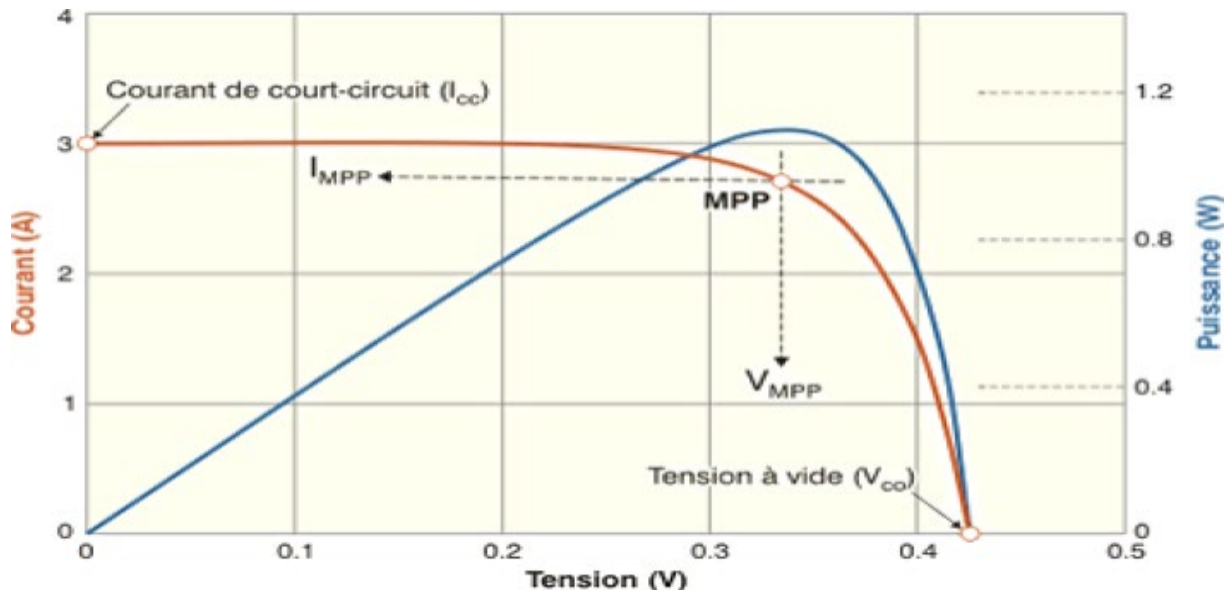
**C) Tension à vide ( $V_{oc}$ ) :** La tension à vide correspond à la tension mesurée aux bornes du module lorsqu'aucun courant ne circule, c'est-à-dire en circuit ouvert et sous un ensoleillement maximal ("plein soleil").

**D) Courant de court-circuit ( $I_{sc}$ ) :** Le courant de court-circuit correspond à la quantité de courant maximale que le module peut produire lorsqu'il est en court-circuit, c'est-à-dire lorsque ses bornes positives et négatives sont en contact direct.

**E) Point de fonctionnement optimal (MPPT) :** Le point de fonctionnement optimal (MPPT) est le point sur la courbe  $I=f(V)$  où le module fournit la puissance la plus élevée. Il est essentiel d'améliorer l'efficacité de la production d'énergie du module.

**F) Rendement ( $\eta$ ) :** Le rendement d'un module solaire est le rapport entre la puissance électrique maximale qu'il peut générer et la puissance de rayonnement solaire incidente sur sa surface. Il exprime la performance de la transformation de l'énergie solaire en électricité.

**G) Facteur de forme (FF) :** La qualité de la cellule photovoltaïque est évaluée par le facteur de forme. Il correspond au rapport entre la puissance optimale ( $P_m$ ) du module et la puissance théorique maximale que la cellule pourrait fournir dans des conditions optimales. [18]



**FIGURE I.18:** COURBE DES CARACTERISTIQUES COURANT-TENSION (I-V) ET PUISSANCE-TENSION (P-V) D'UNE CELLULE PV [19]

## I.7.4 L'INFLUENCE DE L'ECLAIREMENT SUR LA CELLULE PV

### I.7.4.1 LUMIERE ET CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES

Une relation de dépendance. L'éclairement, c'est -à-dire la quantité de lumière absorbée par une cellule photovoltaïque, est essentielle pour sa génération d'énergie. En maintenant la température à 25°C, on peut faire des observations intéressantes : [20]

- **Augmentation du courant de court-circuit et de la puissance maximale :** L'intensité de l'éclairement entraîne une augmentation significative du courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) et de la puissance maximale ( $P_{max}$ ) émises par la cellule par rapport à la tension à circuit ouvert ( $V_{oc}$ ).
- **Tension à circuit ouvert relativement stable :** La tension à circuit ouvert ( $V_{oc}$ ), quant à elle, présente une variation relativement modérée avec l'augmentation de l'éclairement.

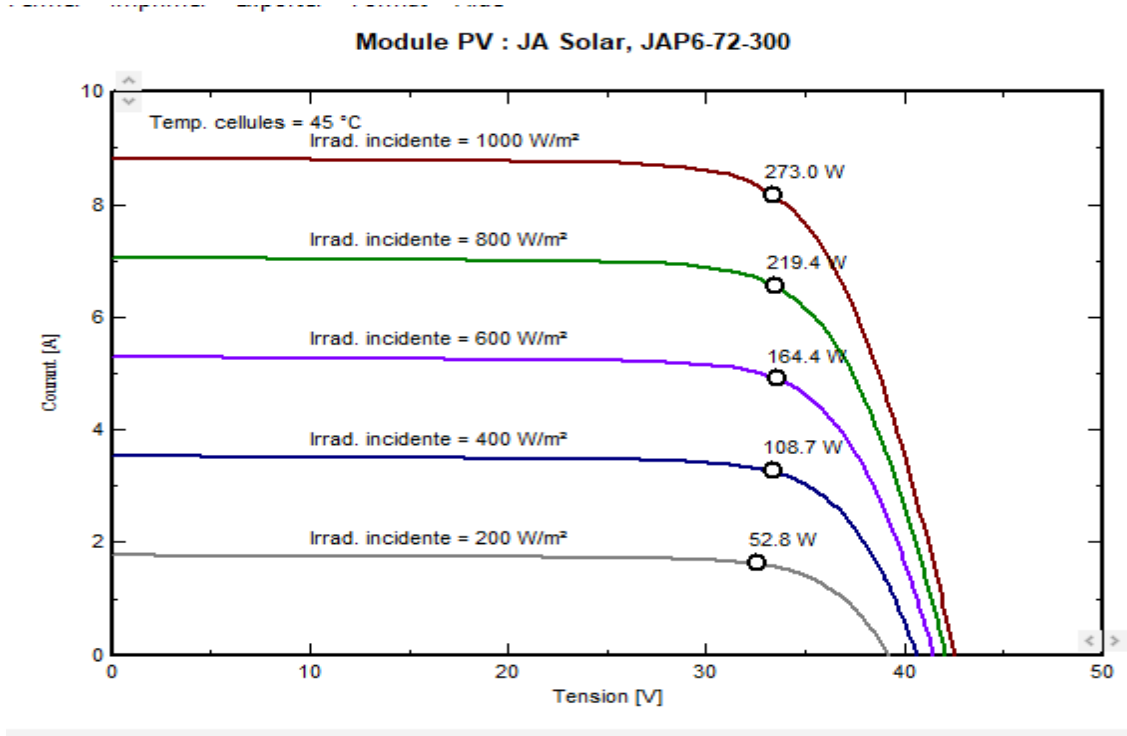
L'illustration (Figure I.18) met en évidence cette relation de proportionnalité :

- **Courbes ascendantes :** Les courbes représentant le courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) et la puissance maximale ( $P_{max}$ ) s'élèvent nettement avec l'augmentation de l'éclairement.
- **Courbe plus plate :** La courbe de la tension à circuit ouvert ( $V_{oc}$ ) présente une pente plus douce, indiquant une variation moins importante.

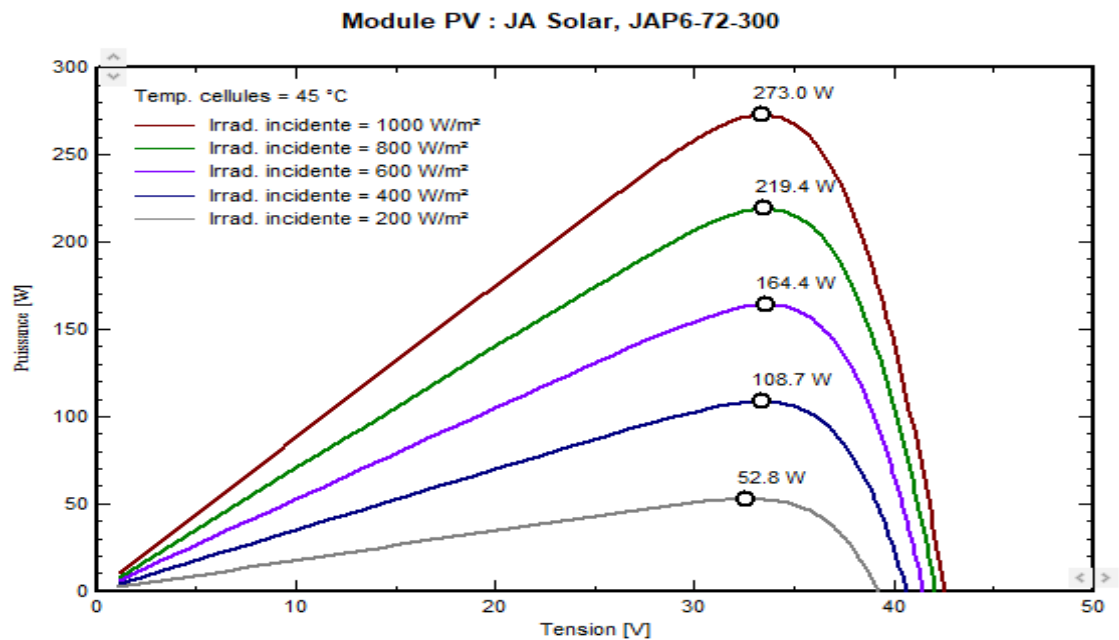
#### I.7.4.2 EXPLICATION DU PHENOMENE

Ce comportement s'explique par le processus de génération de charges électriques au sein de la cellule. À mesure que l'éclairement s'intensifie, un plus grand nombre de photons frappe la cellule, générant davantage d'électrons libres et de trous. Cette augmentation des porteurs de charge se traduit par une augmentation significative du courant de court-circuit et de la puissance maximale.

La tension à circuit ouvert, quant à elle, dépend principalement du champ électrique interne de la cellule, qui est moins sensible aux variations d'éclairement.



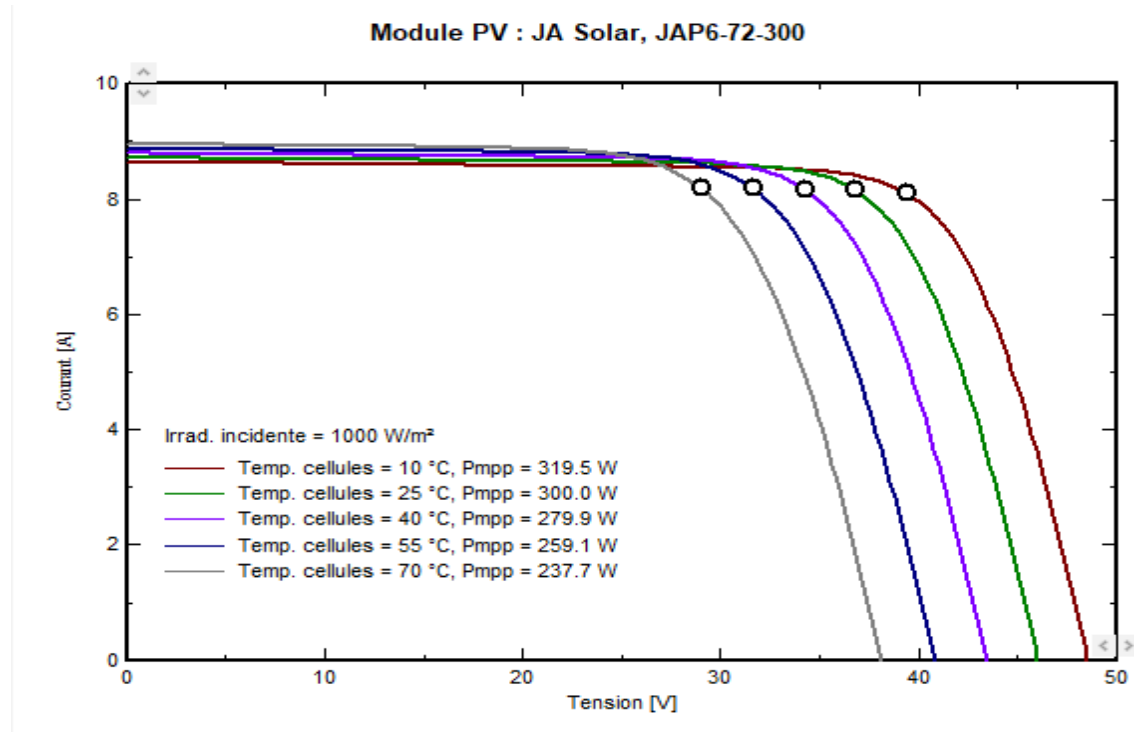
**FIGURE I.19:**CARACTERISTIQUE COURANT-TENSION D'UNE CELLULE EN FONCTION DE L'ECLAIREMENT (PVSYST)



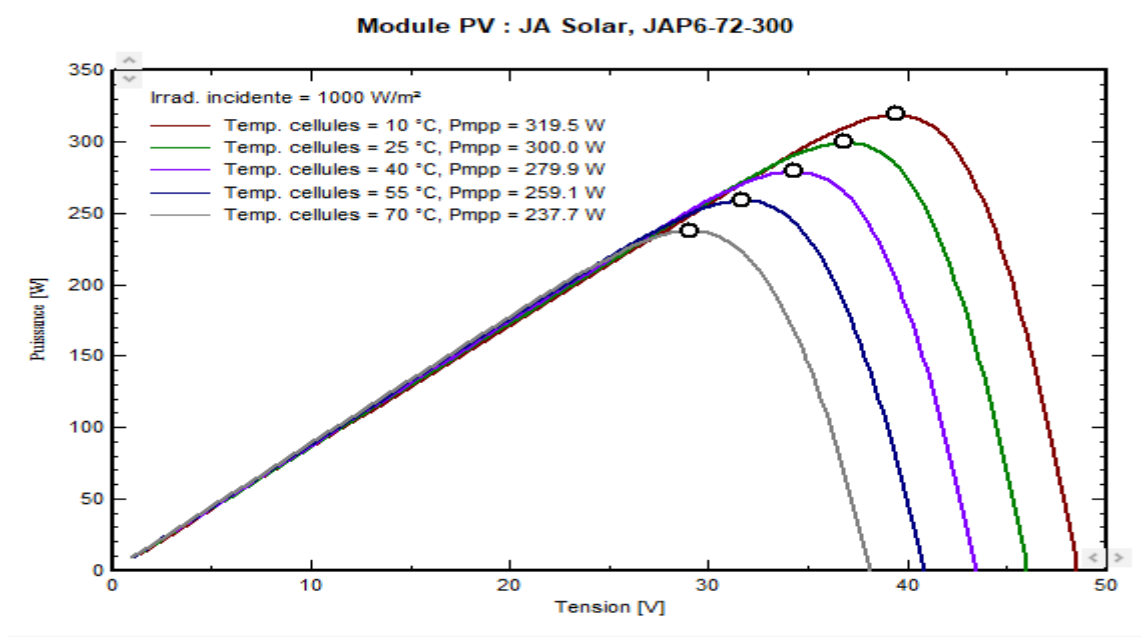
**FIGURE I. 20:**CARACTERISTIQUE PUISSANCE-TENSION D'UNE CELLULE EN FONCTION DE L'ECLAIREMENT (PVSYST)

### I.7.5 INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA CELLULE PV

La température de la cellule est constamment supérieure à celle de l'air ambiant. La (Fig.20) met en évidence une variation significative de la tension d'une cellule en fonction de la variation de la température. À mesure que la température augmente, la performance de la cellule diminue. D'autre part, la tension du court-circuit augmente légèrement lorsque la température augmente. [20]



**FIGURE I.21:**CARACTERISTIQUE COURANT-TENSION D'UNE CELLULE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE (PVSYST)



**FIGURE I.22:** CARACTERISTIQUE PUISSANCE-TENSION D'UNE CELLULE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE (PVSYST)

## I.8 LES COMPOSANTS D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

Les éléments constitutifs d'un système photovoltaïque varient en fonction de l'application et peuvent différer selon que l'installation est située en site isolé ou connectée au réseau électrique. Il convient de souligner que ces éléments peuvent différer selon les particularités de chaque installation photovoltaïque. [21]

**I.8.1 LE MODULE SOLAIRE :** Un panneau solaire est un appareil qui transforme l'énergie solaire en électricité (pour les panneaux solaires photovoltaïques) ou en chaleur (pour les panneaux solaires thermiques). Il est constitué de divers éléments capables de capter l'énergie solaire et de la convertir en une forme d'énergie exploitable.

**I.8.2 COMPOSITION D'UN PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE :** Le principal constituant d'un panneau solaire photovoltaïque est constitué de cellules solaires, qui sont elles-mêmes constituées de semi-conducteurs comme le silicium. En utilisant l'effet photovoltaïque, ces cellules solaires transforment directement la lumière solaire en électricité. En général, les cellules solaires sont enfermées dans une couche de protection et fixées sur un support métallique, comme un cadre en

aluminium. Il est possible d'inclure des couches de protection supplémentaires dans les panneaux photovoltaïques, comme des verres de protection et des films antireflets, afin d'améliorer leur résistance et leur efficacité.

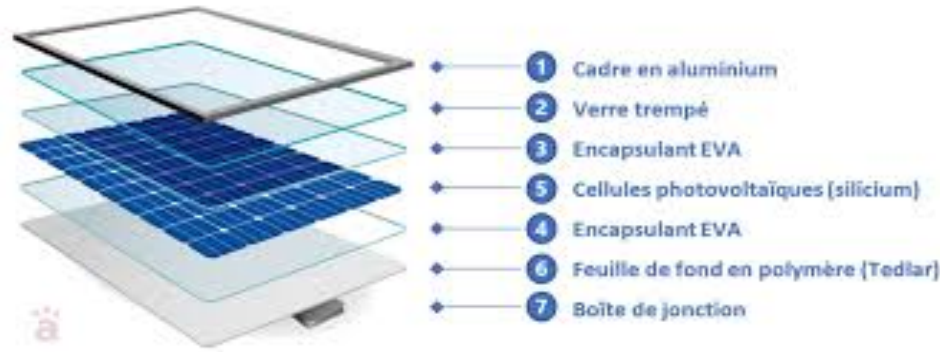


FIGURE I.23: COMPOSITION D'UN PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE [21]

a) **Cellules photovoltaïques (PV) :**

- Ce sont les éléments actifs qui convertissent la lumière solaire en électricité. Elles peuvent être en silicium cristallin (monocristallin ou polycristallin) ou en matériaux à couche mince (CdTe, CIGS, a-Si).
- Les cellules sont interconnectées pour former un module.

b) **Verre de protection :**

- Une couche de verre trempé recouvre le panneau pour protéger les cellules des éléments extérieurs (pluie, grêle, poussière).
- Le verre est généralement transparent et traité pour maximiser la transmission de la lumière.

c) **Encapsulation (EVA - éthylène-acétate de vinyle) :**

- Les cellules PV sont encapsulées entre deux couches de matériau EVA. Cette encapsulation protège les cellules contre l'humidité et les chocs.
- Elle maintient également les cellules en place et assure leur durabilité.



**d) Feuille de fond (Backsheet) :**

- Une couche protectrice située à l'arrière du panneau.
- Elle protège contre les dommages environnementaux et l'humidité.
- Elle est généralement composée de polymères résistants comme le TPT (Tedlar-PET-Tedlar) ou le KPK (Kynar-PET-Kynar).

**e) Cadre :**

- Un cadre en aluminium ou en acier entoure le panneau pour lui donner de la rigidité et faciliter son montage.
- Le cadre aide également à dissiper la chaleur et à protéger les bords du panneau.

**f) Boîtier de jonction :**

- Situé à l'arrière du panneau, il contient les connexions électriques et les diodes de dérivation.
- Les diodes de dérivation permettent au courant de contourner les cellules endommagées ou ombragées, améliorant ainsi la performance du panneau.

**g) Diodes de dérivation :**

- Elles sont intégrées dans le boîtier de jonction pour éviter la surchauffe et les pertes de puissance en cas de panne partielle ou d'ombrage de certaines cellules.

**h) Câblage et connecteurs :**

- Le câblage permet de connecter le panneau aux autres panneaux ou à l'onduleur.
- Les connecteurs étanches facilitent l'installation et la connexion en série ou en parallèle des panneaux.

**i) Revêtement antireflet :**

- Une couche fine appliquée sur les cellules pour réduire la réflexion et augmenter l'absorption de la lumière solaire.

**j) Couches de contact (grilles métalliques) :**

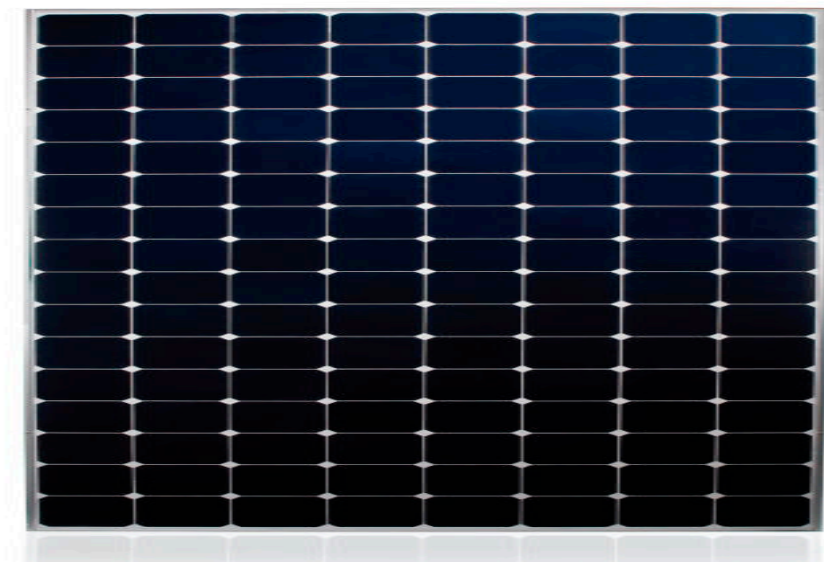
- Des fines grilles métalliques sur la surface des cellules PV permettent de collecter et de transporter le courant électrique généré.
- Généralement en argent ou en aluminium pour assurer une bonne conductivité électrique.

En résumé, que ce soit pour la production d'électricité (panneaux solaires photovoltaïques) ou de chaleur (panneaux solaires thermiques), les panneaux solaires sont des dispositifs essentiels pour exploiter l'énergie solaire et la convertir en une forme d'énergie utilisable. [21]

**I.8.2.1 TYPES DE PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES**

**A) PANNEAUX SOLAIRES MONOCRISTALLINS :**

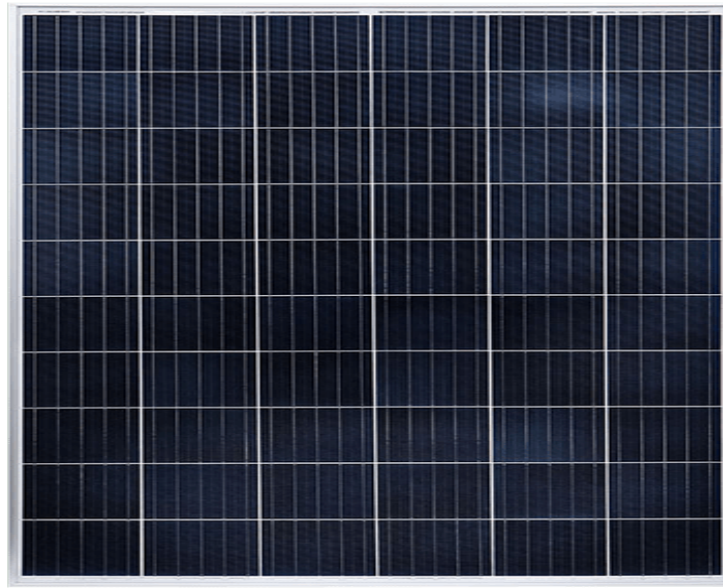
- Ces panneaux sont fabriqués à partir d'une seule tranche de silicium cristallin pur. Ils sont connus pour leur efficacité élevée et leur longévité.
- Exemple de marque : JA Solar, Sun Power, LG Solar, Panasonic



**FIGURE I.24:**PANNEAUX SOLAIRES MONOCRISTALLINS [22]

**B) PANNEAUX SOLAIRES POLY CRISTALLINS :**

- Ces panneaux sont fabriqués à partir de plusieurs cristaux de silicium. Bien qu'ils soient généralement moins chers que les panneaux monocristallins, leur efficacité peut être légèrement inférieure.
- Exemple de marque : Canadian Solar, Trina Solar, JA Solar



**FIGURE I.25:**PANNEAU POLY CRISTALLIN [22]

**C) PANNEAUX SOLAIRES A COUCHE MINCE :**

- Ces panneaux utilisent des couches très minces de semi-conducteurs, tels que le silicium amorphe, le tellure de cadmium ou les composés de cuivre, d'indium, de gallium et de sélénium (CIGS). Ils sont plus légers et moins chers à produire que les panneaux cristallins, mais ils ont souvent une efficacité légèrement inférieure.
- Exemple de marque : First Solar, Hanwha Q Cells, Solar Frontier



**FIGURE I.26:**COUCHE MINCE

**D) PANNEAUX SOLAIRES A PEROVSKITE :**

- Ces panneaux sont fabriqués à partir de matériaux organiques-inorganiques appelés pérovskites, qui ont le potentiel de fournir des rendements élevés à moindre coût. Cette technologie est encore en développement, mais elle offre un grand potentiel pour l'avenir des panneaux solaires.
- Exemple de marque : Oxford PV, Saule Technologies



**FIGURE I.27:**PANNEAU A PEROVSKITE [23]

**E) PANNEAUX SOLAIRES BIFACIAUX :**

- Ces panneaux peuvent capter la lumière des deux côtés, augmentant ainsi leur efficacité globale. Ils sont généralement utilisés dans des installations spécifiques, telles que les centrales solaires au sol.
- Exemple de marque : LONGi Solar, JinkoSolar.

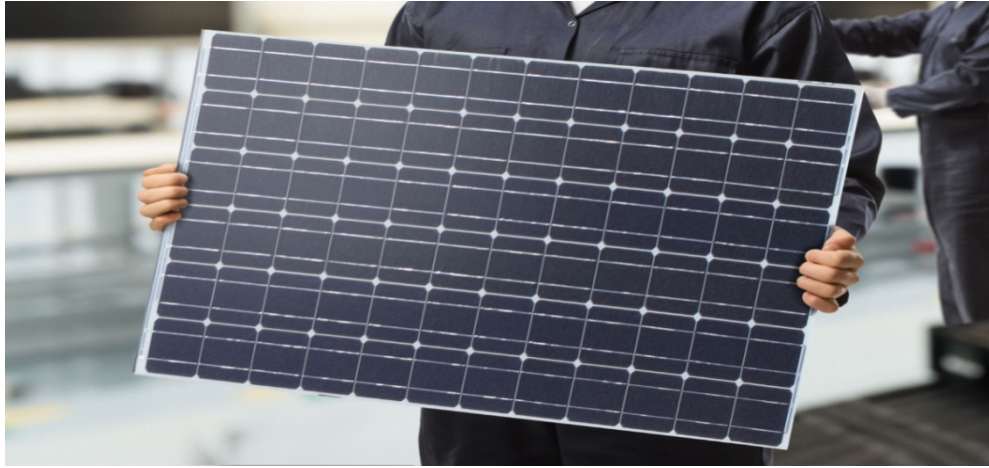


**FIGURE I.28:**MODULES BIFACIAUX [23]

**G) PANNEAUX SOLAIRES TANDEM :**

- Les panneaux solaires tandem, également connus sous le nom de cellules solaires multi jonctions, constituent une technologie prometteuse qui révolutionne le domaine du photovoltaïque. En empilant plusieurs couches de matériaux semi-conducteurs, ces panneaux solaires dépassent les limites d'efficacité des cellules solaires traditionnelles en silicium, ouvrant la voie à une production d'énergie solaire plus performante et plus abordable.

- Rendement énergétique supérieur : En exploitant un spectre lumineux plus large, les panneaux solaires tandem peuvent atteindre des rendements de conversion dépassant 30%, contre environ 25% pour les cellules solaires en silicium standard.



**FIGURE I.29: PANNEAU TANDEM [23]**

### **I.8.3 SYSTEME DE STOCKAGE**

Le système de batterie solaire de stockage est une technologie qui permet de conserver l'énergie générée par des panneaux solaires pour une utilisation ultérieure, même lorsque le soleil ne brille pas, comme la nuit ou par temps nuageux. Ce système comprend généralement des batteries rechargeables qui capturent l'électricité générée par les panneaux solaires pendant les périodes de fort ensoleillement. Cette électricité est ensuite stockée dans les batteries sous forme de charge électrique chimique. Lorsque l'électricité est nécessaire, les batteries peuvent être déchargées pour alimenter les appareils électriques ou les systèmes électriques. Le stockage par batterie solaire présente plusieurs avantages, notamment la possibilité d'utiliser l'énergie solaire de manière plus constante, indépendamment des conditions météorologiques. Cela permet une plus grande autonomie énergétique et réduit la dépendance vis-à-vis du réseau électrique traditionnel. De plus, les batteries solaires peuvent contribuer à stabiliser le réseau électrique en fournissant de l'électricité pendant les périodes de pointe de la demande, réduisant ainsi la nécessité d'utiliser des centrales électriques alimentées par des combustibles fossiles. Cependant, le stockage par batterie solaire présente également des défis, notamment en termes de coûts initiaux élevés et de durée de vie limitée des batteries. Les progrès technologiques et les initiatives visant à réduire les coûts des batteries solaires sont en cours pour rendre cette solution plus accessible et rentable à grande échelle.



**I.8.3.1 TYPES DE BATTERIES SOLAIRES :** couramment utilisées dans les systèmes de stockage d'énergie solaire. Voici quelques-uns des types les plus populaires :

**A) Batteries au plomb-acide :** En raison de leur prix relativement abordable, ces batteries sont les plus fréquemment employées dans les systèmes solaires résidentiels. Elles se présentent sous deux formes :

- Les batteries à décharge lente (batteries stationnaires)
- Les batteries à décharge profonde.

Elles sont robustes et peuvent être rechargées rapidement, mais elles ont une durée de vie plus courte et nécessitent un entretien régulier.

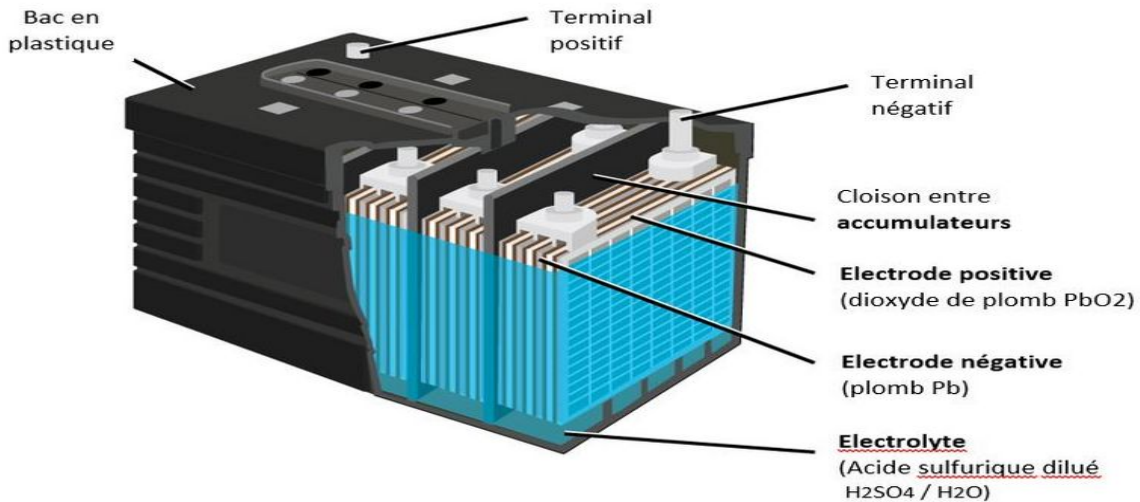


FIGURE I.30: BATTERIE AU PLOMB-ACIDE [24]

**B) Batteries lithium-ion :** Ces batteries sont de plus en plus populaires en raison de leur densité énergétique élevée, de leur poids léger et de leur longue durée de vie. Elles sont utilisées dans une variété d'applications, des petits systèmes résidentiels aux grands systèmes commerciaux et industriels. Les batteries lithium-ion sont également plus compactes et nécessitent moins d'entretien que les batteries au plomb-acide, mais elles sont généralement plus coûteuses.

## COMPOSANTS D'UNE BATTERIE LITHIUM-ION

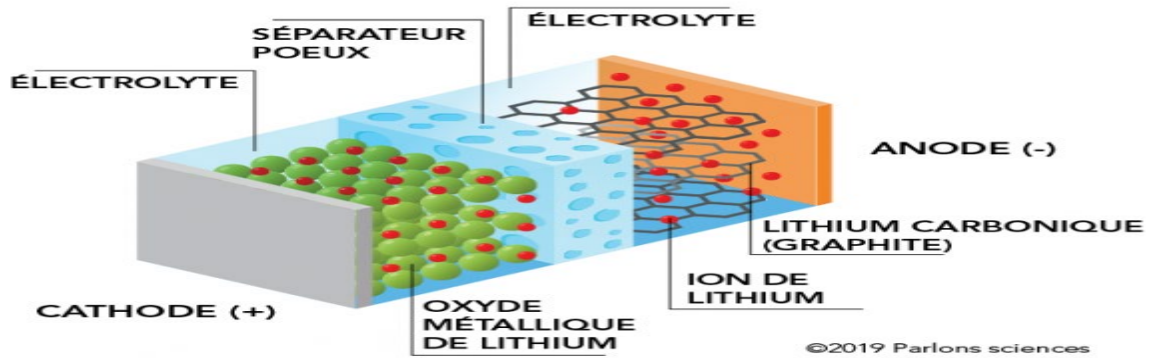


FIGURE I.31: BATTERIE LITHIUM-ION [25]

**C) Batteries au sodium-ion :** Ces batteries ont des caractéristiques similaires aux batteries lithium-ion, mais elles utilisent du sodium comme électrolyte plutôt que du lithium. Les batteries lithium-ion sont plus abordables et peuvent constituer une alternative intéressante pour le stockage à grande échelle. Toutefois, elles sont encore en pleine évolution et ne sont pas aussi largement commercialisées.

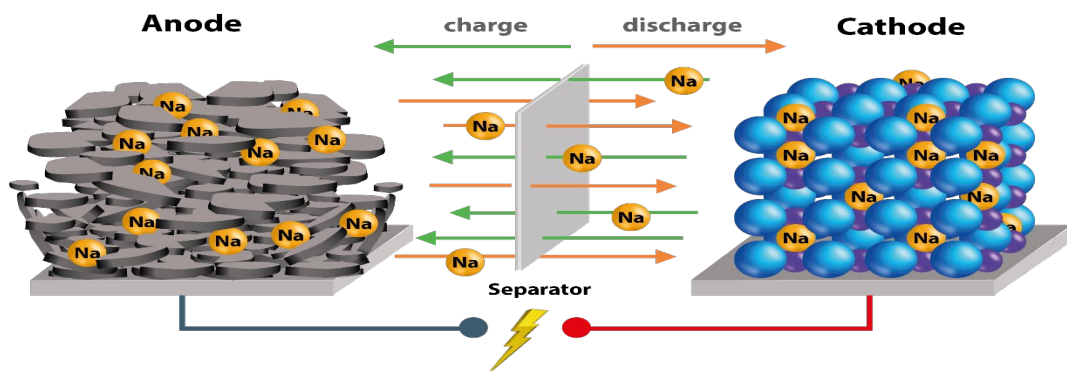


FIGURE I.32: BATTERIE AU SODIUM-ION [26]

**D) Batteries à débit redox vanadium (VRFB) :** Ces batteries utilisent un électrolyte liquide contenant du vanadium pour stocker l'énergie. Elles offrent une grande durabilité et une capacité de stockage d'énergie flexible, ce qui en fait une option attrayante pour les applications nécessitant



de longues durées de stockage ou un cycle de charge/décharge élevé. Cependant, elles sont généralement plus coûteuses et occupent plus d'espace que d'autres types de batteries.

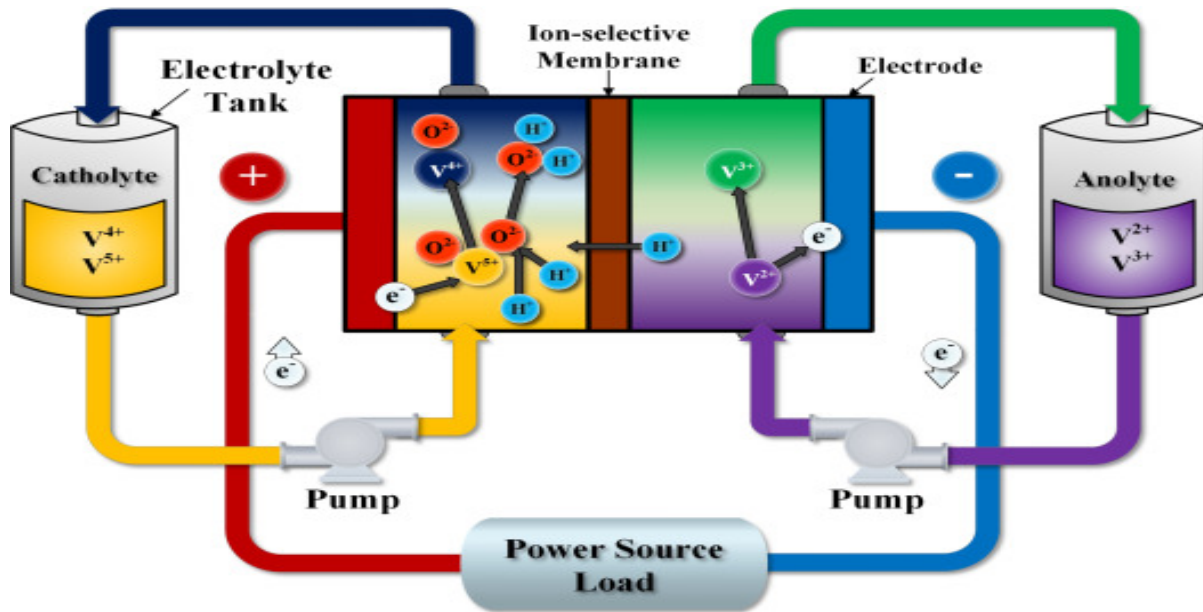


FIGURE I.33: BATTERIE VRBF [27]

Ces différents types de batteries solaires ont leurs avantages et leurs inconvénients, et le choix du type de batterie dépend souvent des besoins spécifiques du système solaire et des contraintes budgétaires.

#### I.8.4 REGULATEUR

La durée de vie de la batterie est grandement influencée par la qualité de son contrôle et de son entretien, ce qui justifie le rôle du régulateur.

Le dispositif de régulation joue un rôle essentiel dans un système photovoltaïque autonome en régulant les flux d'énergie et en préservant la batterie des surcharges et des décharges profondes causées par l'utilisation.

##### I.8.4.1 TYPES DE REGULATEURS SOLAIRES :

**A) Régulateurs à Impulsions de Tension (PWM Pulse Width Modulation) :** Ils régulent la charge de manière progressive en ajustant la tension.

- **Principe de fonctionnement :** Les régulateurs PWM utilisent la modulation de largeur d'impulsion pour ajuster la tension de charge des batteries. Ils comparent en permanence la tension des panneaux solaires à la tension des batteries.

Lorsque la tension des panneaux est supérieure à celle des batteries, le régulateur PWM envoie des impulsions de courant pour charger les batteries.

La largeur de ces impulsions est modulée pour réguler le courant de charge et éviter la surcharge.[28]

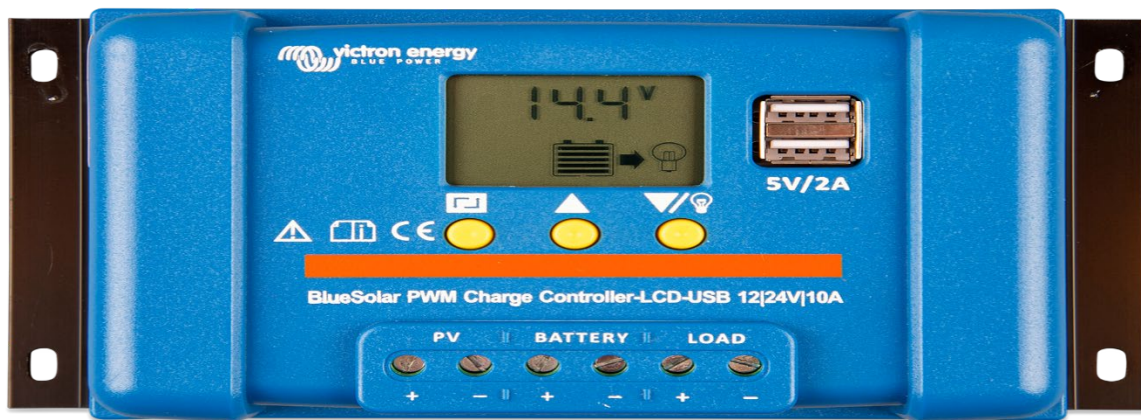


FIGURE I. 34:REGULATEUR PWM

**B) Régulateurs à Suivi du Point de Puissance Maximale (MPPT Maximum Power Point Tracking) :** Ils optimisent dynamiquement le point de fonctionnement du panneau solaire pour extraire le maximum de puissance.

Plus performants que les PWM, mais aussi plus complexes et coûteux. Particulièrement utiles dans les conditions de faible ensoleillement ou de températures basses. Les régulateurs MPPT utilisent un convertisseur DC/DC plus sophistiqué. [28]



FIGURE I.35:REGULATEUR MPPT

### I.8.5 ONDULEUR

Les onduleurs sont des dispositifs utilisés pour convertir la tension continue (DC) produite par les panneaux solaires ou les batteries en tension alternative (AC), adaptée aux appareils fonctionnant en courant alternatif. [28]

.



FIGURE I.36:ONDULEUR

### I.8.5.1 TYPE D'ONDULEUR :

- **Onduleur centralisé** : Idéal pour les grandes installations commerciales. Un seul onduleur gère plusieurs panneaux solaires.
- **Onduleur string** : Convient aux installations résidentielles et commerciales de taille moyenne. Chaque "string" (chaîne) de panneaux solaires est connecté à un onduleur.
- **Micro-onduleur** : Installé sur chaque panneau solaire individuel. Idéal pour les systèmes résidentiels et pour les toits complexes où l'ombrage varie.
- **Onduleur hybride** : Combine les fonctions d'un onduleur classique avec celles d'un chargeur de batterie, adapté pour les systèmes avec stockage d'énergie.

### Critère de choix d'un onduleur :

#### A. Puissance nominale

Assurez-vous que la puissance nominale de l'onduleur correspond à la puissance totale des panneaux solaires. Par exemple, pour une installation de 5 kW, un onduleur de 5 kW est approprié.

La puissance de l'onduleur doit souvent être légèrement inférieure à celle du générateur photovoltaïque pour maximiser l'efficacité.

#### B. Efficacité :

- **Efficacité de conversion** : Recherchez un onduleur avec une efficacité de conversion élevée (généralement supérieure à 95%).
- **Efficacité à faible charge** : Certains onduleurs sont plus efficaces lorsqu'ils fonctionnent à faible charge, ce qui peut être crucial pour certaines installations.

#### C. Compatibilité avec le réseau

- Assurez-vous que l'onduleur est compatible avec le type de réseau électrique local (monophasé ou triphasé).
- Vérifiez la conformité avec les normes locales et les exigences de l'opérateur du réseau.

## I.9 TYPES D'INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES

### I.9.1 SYSTEMES RACCORDES AU RESEAU (ON-GRID)

Les systèmes hors réseau opèrent de façon indépendante et ne sont pas reliés au réseau public électrique. Ils sont employés dans des zones éloignées où le réseau n'est pas accessible, comme dans les campagnes ou dans des applications mobiles comme les véhicules de loisirs et les navires. Les dispositifs de stockage d'énergie, comme les batteries, sont indispensables pour stocker l'électricité générée pendant les périodes ensoleillées et la rendre accessible lorsque le soleil n'est pas présent. Il est possible de les élaborer avec un générateur de secours (générateur diesel, éolienne, etc.) afin de garantir une alimentation continue en cas de défaut prolongé de production solaire.

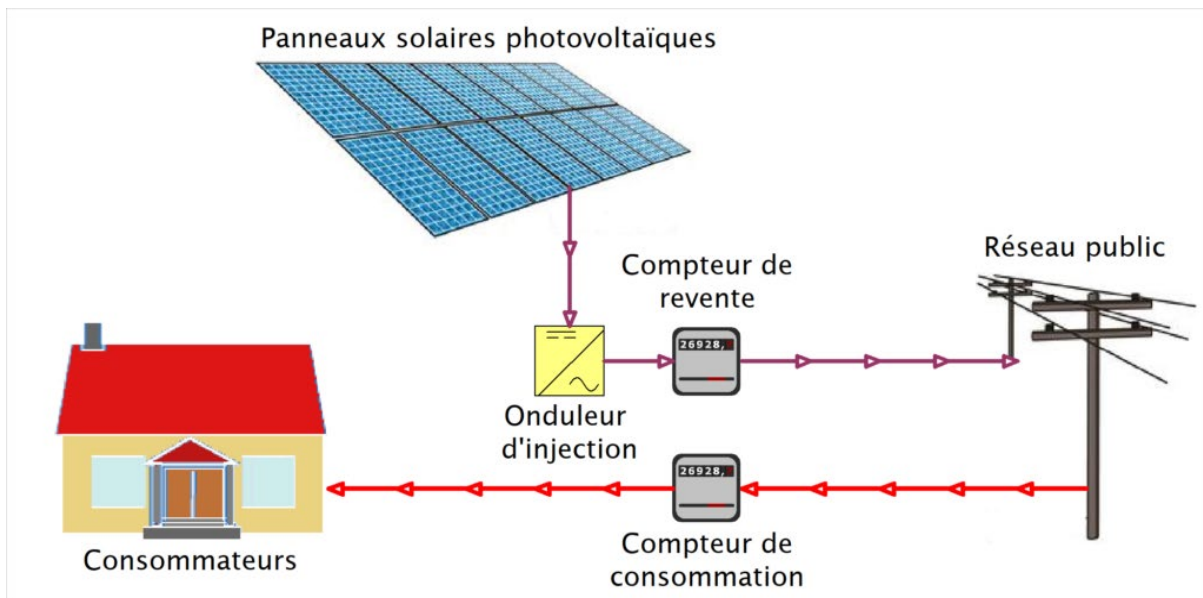


FIGURE I.37: INSTALLATIONS ON-GRID [12]

### I.9.2 SYSTEMES HORS RESEAUX (OFF-GRID)

Les systèmes hors réseau opèrent de façon indépendante et ne sont pas reliés au réseau public électrique. Ils sont employés dans des zones éloignées où le réseau n'est pas accessible, comme dans les campagnes ou dans des applications mobiles comme les véhicules de loisirs et les navires. Les dispositifs de stockage d'énergie, comme les batteries, sont indispensables pour stocker l'électricité générée pendant les périodes ensoleillées et la rendre accessible lorsque le soleil n'est pas présent. Il est possible de les élaborer avec un générateur de secours (générateur diesel,

éolienne, etc.) afin de garantir une alimentation continue en cas de défaut prolongé de production solaire.

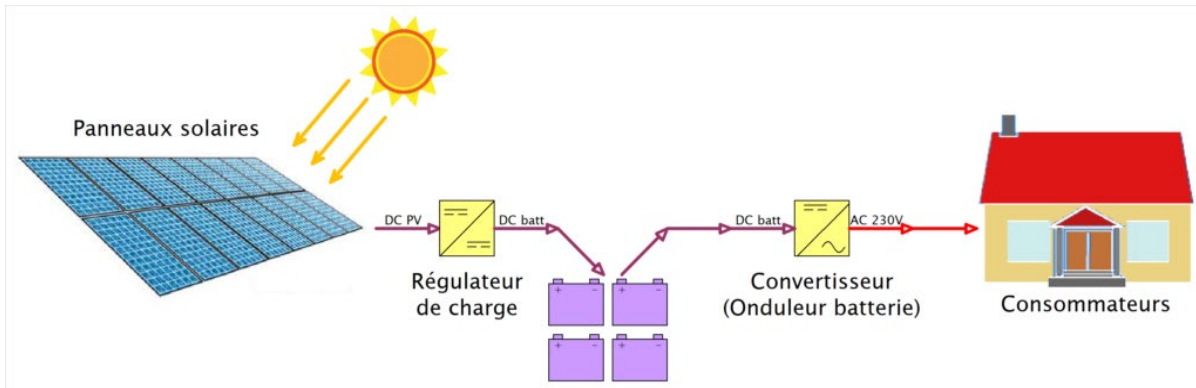


FIGURE I.38: INSTALLATION OFF-GRID [12]

### I.9.3 SYSTEMES HYBRIDES

Les systèmes hybrides combinent plusieurs sources d'énergie, généralement le solaire avec d'autres sources telles que l'éolien, l'hydroélectricité, des générateurs diesel ou des systèmes de stockage d'énergie. Ils sont conçus pour optimiser la production d'électricité et assurer une alimentation stable en énergie, même lorsque les conditions météorologiques ne sont pas idéales pour la production solaire.

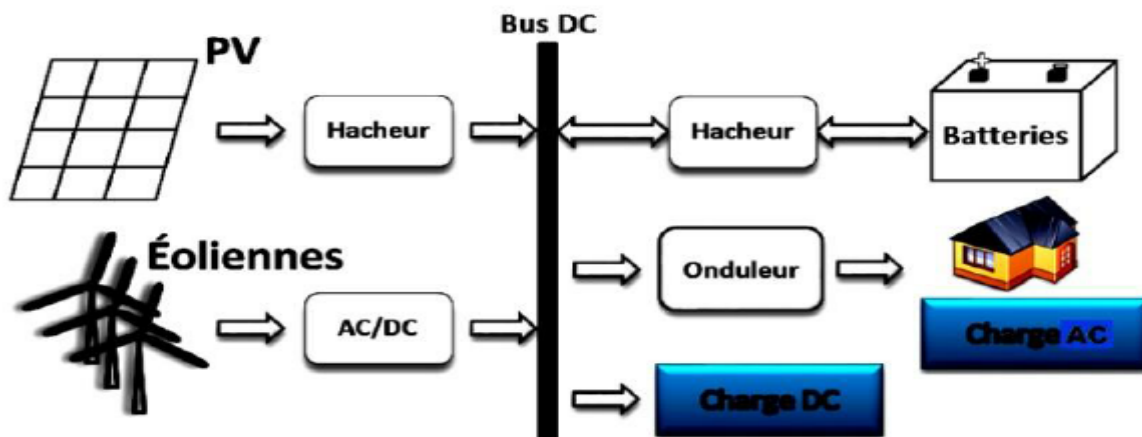


FIGURE I.39: INSTALLATIONS HYBRIDE [29]

## **I.10 CONCLUSION**

La conclusion de ce chapitre sur l'énergie solaire offre un aperçu complet des différents aspects de cette source d'énergie prometteuse. Nous avons exploré en détail le rayonnement solaire, ses caractéristiques, ainsi que les principes fondamentaux de la conversion d'énergie solaire en électricité à travers le solaire thermique et l'effet photovoltaïque. Nous avons également examiné les composants essentiels d'une installation photovoltaïque, en détaillant les différents types de panneaux solaires disponibles sur le marché ainsi que les options de stockage d'énergie, notamment les types de batteries solaires. Enfin, nous avons abordé les types d'installations solaires, notamment les systèmes raccordés au réseau, hors réseau et hybrides, soulignant les avantages et les considérations associées à chacun. En conclusion, ce chapitre offre un aperçu approfondi de l'énergie solaire, de ses composants et de ses applications, mettant en lumière son potentiel en tant que source d'énergie propre et renouvelable pour répondre aux besoins énergétiques actuels et futurs.

# **CHAPITRE II**

## **DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE ISOLE AVEC BATTERIE**



## **II.1 INTRODUCTION**

Il est essentiel de planifier une installation photovoltaïque isolée lors de la construction de systèmes énergétiques autonomes, souvent utilisés dans des endroits éloignés ou dépourvus d'accès au réseau électrique traditionnel. Cette approche vise à repérer les éléments essentiels pour assurer un approvisionnement énergétique fiable et durable, en se basant sur l'énergie solaire. L'objectif principal est d'adapter la taille de l'installation afin de satisfaire la demande énergétique spécifique du site.

Dans le chapitre, nous examinerons les éléments clés à prendre en considération lors de la conception d'une installation photovoltaïque isolée, tels que la puissance nécessaire, la capacité de stockage, les caractéristiques des panneaux solaires, ainsi que les aspects techniques et environnementaux. Les défis et les stratégies pour améliorer l'efficacité et la fiabilité de ces systèmes seront également abordés, dans le but de satisfaire les besoins énergétiques variés et variés des utilisateurs isolés.

### **II.1.2 DEFINITION**

Le dimensionnement photovoltaïque fait référence au processus de détermination des caractéristiques et de la taille optimales d'un système photovoltaïque (PV) afin de répondre aux besoins énergétiques spécifiques d'un projet donné. Cela implique l'évaluation de plusieurs paramètres, tels que la consommation d'énergie requise, l'emplacement géographique, l'irradiance solaire disponible, les conditions météorologiques, l'orientation des panneaux solaires, l'efficacité des modules PV, la capacité de stockage de l'énergie, etc. Le dimensionnement photovoltaïque vise à obtenir une configuration optimale du système PV, capable de générer suffisamment d'électricité pour couvrir les besoins en énergie tout en assurant une efficacité maximale et une rentabilité économique.

### **II.1.3 OBJECTIF DU DIMENSIONNEMENT PHOTOVOLTAÏQUE**

L'objectif du dimensionnement photovoltaïque est de concevoir un système PV robuste et performant qui répond aux exigences spécifiques d'un projet. Ce processus stratégique vise à atteindre plusieurs objectifs clés et de fournir une production d'énergie adéquate.

Le dimensionnement photovoltaïque cherche à déterminer la taille optimale du système PV afin de générer suffisamment d'électricité pour couvrir la consommation énergétique requise. Il s'agit

de garantir une production d'énergie fiable et durable, en prenant en compte les variations saisonnières et les conditions climatiques locales et d'optimiser l'efficacité énergétique. Le dimensionnement photovoltaïque vise à maximiser l'efficacité du système en sélectionnant les composants appropriés, tels que les panneaux solaires, les onduleurs et les dispositifs de stockage d'énergie. Cela permet d'exploiter au mieux l'énergie solaire disponible et de réduire les pertes d'énergie tout au long du processus de conversion et d'assurer une rentabilité économique. Le dimensionnement photovoltaïque prend en compte les aspects financiers du projet. Il vise à trouver un équilibre entre les coûts d'installation et les économies d'énergie générées sur le long terme. En dimensionnant de manière optimale le système PV, on peut maximiser le retour sur investissement et minimiser le temps nécessaire pour récupérer les coûts initiaux. Intégrer les contraintes spécifiques du projet. Chaque projet photovoltaïque présente des contraintes uniques, telles que l'espace disponible, les réglementations locales et les besoins spécifiques du client. Le dimensionnement photovoltaïque prend en compte ces contraintes pour concevoir un système adapté, en tenant compte des limitations techniques et des exigences spécifiques du projet. En résumé, l'objectif du dimensionnement photovoltaïque est de créer un système PV sur mesure, capable de produire efficacement de l'énergie solaire, d'optimiser la rentabilité économique et de répondre aux besoins spécifiques de chaque projet.

### **II.2 LES METHODES ET LES APPROCHES DE DIMENSIONNEMENT :**

Dans la littérature, on trouve généralement deux catégories de méthodes de dimensionnement des systèmes photovoltaïques :

#### **II.2.1 METHODES QUASI-STATIQUES (METHODES EMPIRIQUES)**

Ces méthodes sont basées sur des relations empiriques et des règles pour estimer les caractéristiques et la taille du système photovoltaïque. Elles sont souvent utilisées pour des applications simples ou dans des cas où les données spécifiques ne sont pas disponibles. La méthode du mois le plus défavorable : est une méthode simple et pratique pour dimensionner un système photovoltaïque, mais elle ne tient pas compte des variations dynamiques et peut conduire à un surdimensionnement du système. [28]

En plus de la méthode du mois le plus défavorable, plusieurs autres méthodes quasi-statiques existent pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques. Voici quelques exemples :

### **A) METHODE DE L'IRRADIATION MOYENNE**

- Cette méthode consiste à dimensionner le système photovoltaïque pour qu'il puisse produire suffisamment d'énergie pour répondre à la demande moyenne annuelle.
- L'irradiation moyenne est calculée sur la base de données historiques de la région d'installation.
- Cette méthode est simple et rapide, mais elle ne prend pas en compte les variations saisonnières de l'ensoleillement et peut conduire à un sous-dimensionnement du système dans les régions à faible ensoleillement hivernal.

### **B) METHODE DES ABREGES DE DIMENSIONNEMENT**

- Cette méthode utilise des graphiques et des abaques pour simplifier le dimensionnement du système photovoltaïque.
- Elle prend en compte des facteurs tels que la consommation énergétique, l'ensoleillement du site et l'efficacité du système.
- Cette méthode est pratique pour les installations résidentielles et commerciales de petite taille, mais elle peut être moins précise pour des systèmes plus complexes.

### **C) METHODE DES FACTEURS DE CORRECTION**

- Cette méthode applique des facteurs de correction à la production d'énergie estimée par une méthode quasi-statique simple, comme la méthode de l'irradiation moyenne.
- Les facteurs de correction tiennent compte de facteurs tels que l'orientation et l'inclinaison des panneaux, les pertes de puissance dues aux ombrages et à la température.
- Cette méthode offre une meilleure précision que les méthodes simples, mais elle nécessite des informations plus détaillées sur l'installation.

### **D) LOGICIELS DE DIMENSIONNEMENT STATIQUE**

- Il existe des logiciels de dimensionnement statique qui automatisent le processus de dimensionnement en utilisant différentes méthodes quasi-statiques.

- Ces logiciels peuvent prendre en compte des facteurs complexes tels que le type de panneaux solaires, l'onduleur et les caractéristiques du réseau électrique.
- Ils offrent une flexibilité et une précision accrues, mais ils peuvent nécessiter des connaissances techniques et des données d'entrée précises.

Le choix de la méthode quasi-statique la plus appropriée dépend de plusieurs facteurs, tels que la précision souhaitée, la complexité acceptable, les ressources disponibles et les caractéristiques spécifiques de l'installation.

Il est important de noter que les méthodes quasi-statiques ne sont généralement utilisées que pour les installations photovoltaïques raccordées au réseau. Pour les systèmes solaires isolés, des méthodes dynamiques sont généralement préférées.

### II.2.2 METHODES DYNAMIQUES POUR LE DIMENSIONNEMENT OPTIMAL DES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES

Ces méthodes sont plus avancées et visent à trouver une solution de dimensionnement optimale en prenant en compte divers paramètres et contraintes. Les méthodes dynamiques pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques simulent le comportement du système sur une base horaire ou quotidienne, en tenant compte des variations des paramètres clés tels que l'irradiance solaire, la température ambiante, la demande en énergie et les caractéristiques du système. Les méthodes offrent une estimation plus précise de la performance du système et permettent une optimisation plus fine du dimensionnement, menant à une meilleure efficacité et à un meilleur rendement économique. [28]

Voici quelques exemples de méthodes dynamiques classées selon leur approche :

#### II .2.2.1 METHODES NUMERIQUES : [30]

- **Simulation par pas de temps** : Cette méthode divise la journée en petits intervalles de temps et calcule la production d'énergie du système pour chaque intervalle en fonction des conditions météorologiques et de la demande en énergie.
- **Modèles de simulation dédiés** : Des logiciels de simulation spécialisés dans les systèmes photovoltaïques existent, comme PVsyst, HOMER et SAM. Ces logiciels intègrent des

modèles physiques et mathématiques complexes pour simuler le comportement du système en détail

**Exemple :**

La méthode par pas de temps peut être utilisée pour simuler la production d'un système photovoltaïque raccordé au réseau sur une journée typique d'été. La simulation prendrait en compte l'évolution de l'irradiance solaire tout au long de la journée, ainsi que la demande en énergie variable du bâtiment.

**II.2.2.2 METHODES INFORMATIQUES**

- **Optimisation par algorithmes génétiques :** Cette méthode utilise des algorithmes évolutifs pour trouver la combinaison optimale de la taille du système, de l'orientation et de l'inclinaison des panneaux solaires, du type de batterie et de l'onduleur, afin de minimiser le coût total du système ou de maximiser sa production d'énergie.
- **Apprentissage automatique :** Des modèles d'apprentissage automatique peuvent être entraînés sur des données historiques de production solaire et de demande en énergie pour prédire la performance future d'un système photovoltaïque et optimiser son dimensionnement. [30]

**Exemple :**

L'optimisation par algorithmes génétiques peut être utilisée pour trouver la taille optimale d'un système photovoltaïque hors réseau pour alimenter une maison isolée. L'algorithme explorerait différentes configurations de système et sélectionnerait celle qui minimise le coût total du système tout en répondant aux besoins énergétiques de la maison.

**II .2.2.3 METHODES MATHÉMATIQUES :**

- **Modèles de files d'attente :** Ces modèles peuvent être utilisés pour simuler le comportement des batteries dans un système photovoltaïque hors réseau. Ils permettent de dimensionner la capacité de la batterie en fonction de la production d'énergie solaire, de la demande en énergie et des profils de charge. [30]

- **Modèles de programmation mathématique** : Des techniques de programmation mathématique, comme la programmation linéaire ou non linéaire, peuvent être utilisées pour optimiser le dimensionnement et le fonctionnement d'un système photovoltaïque complexe, en tenant compte de contraintes économiques, techniques et environnementales.

**Exemple :**

Il est essentiel de planifier une installation photovoltaïque isolée lors de la construction de systèmes énergétiques autonomes, souvent utilisés dans des endroits éloignés ou dépourvus d'accès au réseau électrique traditionnel. Cette approche vise à repérer les éléments essentiels pour assurer un approvisionnement énergétique fiable et durable, en se basant sur l'énergie solaire. L'objectif principal est d'adapter la taille de l'installation afin de satisfaire la demande énergétique spécifique du site.

#### **II.2.2.4 INTELLIGENCE ARTIFICIELLE**

- **Réseaux de neurones artificiels** : Des réseaux de neurones artificiels peuvent être entraînés sur de grandes quantités de données pour apprendre les relations complexes entre les variables qui influencent la performance d'un système photovoltaïque. Ces modèles peuvent ensuite être utilisés pour prédire la production d'énergie et optimiser le dimensionnement du système.
- **Systèmes multi-agents** : Des systèmes multi-agents peuvent être utilisés pour simuler le comportement d'un système photovoltaïque intégré à un réseau électrique intelligent. Les agents peuvent représenter différents composants du système, tels que les panneaux solaires, les batteries, les onduleurs et les contrôleurs du réseau, et interagir les uns avec les autres pour optimiser la production d'énergie et la gestion du réseau.

**Exemple :**

Un réseau de neurones artificiels peut être utilisé pour prédire la production d'énergie d'un système photovoltaïque en fonction de conditions météorologiques prévues. Cette information peut ensuite être utilisée pour optimiser le dispatching de l'énergie dans un réseau électrique intelligent.

En résumé, les méthodes dynamiques offrent un large éventail d'outils puissants pour le dimensionnement optimal des systèmes photovoltaïques. Le choix de la méthode la plus appropriée dépend de la complexité du système, des objectifs de l'optimisation et des ressources disponibles. [30]

## II.3 DONNEES NECESSAIRES AU DIMENSIONNEMENT

Pour mener à bien le dimensionnement d'une installation photovoltaïque isolée, il est essentiel de rassembler un ensemble de données précises et complètes concernant le site, les besoins en énergie et les composants du système. Ces données serviront de base aux calculs et aux simulations nécessaires pour déterminer la configuration optimale de l'installation.

### II.3.1 DONNÉES RELATIVES AU SITE

- **Localisation géographique :** La latitude, la longitude et l'altitude du site permettent d'évaluer l'irradiation solaire disponible, un facteur crucial pour la production d'énergie.
- **Données climatiques :** Les données historiques sur l'ensoleillement, les températures, les précipitations et la vitesse du vent sont importantes pour simuler le comportement du système en conditions réelles.
- **Caractéristiques du terrain :** L'orientation, l'inclinaison et l'ombrage du terrain influencent l'efficacité de captation de l'énergie solaire par les panneaux.
- **Disponibilité de l'espace :** La surface disponible détermine la taille maximale du champ solaire et peut influencer le choix des composants.

### II.3.2 DONNEES RELATIVES AUX BESOINS EN ENERGIE

- **Profil de consommation :** La consommation d'énergie quotidienne, mensuelle et annuelle doit être estimée en kWh (kilowattheures) pour chaque type d'utilisation (éclairage, appareils électroménagers, pompe, etc.).
- **Facteurs de diversité :** Les facteurs de diversité tiennent compte des variations de la consommation tout au long de la journée et de l'année.
- **Besoins spécifiques :** Des besoins ponctuels ou saisonniers peuvent nécessiter des adaptations particulières du système.

### II.3.3 DONNEES RELATIVES AUX COMPOSANTS DU SYSTEME

- **Panneaux solaires :** La puissance nominale (en Wp ou kWc), l'efficacité et le type de technologie des panneaux solaires influencent la production d'énergie.
- **Onduleurs :** La puissance nominale (en kVA) et l'efficacité de l'onduleur déterminent la capacité de conversion du courant continu en courant alternatif.
- **Batteries :** La capacité de stockage (en Ah ou kWh), le type de technologie et la profondeur de décharge des batteries influencent l'autonomie du système.
- **Autres composants :** Les contrôleurs de charge, les câbles, les protections électriques et les structures de montage doivent également être pris en compte.

### II.3.4 OUTILS ET LOGICIELS DE DIMENSIONNEMENT

Plusieurs outils et logiciels sont disponibles pour simplifier la conception d'une installation photovoltaïque isolée. Des interfaces intuitives, des références des données de composants et des algorithmes de calcul sont disponibles dans ces outils afin d'améliorer la configuration du système. [30]

- **Logiciels de simulation spécialisés :** PVsyst, HOMER, SAM et RETScreen sont des exemples de logiciels de simulation qui intègrent des modèles physiques et mathématiques complexes pour simuler le comportement du système en détail.
- **Outils en ligne :** Des outils en ligne gratuits ou payants, tels que Google Solar Potentiel ou le Photovoltaïque Geographic Information System (PVGIS), permettent d'estimer l'irradiation solaire disponible sur un site spécifique.
- **Tableaux et abaques :** Des tableaux et abaques simplifiés, basés sur des méthodes quasi-statiques, peuvent être utilisés pour des estimations préliminaires du dimensionnement.

## II.4 LES DEMARCHES A SUIVRE POUR METTRE EN PLACE UNE INSTALLATION SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Étapes à suivre pour dimensionner une installation photovoltaïque :



**II.4.1 PRESENTATION DU SITE :** Cette approche est réalisée pour le bâtiment délevage de bovins situé au village d'Oued el Bared, commune de Mchedallah, dans la wilaya de Bouira. La dimension d'une installation photovoltaïque autonome intégrée au bâtiment situé à :

- Une latitude  $\varphi=36,34947^\circ\text{N}$ ,
- Une longitude  $L=4,19879^\circ\text{E}$  et
- Une altitude  $A=375\text{ m}$ ,
- Azimut  $=0$  sont.

#### **II.4.2 ESTIMATION DES BESOINS EN ELECTRICITE**

L'estimation des besoins électriques implique de déterminer la quantité d'énergie électrique consommée par les utilisateurs chaque jour. Par conséquent, les exigences en électricité seront mesurées en kWh/jour (ou kWh/jour).

La méthodologie est la suivante :

- Tout d'abord, nous devons identifier tous les appareils électriques qui seront alimentés par le système photovoltaïque autonome. Pour chacun de ces dispositifs, la puissance de fonctionnement doit être identifiée. On peut donc se baser sur des mesures effectuées directement sur place ou sur les indications figurant sur les fiches techniques des appareils.
- Ensuite, nous estimerons le temps d'utilisation quotidien.
- Le produit de la puissance électrique (en W) par le temps d'utilisation (en h) indiquera l'énergie journalière consommée (en Wh) par l'appareil. Dans le domaine de l'électricité, il est d'usage d'utiliser le W et le Wh comme unités de mesure de la puissance et de l'énergie électrique, respectivement.
- Enfin, la somme des énergies journalières calculées donnera une évaluation globale des besoins en électricité du bâtiment. [20]

La consommation journalière énergétique ( $E_c$ ), exprimée en Wattheure par jour (Wh/j), est donnée par l'expression suivante :[31]

$$E_c = P_N * h \quad (\text{II.1})$$

## Chapitre II : dimensionnement d'une installation photovoltaïque isolé avec batterie

Le tableau suivant présente la consommation journalière des équipements de bâtiment d'élevage bovin :

Appareil	Puissance unitaire (W)	Nombre	Durée d'utilisation (h)	Puissance nominale (W)	Production quotidienne d'énergie (E <sub>c</sub> ) (KWh/j)
Lampe LED (intérieur)	15	12	7	180	1.260
Lampe LED (extérieur)	15	5	12	75	0.9
Machine à traire (vache)	200	2	2	400	0.800
Cuve de lait	700	1	6	700	4.2
Extracteur d'air	45	4	8	180	1.440
Nettoyeur karcher(K7)	1333	1	2	1333	2.666
Consommation de veille	6	/	24	6	0.144
Total	/	/	/	2874	11.410

TABLEAU II.1:TABLEAU DE LA CONSOMMATION JOURNALIERE

### II.4.3 ESTIMATION DE L'ENERGIE SOLAIRE RECUPERABLE

#### II.4.3.1 IRRADIATIONS MOYENNES MENSUELLES REÇUES SUR UNE SURFACE HORIZONTALE :

L'irradiation solaire moyenne mensuelle reçue sur une surface horizontale varie en fonction de plusieurs facteurs, tels que la latitude, la longitude, l'altitude, la saisonnalité et la couverture nuageuse. En général, les régions situées aux latitudes plus basses reçoivent plus d'irradiation solaire que celles situées aux latitudes plus élevées. Cela est dû au fait que le soleil frappe les

régions équatoriales sous un angle plus direct, ce qui signifie que plus d'énergie est reçue par unité de surface. L'altitude joue également un rôle, car les sites plus élevés reçoivent généralement plus d'irradiation solaire que les sites plus bas, en raison de l'atmosphère plus mince. La saisonnalité est également un facteur important, car les mois d'été reçoivent généralement plus d'irradiation solaire que les mois d'hiver. Enfin, la couverture nuageuse peut réduire considérablement l'irradiation solaire reçue au sol.

### **II.4.3.2 INCLINAISON ET ORIENTATION OPTIMALES DES CAPTEURS PHOTOVOLTAÏQUES**

La position des modules photovoltaïques vis-à-vis du rayonnement solaire a un impact direct sur leur production d'énergie. Il est crucial de bien positionner les panneaux afin de maximiser leur efficacité. L'orientation repose sur la direction et doit être placée sur le côté actif du panneau (sud, nord, sud-ouest, etc.). En ce qui concerne la pente, on peut observer l'angle établi entre un panneau et l'horizontale, exprimé en degrés.

L'orientation idéale d'un panneau photovoltaïque est de le placer en direction de l'équateur. Ce que la direction indique vers :

-Le sud dans l'hémisphère nord.

- Le nord dans l'hémisphère sud.

Quant à l'inclinaison, on prendra en considération la période de l'année la moins ensoleillée pour améliorer la production d'énergie. De cette manière, les panneaux doivent capter l'énergie d'un soleil à faible luminosité. [32]

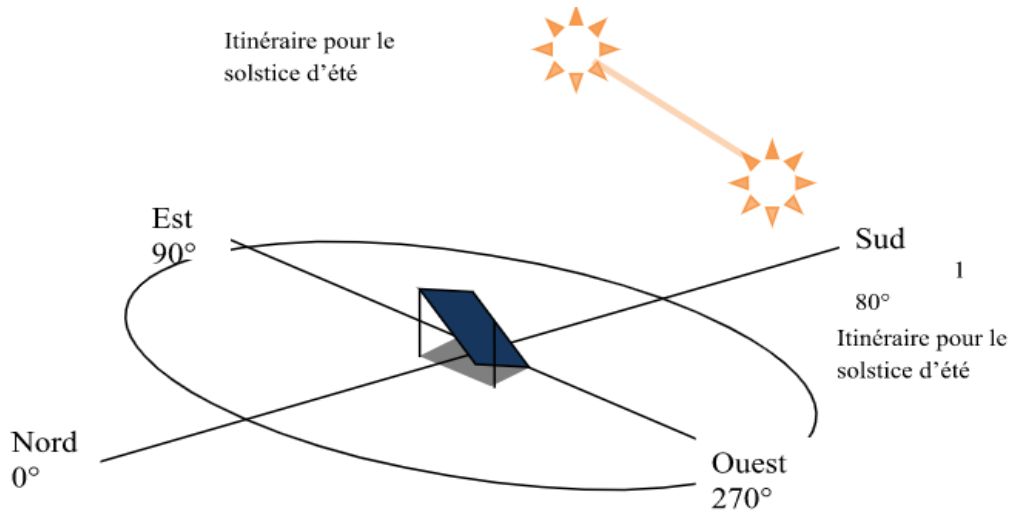


FIGURE II.1:L'ORIENTATION DES PANNEAUX

- **L'angle d'inclinaison :** Il est essentiel de déterminer l'angle d'inclinaison des panneaux solaires pour optimiser leur efficacité énergétique. La latitude du lieu d'installation et la direction du rayonnement solaire ont une influence majeure sur cet angle. L'angle d'inclinaison est calculé en utilisant la formule suivante :

$$L'angle\ d'inclinaison = Latitude - \delta \quad (II.2)$$

Avec :

$$\delta = 23,45 \times \sin\left(2 \times \pi \times \frac{d+284}{365}\right)$$

$$\delta = 23,45 \times \sin\left(2 \times \pi \times \frac{173 + 284}{365}\right)$$

$$\delta = 3,21^\circ$$

Donc :

$$L'angle\ d'inclinaison = 36,34947 - 3,21 = 33,14 = 34^\circ \quad [33]$$

#### II.4.4 Détermination de puissance crête de champ PV

Les panneaux à installer ont une puissance crête qui varie en fonction de l'irradiation du lieu d'installation. Elle est calculée en utilisant la formule ci-dessous. [34]

$$P_{ch} = \frac{Ec}{K.Ir} \quad (II.3)$$

Le coefficient K est un coefficient correcteur qui prend en compte :

- L'incertitude météorologique.
- L'accumulation des modules au fil du temps.
- L'ensemble du vitrage du module est traversé sous tous les angles.
- La détérioration des modules.
- Les caractéristiques des modules se dispersent lorsqu'ils sont montés en série, ce qui entraîne un rendement insuffisant de la batterie.

En prenant en considération tous ces paramètres, on obtient un coefficient correctif global (K) allant de 0,65 à 0,75. On utilise fréquemment la valeur  $K = 0,65$  dans les calculs du système avec batterie. [35]

**Application numérique :**

$$P_{ch} = \frac{11410}{0,65 \times 7} = 2507,96 \text{ w}_c \quad (\text{II.4})$$

D'après les expériences des techniciens et des experts dans le domaine des installations photovoltaïque, lorsqu'on calcule la puissance crête de champ PV avec la formule qu'on a utilisé on ajoute un tiers de la puissance à la valeur calculée, afin d'avoir un dimensionnement optimal, cela est dû aux différentes pertes dans le système.

$$P_{ch \text{ optimal}} = 2507,96 \times 1,33 = 3335,59 \text{ w}_c$$

### II.4.5 LA TENSION DU CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE PENDANT SON FONCTIONNEMENT

La tension de fonctionnement est sélectionnée en fonction de la puissance critique du champ photovoltaïque en watts. En général :

Puissance crête (w <sub>c</sub> )	Moins de 500w <sub>c</sub>	De 500w <sub>c</sub> à 2000w <sub>c</sub>	De 2000w <sub>c</sub> à 10000w <sub>c</sub>	Plus de 10000 w <sub>c</sub>
Tension de champ (V)	12	24	48	96

**TABEAU II.2:** LA PUISSANCE DU CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE [34]

#### II.4.6 NOMBRE DE MODULES PHOTOVOLTAÏQUES ET CARACTERISTIQUES

Après avoir évalué les besoins en électricité et le champ solaire, il est envisageable de définir la taille du champ photovoltaïque. Dans un premier temps, il est nécessaire de déterminer le nombre de modules de l'installation A partir de la puissance crête. [31]

$$N_m = \frac{P_c}{P_r} \quad (II.5)$$

Pour les valeurs retrouvées, on choisit le type du module à utiliser dans notre système, on prend le panneau PV-JAP6-72-300 polycristallin.

**Calcul numérique**  $N_m = 3335.59 \div 300 = 11.11$

On prend 12 panneaux.

#### II.4.7. MISE EN PLACE DES MODULES

Il est essentiel de connecter les panneaux photovoltaïques afin d'améliorer leur efficacité et leur fonctionnement. Il existe deux principaux types de montage :

##### II.4.7.1 RACCORDEMENT DU MODULE PHOTOVOLTAÏQUE EN SERIE

L'assemblage de panneaux solaires en série permet d'augmenter les tensions pour produire une tension plus élevée, ce qui est avantageux pour les installations de grande taille ou les centrales solaires. [31]

Le nombre de panneaux en série est calculé en utilisant la formule suivante :

$$N_s = \frac{U}{U_{opt}} \quad (II.6)$$

**Calcul numérique**

$$N_s = 48/36,8 = 1.3$$

On prend 2 panneaux en série.

**II.4.7.2 RACCORDEMENT DU MODULE PHOTOVOLTAÏQUE EN PARALLELE :** La mise en parallèle des panneaux photovoltaïques permet d'augmenter la puissance totale des panneaux photovoltaïques, ceci offre également une stabilité de production car chaque panneau fonctionne de manière autonome, mais demande davantage de câblage et peut être moins efficace sur de

longues distances. On calcule le nombre de Panneau en parallèle en se basant sur la formule suivante :

$$N_p = \frac{N_t}{N_s} \quad (II.7)$$

**Calcul numérique :**

$$N_p = 12/2 = 6$$

On prend 6 panneaux en parallèle. [31]

## II.5 DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE STOCKAGE

Afin de garantir la continuité de l'alimentation en cas de mauvais temps, un dispositif de stockage est généralement constitué d'une batterie. La capacité à installer dépend de la tension ( $V_{Bat}$ ), du rendement de la batterie ( $\eta_{bat}$ ) et de la profondeur de décharge ( $PDD = 0.8$ ) de la batterie. De plus, il est important de prendre en compte l'énergie requise par la charge ( $E_{Tot}$ ) et le nombre de jours d'autonomie ( $AUT$ ) pendant lesquels les batteries initialement chargées peuvent fournir l'électricité nécessaire sans nécessiter le fonctionnement des modules.

### II.5.1 CALCUL DE LA CAPACITE DU PARC DE BATTERIES

La capacité de la batterie est donnée en (Ah) par : [36]

$$C_{ch} = \frac{E_c \cdot N_j}{\eta_b \cdot D \cdot U_b} \quad (II.8)$$

Dans notre cas on prend le modèle Solar Block SB 12/185A du fabricant Sonnenchein.

**Calcul numérique :**

$$C_{ch} = (11410 \cdot 2) / (0.8 \cdot 0.97 \cdot 48) = 612.65 Ah$$

### II.5.2 CALCUL DE NOMBRE DE BATTERIE

Le nombre de batteries requis dans un système photovoltaïque est déterminé en fonction de la capacité de stockage requise pour satisfaire les besoins énergétiques. Le nombre de batterie, est donnée par :

$$N_b = N_{bs} \times N_{bp} \quad (II.9)$$

### II.5.3 LE RACCORDEMENT DES BATTERIES DE STOCKAGE

Il est essentiel de connecter les batteries dans un système photovoltaïque afin d'améliorer la capacité de stockage et les performances globales du système. En fonction des exigences particulières du système et des caractéristiques des batteries utilisées, il est possible de connecter les batteries comme suit :

- **En série :** cela implique de connecter le pôle positif d'une batterie au pôle négatif de la suivante, ce qui permet d'augmenter la tension totale du système tout en maintenant la même capacité de stockage. Ceci s'avère bénéfique pour les systèmes qui requièrent des tensions plus élevées pour alimenter des appareils ou pour les systèmes qui requièrent des tensions plus basses pour des applications particulières. Le nombre de batteries en séries est calculé en utilisant la formule suivante :

$$N_{BS} = \frac{V_{inst}}{V_{bat}} \quad (II.10)$$

**Calcul numérique :**

$$N_{bs} = 48/12 = 4$$

On prend 4 batteries en série. [31]

- **En parallèle :** Il s'agit de relier les pôles positifs et négatifs ensemble, ce qui permet d'accroître la capacité de stockage totale sans changer la tension. Cette solution convient parfaitement aux systèmes qui requièrent une capacité de stockage importante afin de satisfaire les besoins énergétiques, tels que les installations résidentielles ou les systèmes de charge. Le nombre de batteries en parallèle est calculé en utilisant la formule suivante :

$$N_{BP} = \frac{C_{pb}}{C_b} \quad (II.11)$$

**Calcul numérique**

$$N_{bp} = (612 \cdot 65/155) = 3.95$$

Donc on prend 4 batteries en parallèle

Donc le nombre de batteries totales est :

$$N_b = N_{bs} \times N_{bp} = 4 \times 4 = 16 \text{ batteries}$$



## II.6 DIMENSIONNEMENT DE REGULATEUR DE CHARGE

Une fois la technologie choisie, le dimensionnement du régulateur seffectue en fonction de trois paramètres essentiels :

- **Tension nominale** : Elle doit correspondre à la tension du champ photovoltaïque (12, 24 ou 48 Volts DC).
- **Courant d'entrée** : Il s'agit du courant maximal délivré par les modules solaires. Le régulateur doit pouvoir le supporter sans faillir. Pour une estimation précise, multipliez le courant de court-circuit total des modules par 1,5 On la calcule avec la formule suivante :

$$I_e = I_m \times N_p \times A \quad (\text{II.12})$$

Avec :

Calcul numérique : [37]

$$I_e = 8.72 \times 6 \times 1.5 = 78.48 \text{ Ah.}$$

- **Courant de sortie maximal (Is)** : Il est nécessaire que l'intensité du courant de sortie du régulateur dépasse la valeur maximale que peuvent tirer les récepteurs en même temps. On peut la calculer en utilisant la formule suivante.

$$I_{\max} = \frac{P_c}{U} \quad (\text{II.13})$$

Calcul numérique :

$$P_c = P_{\max} \times N_{PV} = 3600 \quad (\text{II.14})$$

$$I_{\max} = 3600 / 48$$

$$I_{\max} = 75 \text{ Ah [37]}$$

## II.7 DIMENSIONNEMENT DE L'ONDULEUR

Lorsqu'il y a des dispositifs fonctionnant en alternatif (AC) dans l'application, il est essentiel de transformer l'électricité continue générée par les capteurs photovoltaïques en électricité alternative utilisable. La taille d'un onduleur est déterminée par la somme des éléments. Les puissances

maximales de chaque dispositif à connecter au courant alternatif sont déterminées en fonction de différents critères :

- **Tension d'entrée :** Elle correspond à celle de la batterie ou du régulateur.
- **Tension de sortie :** en Algérie nous utilisons 220 V (AC), 50Hz.
- **Puissance nominale :** La puissance nominale de l'onduleur (KVA) est calculée en fonction des besoins spécifiés. Elle prend en considération le nombre d'équipements et leurs capacités.

Il est nécessaire que les caractéristiques de l'onduleur à utiliser soient adaptées à une installation avec une tension d' $U = 48$  V et une puissance de 3600 KW :

$$P_{\text{onduleur}} = (P^2 + P_r^2)^{1/2} \quad (\text{II.15})$$

Avec :

$$P_r = P \times \frac{\sin \beta}{\cos \beta} \quad (\text{II.16})$$

On prend :  $\cos \beta = 0,8$  et  $\sin \beta = 0,6$ . [38]

**Calcul numérique :**

$$P_r = (2874 \times 0.6) / 0.8 = 2155.5 \text{ W}$$

$$P_{\text{onduleur}} = (2155.5^2 + 2874^2)^{1/2} = 3592.5 \text{ W} = 3.592 \text{ KVA}$$

### II.8 CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DES CABLES DE RACCORDEMENT

La plupart des panneaux solaires fonctionnent à une tension basse (12 à 48 V) et à un courant assez élevé. Toutefois, les pertes de lignes diffèrent selon le carré de l'intensité ( $R I^2$  ou  $R$  étant la résistance du câble concerné). La partie du câble reliant le panneau au régulateur ou celui reliant le régulateur aux batteries et les batteries à l'onduleur doit être calculée pour diminuer les pertes en ligne. Celles-ci doivent être faibles par rapport à la puissance réelle transmise par la ligne, vraisemblablement inférieures à 04 ou 05 % de cette puissance. [39]

Avec une chute de tension de 2% de la tension appliquée sur le champ de batteries de stockage, la différence de potentiel admise aux bornes d'un câble de connexion est de : [7]

$$\Delta U = \text{Tension appliquée} \times 0,02$$

### II.8.1 DETERMINATION DE LA SECTION DU CONDUCTEUR ENTRE LES PANNEAUX ET LE REGULATEUR :

La section des conducteurs entre les panneaux et le régulateur peut être calculée utilisant l'équation suivante :

On a :

$$R = \frac{\Delta U}{I_{\max}} \quad (\text{II.17})$$

Alors Égalité de la relation donnent :

$$S = \frac{\rho \cdot L}{R} \quad (\text{II.18})$$

Avec :

$\rho$  : La résistivité de cuivre est ( $\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ).

$I_{\max}$  : Le courant produit par le générateur PV : ( $I_{\max} = N_{\text{mp}} \times I_{1\text{m}}$ ).

**Calcul numérique :**

$$R = \frac{0.96}{8.16 \times 6} = 0.0196 \Omega$$

$$S = (1.7 \times 10^{-8} \times 20) / 0.0196$$

$$S = 17.34 \text{ mm}^2 = 18 \text{ mm}^2$$

### II.8.2 DETERMINATION DE LA SECTION DU CONDUCTEUR ENTRE LE REGULATEUR ET L'ONDULEUR

Le champ peut avoir une puissance comprise entre 2 kW et 10 kW, et la tension recommandée est de 48 V. La puissance maximale du champ solaire :

$$P_c = N_{pv} \times P_{\max} \quad (\text{II.19})$$

Donc :

$$I = \frac{P_c}{U} \quad (\text{II.20})$$

Évaluation de la distance entre le régulateur et l'onduleur pour les conducteurs :

On a

$$R = \frac{\Delta U}{I} \quad (\text{II.21})$$

Donc la section du conducteur est :

$$S = \frac{\rho \cdot L}{R} \quad (\text{II.22})$$

**Calcul numérique :**

$$P_c = 12 \times 300 = 3600 \text{ W}$$

$$I = \frac{3600}{48} = 75 \text{ A}$$

$$R = \frac{0.96}{75} = 0.0128 \Omega$$

$$S = (1.7 \times 10^{-8} \times 6) / 0.0128 = 8 \text{ mm}^2$$

### II.8.3 DETERMINATION DE LA SECTION DU CONDUCTEUR ENTRE LES BATTERIES ET L'ONDULEUR

Le champ peut avoir une puissance comprise entre 2kW et 10kW, et la tension recommandée est de 48V.

$$I_{\max \text{ batterie}} = \frac{P_{\max \text{ onduleur}}}{U_{\text{batterie}}} \quad (\text{II.23})$$

La détermination de la distance entre le parc de batterie et l'onduleur est essentielle :

On a

$$R = \frac{\Delta U}{I}$$

Donc la section du conducteur est :  $S = \frac{\rho \cdot L}{R}$

**Calcul numérique :**  $I_{\max \text{ batterie}} = \frac{3592}{48} = 74.83 \text{ A}$

$$R = \frac{0.96}{74.83} = 0.0128 \, \Omega$$

$$S = (1.7 \times 10^{-8} \times 8) / 0.0128 = 10 \text{ mm}^2$$

#### II.8.4 DETERMINATION DE LA SECTION DU CONDUCTEUR POUR LE COURANT ALTERNATIF

$$S = \frac{\rho \times L \times b \times I}{\varepsilon \times V} \quad (\text{II.24})$$

**Calcul numérique :**

$$S = (1.7 \times 10^{-8} \times 25 \times 2 \times 75) / (0.02 \times 220)$$

$$S = 15.9316 \text{ mm}^2 = 16 \text{ mm}^2$$

Propriétés des câbles

Propriétés spécifiques des câbles		
Section mm	Maximum courant [A]	Résistance mΩ/m
<b>1.5</b>	17	13
<b>2.5</b>	24	7.5
<b>4</b>	32	4.7
<b>6</b>	41	3.1
<b>10</b>	57	1.9
<b>16</b>	76	1.2
<b>25</b>	101	0.75
<b>35</b>	125	0.54

FIGURE II.2: PROPRIETES DES CABLES

## II.9 LES MESURE DE SECURITE DE L'INSTALLATION

Pour assurer la sécurité de l'installation photovoltaïque, il est nécessaire d'inclure plusieurs équipements avant ou après chaque composant. Les éléments essentiels de protection sont définis dans les sections suivantes : [40]

- **Le disjoncteur différentiel (AC/DC) :** L'installation électrique est généralement considérée comme le siège de courants anormalement élevés tels que les courts-circuits, les surcharges et les contacts indirects. Pour se prémunir contre les défauts précédents, il est préférable d'installer un disjoncteur différentiel pour couper l'installation en cas de besoin. Sur le côté AC d'une installation photovoltaïque, un disjoncteur magnétothermique différentiel en amont de chaque onduleur doit être installé.



FIGURE II.3:DISJONCTEUR DIFFÉRENTIEL

- **Parafoudre :** Elle est positionnée entre le fusible des panneaux et les batteries. La partie AC de l'installation sera connectée à la terre pour évacuer la foudre qui pourrait être attirée par la structure métallique des modules. Il est indispensable de préserver les installations de la foudre et des tensions élevées en période de transition.



FIGURE II.4:PARAFOUDRE

- **Fusible :** La fonction du fusible est d'ouvrir un circuit électrique lorsque le courant électrique atteint une intensité donnée pendant un certain temps. Les fusibles ont une importance capitale en assurant une protection contre les surcharges, les courts-circuits et autres incidents électriques.



FIGURE II.5:FUSIBLE

- **Mise à la terre :** La mise à la terre joue un rôle essentiel dans une installation photovoltaïque, garantissant une protection contre les surtensions, diminuant les dangers d'électrocution, équilibrant les tensions électriques et garantissant le respect des normes de sécurité électrique.



**FIGURE II.6:**MISE LA TERRE

## **II.10 LES ENJEUX DE LA MAINTENANCE PHOTOVOLTAÏQUE**

Il est essentiel de réaliser des opérations de maintenance et surtout des vérifications pour garantir le bon fonctionnement du système photovoltaïque. Nous présentons ci-dessous les mesures de maintenance préventive à entreprendre afin de garantir le bon fonctionnement de notre installation : [41]

### **a) Module photovoltaïque :**

- Nettoyage de la face avant à l'eau.
- Vérification de l'aspect des modules.
- Vérification des supports.
- Vérification des connexions.

### **b) Régulateur :**

- Vérification de la fixation du régulateur.
- Vérification de l'état de charge.

### **c) Les Batteries :**

- Mesure de la tension
- Contrôle de l'aspect ;



- Contrôle de la connexion ;
- Niveau d'électrolyte.

**d) Onduleur :** Faire les contrôles sur l'onduleur, c'est s'assurer que : les récepteurs tolèrent la distorsion de l'onduleur et acceptent les variations de la tension de sortie, l'onduleur protège contre la surcharge et coupe l'utilisateur en cas basse tension pour la protection de la batterie. [41]

## II.11 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a offert une base solide et exhaustive pour comprendre et appliquer les principes de dimensionnement des installations photovoltaïques isolées. Il a intégré des approches méthodologiques variées, y compris des méthodes quasi-statiques et dynamiques, et des considérations pratiques essentielles pour concevoir des systèmes adaptés et performants. Les étapes critiques du processus, de la présentation du site à la sélection des composants, ont été décrites en détail. Les mesures de sécurité et les enjeux de maintenance ont également été abordés pour garantir la durabilité et la fiabilité des installations. Le prochain chapitre se concentrera sur la simulation de ces installations pour vérifier et optimiser les choix effectués lors du dimensionnement théorique.

# **CHAPITRE III**

## **SIMULATION POUR UNE INSTALLATION ISOLE AVEC PVSYST**

### **III.1 INTRODUCTION**

Il est crucial de simuler une installation photovoltaïque isolée avec batterie afin de concevoir des systèmes autonomes qui offrent une alimentation fiable dans des zones qui ne sont pas connectées au réseau électrique. Les outils spécifiques du logiciel PVsyst permettent de représenter et d'améliorer ces systèmes, en tenant compte des spécificités et des défis liés aux installations hors réseau.

Dans ce chapitre, l'accent est mis sur l'utilisation de PVsyst pour simuler une installation off-grid avec batteries. Dans un premier temps, nous présenterons les fonctionnalités de PVsyst qui sont pertinentes pour ce genre d'installation. On expliquera en détail les différentes étapes de la simulation, telles que la détermination des paramètres du site, le choix des panneaux solaires et des batteries, ainsi que la configuration des profils de charge.

Il sera également possible d'explorer des études de cas pratiques qui montrent comment utiliser PVsyst pour évaluer les performances des systèmes isolés dans différentes conditions climatiques et scénarios de consommation. Le but est de donner aux utilisateurs les compétences requises pour concevoir et améliorer des installations photovoltaïques autonomes, garantissant ainsi une alimentation électrique optimale, fiable et durable.

En résumé, l'objectif de ce chapitre est de fournir aux lecteurs les outils et les connaissances nécessaires pour effectuer des simulations précises et efficaces de systèmes isolés avec batterie, en utilisant le logiciel PVsyst afin d'optimiser la performance et la rentabilité de leurs créations.

### **III.2 PRESENTATION DU LOGICIEL PVSYST**

Les architectes, les ingénieurs et les chercheurs peuvent utiliser PVSYST, mais il s'agit également d'un outil pédagogique extrêmement pratique. Il comprend une assistance contextuelle détaillée, qui fournit une explication approfondie de la procédure et des modèles utilisés, et propose une approche ergonomique accompagnée d'un guide pour le développement d'un projet. PVSYST offre la possibilité d'importer des données météorologiques provenant d'une dizaine de sources différentes, ainsi que des informations personnelles. Le rapport complet de PVSYST présente les résultats, incluant des graphiques et des tableaux spécifiques. Il est possible d'exporter ces données dans un autre logiciel.

## Chapitre III : Simulation pour une installation isolé PVsyst

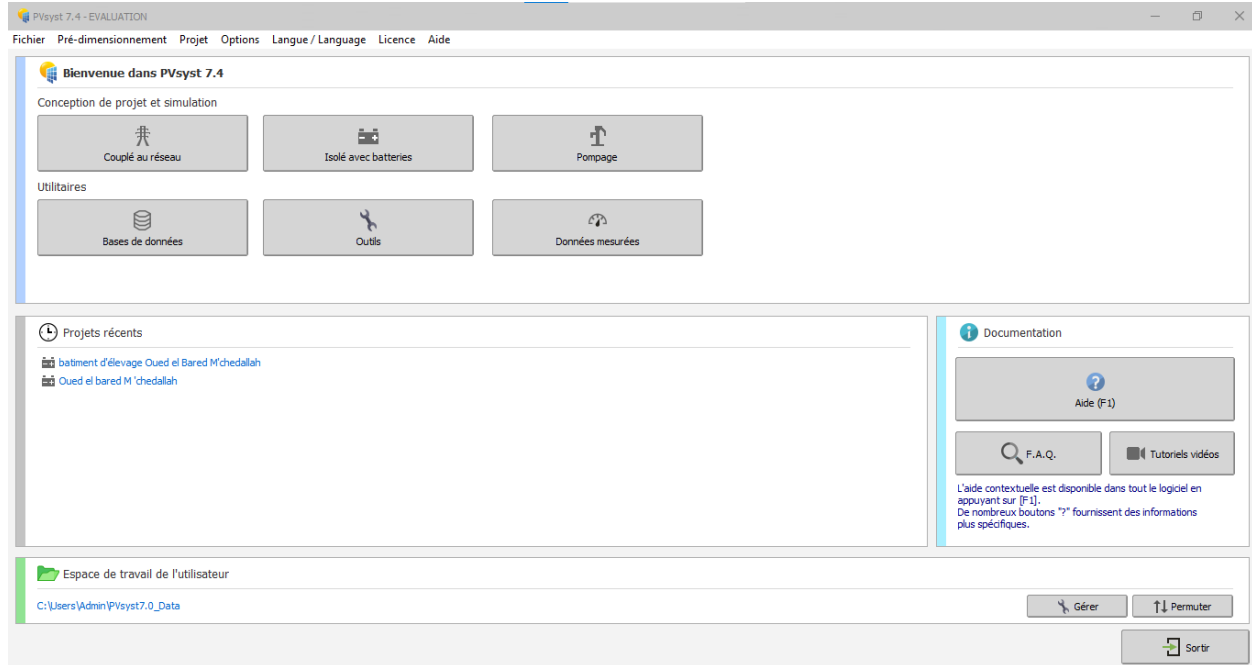


FIGURE III.1:L'INTERFACE DE LOGICIEL PVSYST

### III.2.1 LA CONCEPTION PRELIMINAIRE

Avant de commencer la planification d'un projet dans PVsyst, il est nécessaire de choisir un système parmi les options suivantes :

- Couplé au réseau.
- Isolé avec batterie.
- Pompage.

### III.2.2 CONCEPTION D'UN PROJET DANS PVSYST

Pour notre projet (installation photovoltaïque isolé avec batterie pour un site dans la wilaya de Bouira, Oued el Bared), on va sélectionner la fenêtre isolée avec batterie :

## Chapitre III : Simulation pour une installation isolé PVsyst

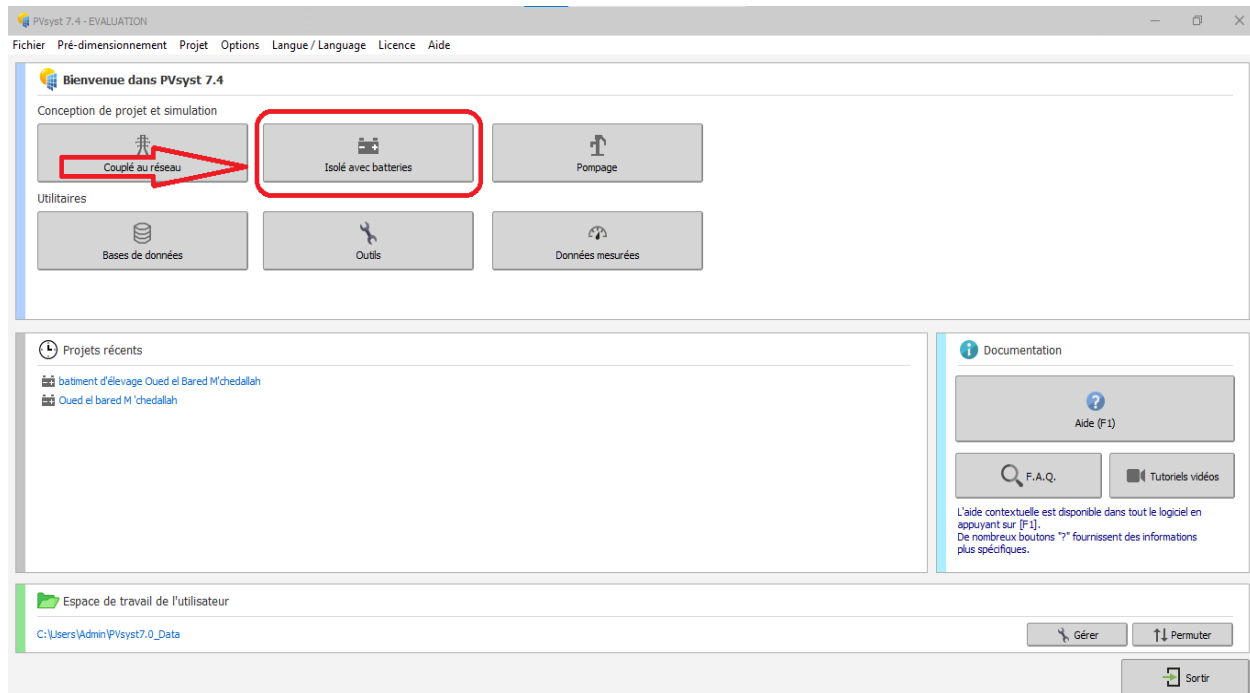


FIGURE III.2:CHOIX D'UN SYSTEME

### III.2.3 CREE UN PROJET

Dans cette étape on va cliquer sur la fenêtre « nouveau » pour créer un nouveau projet.

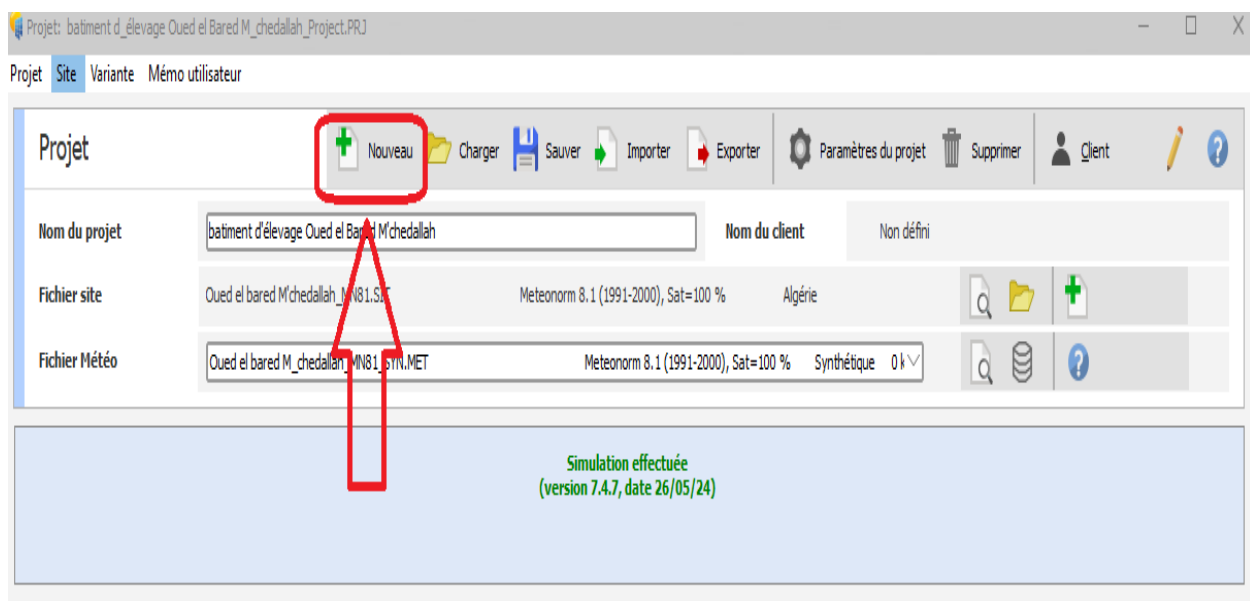


FIGURE III.3:CREATION D'UN NOUVEAU PROJET

### III.2.3.1. NOM DE PROJET CREE

On choisit un nom du projet. Dans notre cas le projet est intitulé : bâtiment d'élevage Oued el Bared.

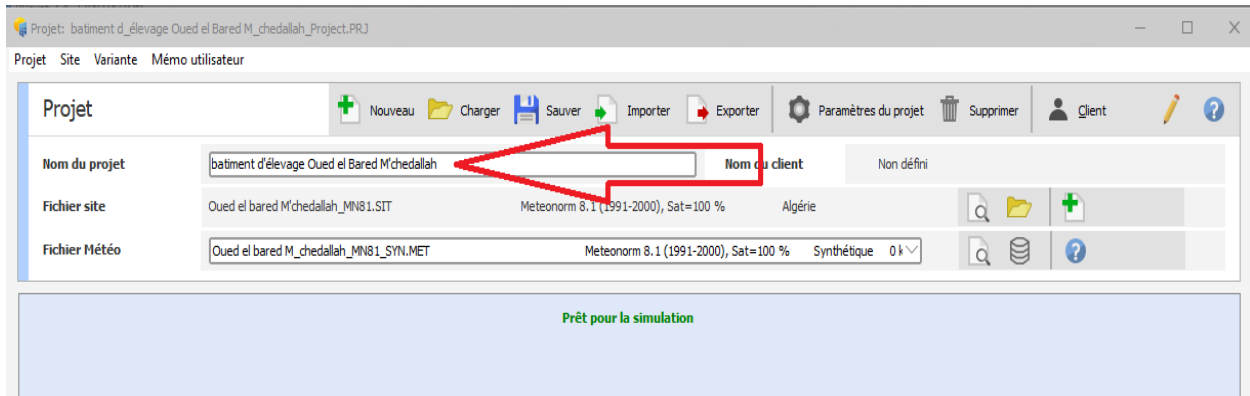


FIGURE III.4: NOM DE PROJET CREE

### III.2.3.2 CHOIX DE SITE

On sélectionne la zone géographique sur laquelle on travaillera.

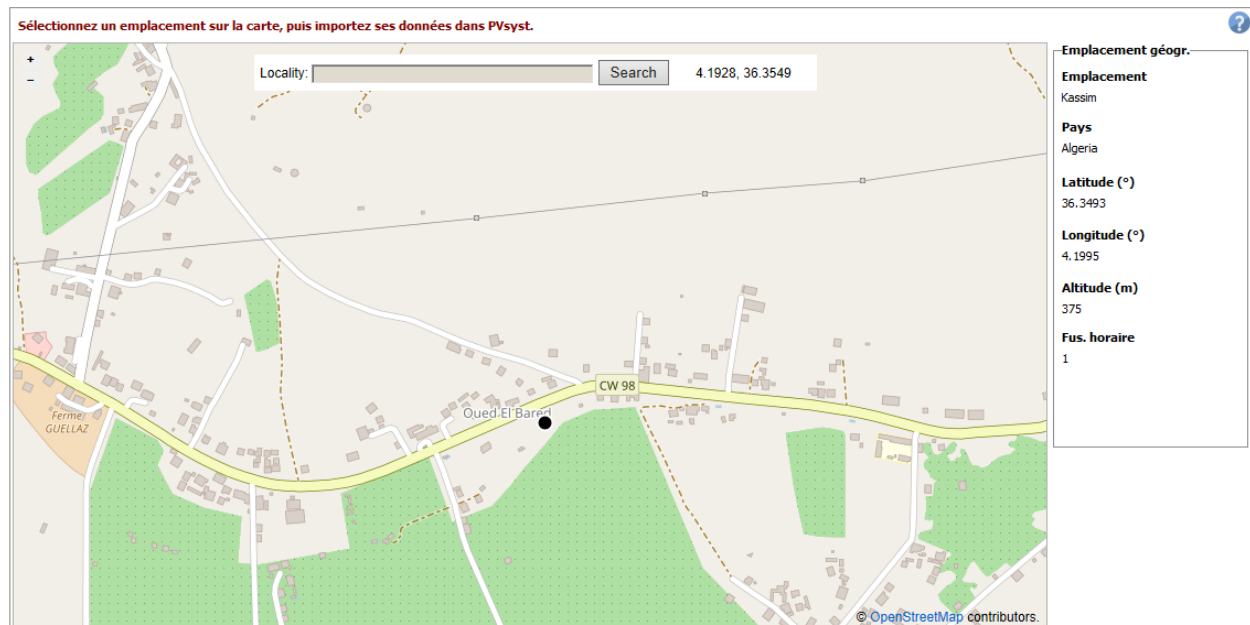


FIGURE III.5: LE SITE CHOISI (OUED EL BARED M'CHEDALLAH)

### III.3 Données météorologiques :

Il est recommandé de définir soigneusement la source des données afin de résumer les caractéristiques climatiques (lirradiation et la température) du site de Oued El Bared à Mchedallah.

Le programme PVsyst Le logiciel offre un accès à Internet aux informations sur le rayonnement solaire et la température, ainsi quaux outils dévaluation de la performance des panneaux solaires.

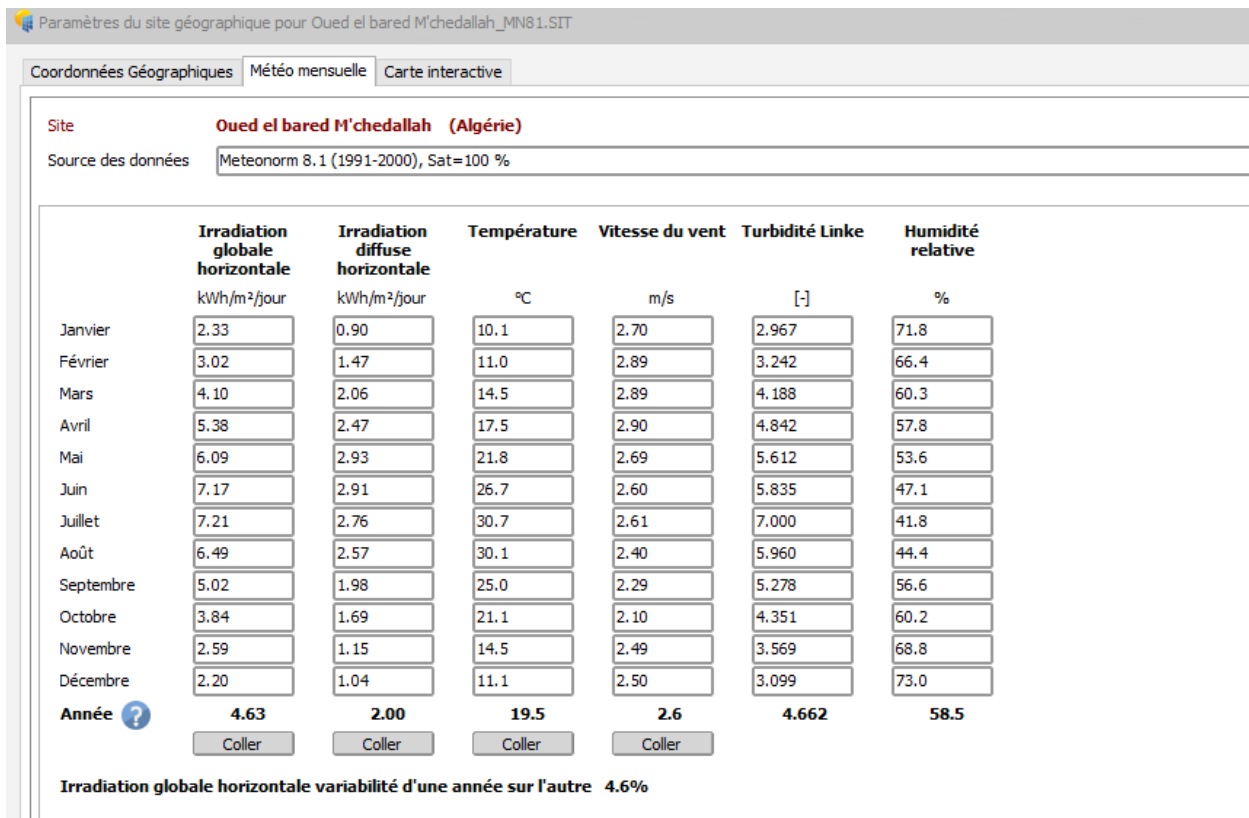
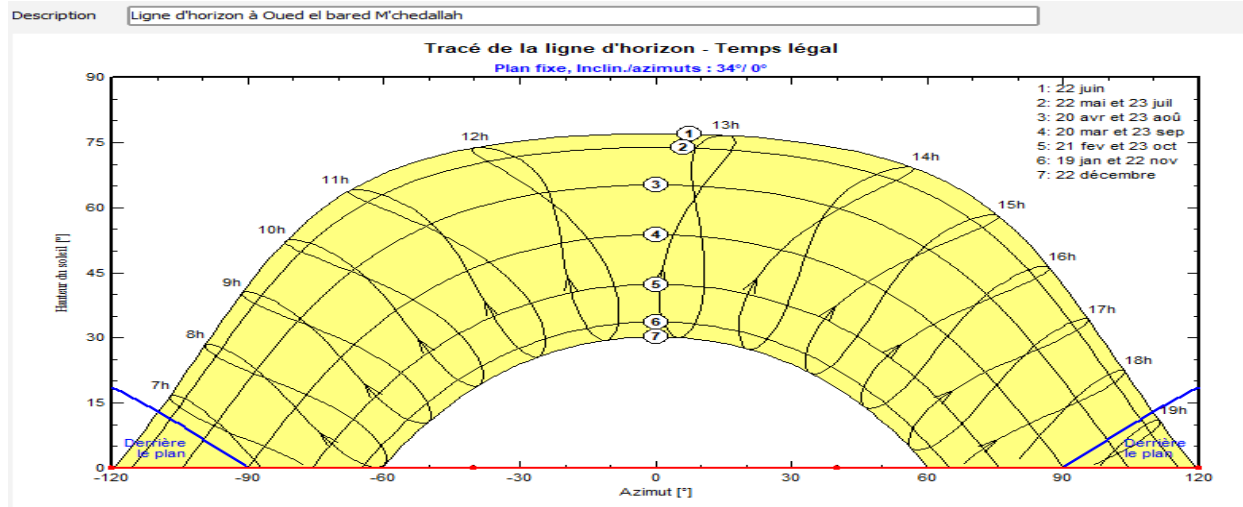


FIGURE III.6:PARAMETRE CLIMATIQUE D'OUED EL BARED M'CHEDALLAH

#### III.3.1 TRAJECTOIRE DU SOLEIL

Pour toute application solaire, il est essentiel de savoir comment le soleil se déplace pour un point particulier de la surface terrestre. La position du soleil est définie par deux angles : son altitude HS (angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu) et son Azimut AZ (angle avec la direction du sud, compté négativement vers lest).



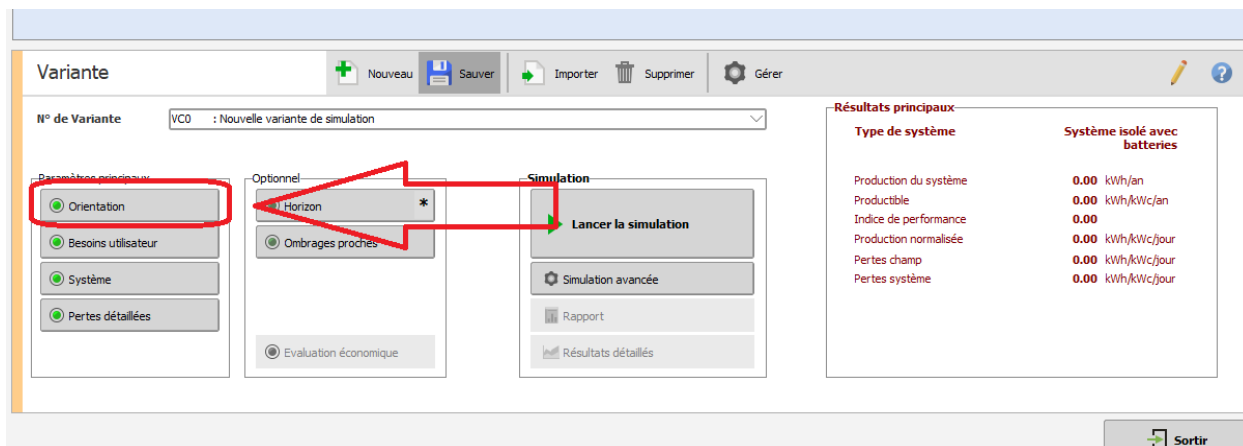
**FIGURE III.7:TRAJECTOIRE DE SOLEIL A OUED EL BARED M'CHEDALLAH**

En examinant de manière plus détaillée, la variation de lazimut à différents moments de l'année.

En observant également que le soleil se trouve en position optimale à 13 heures tout au long de l'année, mais cela varie pendant les mois de juin et juillet

## III.3.2 ORIENTATION DES MODULES PV

Cette étape est consacrée au choix du niveau dinclinaison des panneaux installés sur ce site. Nous avons opté pour un plan incliné fixe, d'après les calculs effectuer avec la formule de la déclinaison solaire attribué à Desmond Fletcher d'une valeur d'inclinaison de 34° (par rapport à l'horizontale) pour notre simulation.



**FIGURE III.8:PREMIERE ETAPE DE LA CONCEPTION**



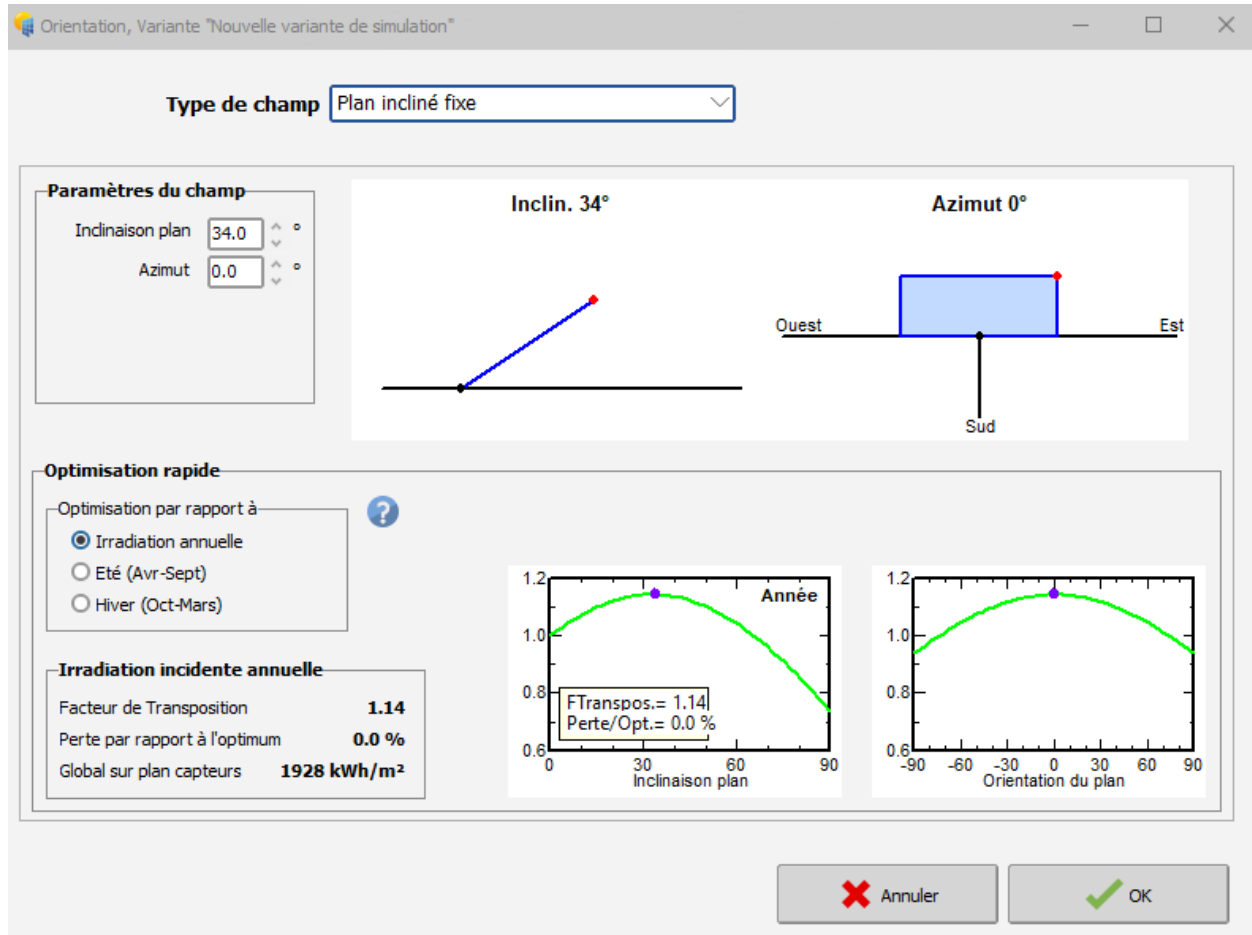


FIGURE III.9: ANGLE D'ORIENTATION DES MODULES PV

## III.4 DEFINITIONS DES BESOINS D'UTILISATEUR

L'évaluation de la consommation électrique quotidienne de ce bâtiment délestage est basée sur les charges, les durées de fonctionnement, les puissances et les énergies consommées. Les résultats obtenus se présentent ainsi :

Définition des usages domestiques journaliers pour Janvier.

Consommation
Distribution horaire

**Consommations journalières**

Nombre	Appareil	Puissance	Util. journ.	Distrib. horaire	Daily energy
12	Lampes (LED interieur)	15 W/lampe	7.0 h/jour	OK	1260 Wh
5	Lampes (Exterieur)	15 W/app	12.0 h/jour	OK	900 Wh
2	Machine à traire	200 W/app	2.0 h/jour	OK	800 Wh
0	Frigo / Congélateur	0.00 kWh/jour	0.0		0 Wh
1	Cuve de lait	700.0 W moy.	6.0 h/jour	OK	4200 Wh
4	Extracteur d'air	45 W/app	8.0 h/jour	OK	1440 Wh
1	Nettoyeur karcher (K7)	1333 W/app	2.0 h/jour	OK	2666 Wh
Consomm. de veille		6 W tot	24 h/jour		144 Wh
<b>Energie journalière totale</b>					<b>11410 Wh/jour</b>
<b>Energie mensuelle</b>					<b>342.3 kWh/mois</b>

? Info appareils

**Définition consommation par**  
☐ Années  
☐ Saisons  
☒ Mois

**Utilis. Week-end ou semaine**  
☐ Utilisation seulement pendant  

jours dans la semaine

**Voir les valeurs de**  

➔ Copier valeurs

FIGURE III.10:DETERMINATION DES BESOINS ELECTRIQUE

### III.4.1 DISTRIBUTION HORAIRE DE LA CHARGE

Nous avons défini les usages domestiques journaliers pour l'année comme suit :

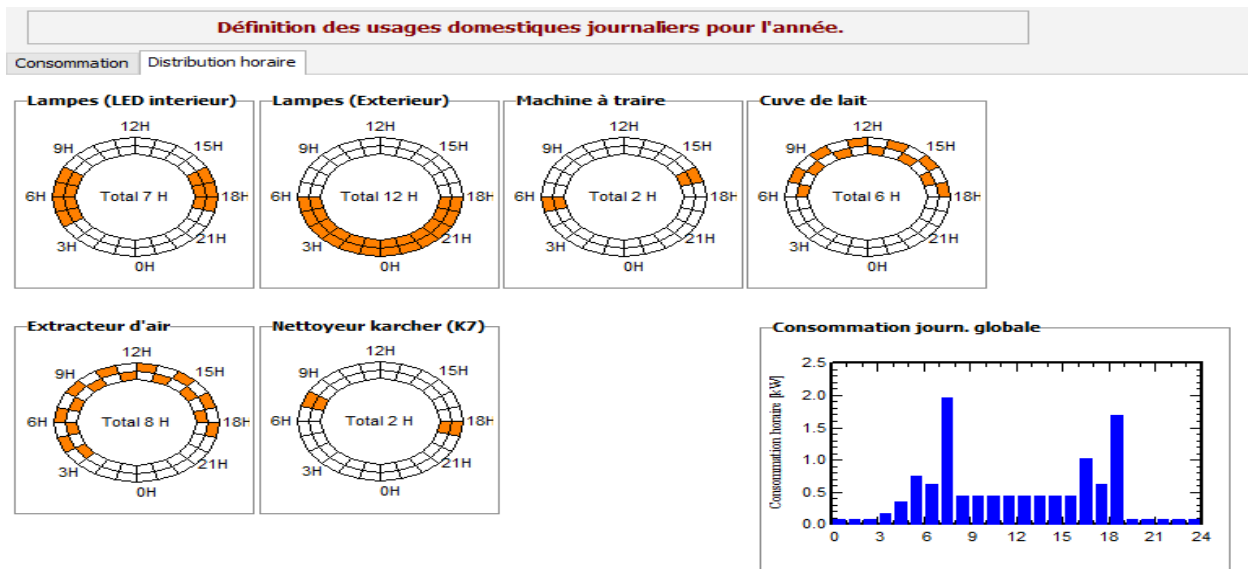


FIGURE III. 11:DISTRIBUTION HORAIRE DE LA CHARGE

### III.5 DEFINITION DE PARC DE BATTERIE

Pour un système photovoltaïque isolé, le stockage d'énergie est une étape très intéressante. Nous avons choisi des batteries à gel de 12 V de 155Ah à une température de 20°C. Les batteries sont connectées de la manière suivante : 4 batteries en série et 4 batteries en parallèle, afin d'obtenir une tension de 48 V avec une capacité totale de 620 Ah.

**Procédure**

1. - Pré-dimensionnement : Définissez les conditions de pré-dimensionnement (P.L.O.L., autonomie, tension batterie)
2. - Stockage : Définissez le pack de batteries (les cases défaut approchent les suggestions du pré-dimensionnement)
3. - Conception champ PV : Définissez le champ PV (Module PV) et mode de contrôle. Conseil : commencez avec un régulateur universel
4. - Appoint : Définissez un éventuel groupe électrogène

**Définissez le pack de batteries**

Trier les batteries selon : ☒ tension ☐ capacité ☐ fabricant

Sonnenschein 12 V 155 Ah Pb Sealed Gel Solar Block SB 12/185A

Pb-acide

4 batteries en série

4 batteries en parallèle

100.0 % Etat d'usure initial (nb. de cycles)

100.0 % Etat d'usure initial (statique)

**Température batterie en opération**

Mode tempér. : Fixée (local tempéré)

Température fixée : 20 °C

La température est importante pour la durée de vie de la batterie. Une augmentation de 10 °C diminue la durée de vie "statique" d'un

**Besoins utilis.**

Utilis. domestique	Puissance moy.	475 W
Fraction nuit 50.0 %	Énergie jour	11.4 kWh

**Pack de batteries**

4 en parallèle, 48 V	Capacité	620 Ah
Autonomie 2.1 jr	Énergie stockée	23.8 kWh

**Champ PV**

6 chaînes de 2 modules	Puissance nom.	3.60 kWc
PV/Load 7.6	Énergie moy. jour	12.8 kWh

**Régulateur**

Universel, couplage direct		
Courant PV max.	83 A	Seuils selon SOC

FIGURE III.12: CARACTERISTIQUE DE PARC DE BATTERIES

### III.6 DEFINITION DE CHAMP PV

Il existe plusieurs technologies disponibles pour les modules photovoltaïques, ce qui explique pourquoi le dimensionnement du module est défini en fonction de différents critères tels que les exigences électriques de l'installation et le choix d'une technologie qui permet de minimiser le nombre de batteries sans entraîner un manque d'énergie. Ainsi, comme le montre la figure (III.12), le module choisi pour cette étude est de type :

- JAP6-72-300, avec un champ PV de 12 panneaux (deux en série et 6 en parallèle).

## Chapitre III : Simulation pour une installation isolé PVsyst

Besoins jour, moyens : 11.4 kWh/jour  
 Déf. la PLOL acceptable : 5.0 %  
 Autonomie requise : 2.0 jour(s)  
 Pré-dimens. détaillé

Tension batterie (et utilis.) : 48 V  
 Capacité conseillée : 559 Ah  
 Puissance PV conseillée : 3522 Wc (nom.)

Stockage : Champ PV : Appoint : Schéma simplifié

Nom et orientation du sous-champ  
 Nom : Champ PV  
 Orient. : Plan incliné fixe  
 Inclinaison : 34°  
 Azimut : 0°

Aide au dimensionnement  
☐ Pas de prédim.  
 Phom désirée : 3.5 kWc  
☐ ... ou surface disponible : 23 m²

Sélection du module PV  
 Tous les modules : JA Solar  
 Tri modules par : Puissance  
 300 Wp 31V Si-poly JAP6-72-300 Jusqu'à 20°  
 Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) 30.8 V  
 Vco (-10°C) 51.8 V

Choisissez le mode de régulation et le régulateur  
☒ Régulateur universel : Générique  
 Convertisseur de puissance MPPT  
 Mode d'opération : ☒ Couplage direct  
☐ Convertisseur MPPT  
☐ Convertisseur DC-DC  
 Courants max. de charge - décharge : MPPT 1000 W 48 V 83 A 41 A Universal controller with MPPT conve  
 Les paramètres de fonctionnement du régulateur universel seront automatiquement ajustés selon les propriétés du système.

Conception champ PV  
 Nombre de modules et chaînes : Mod. en série : 2  
 Nb. chaînes : 6  
 doit être : ☒ Pas de contrainte  
☒ entre 5 et 8  
 Cond. de fonctionnement : Vmpp (60°C) 62 V  
 Vmpp (20°C) 75 V  
 Vco (-10°C) 104 V  
 Irradiance plan : 1000 W/m²  
 Imp (60°C) 49.2 A  
 Isc (60°C) 53.4 A  
 Isc (aux STC) 53.1 A  
 Puiss. max. en fonctionnement (à irrad. max. et 50°C) : 3.19 kW  
 Puiss. nom. champ (STC) : 3.60 kWc

Besoins utilis. : Utilis. domestique  
 Fraction nuit : 50.0 %  
 Pack de batteries : 4 en parallèle, 48 V  
 Autonomie : 2.1 jr  
 Champ PV : 6 chaînes de 2 modules  
 PV/PLoad : 7.6  
 Régulateur : MPPT universel  
 PV/PCnv : 1.15

Puissance moy. : 475 W  
 Énergie jour : 11.4 kWh  
 Capacité : 620 Ah  
 Énergie stockée : 23.8 kWh  
 Puissance nom. : 3.60 kWc  
 Énergie moy. jour : 12.8 kWh  
 Puissance nom. : 3.13 kW  
 Seuils selon SOC

FIGURE III.13: CARACTERISTIQUE DE CHAMP PV

Données de base : Dimensions et Technologie : Paramètres modèle : Données additionnelles : Commercial : Graphiques

Modèle : JAP6-72-300  
 Fabricant : JA Solar  
 Nom fichier : JA Solar\_JAP6\_72\_300.PAN  
 Source données : Manufacturer 2012  
 Base de données PVsyst originale  
 Prod. depuis 2012 à 2012

Puissance nom. : 300.0 Wc  
 (aux STC)  
 Technologie : Si-poly  
 Tol. : +/- 3.0 %

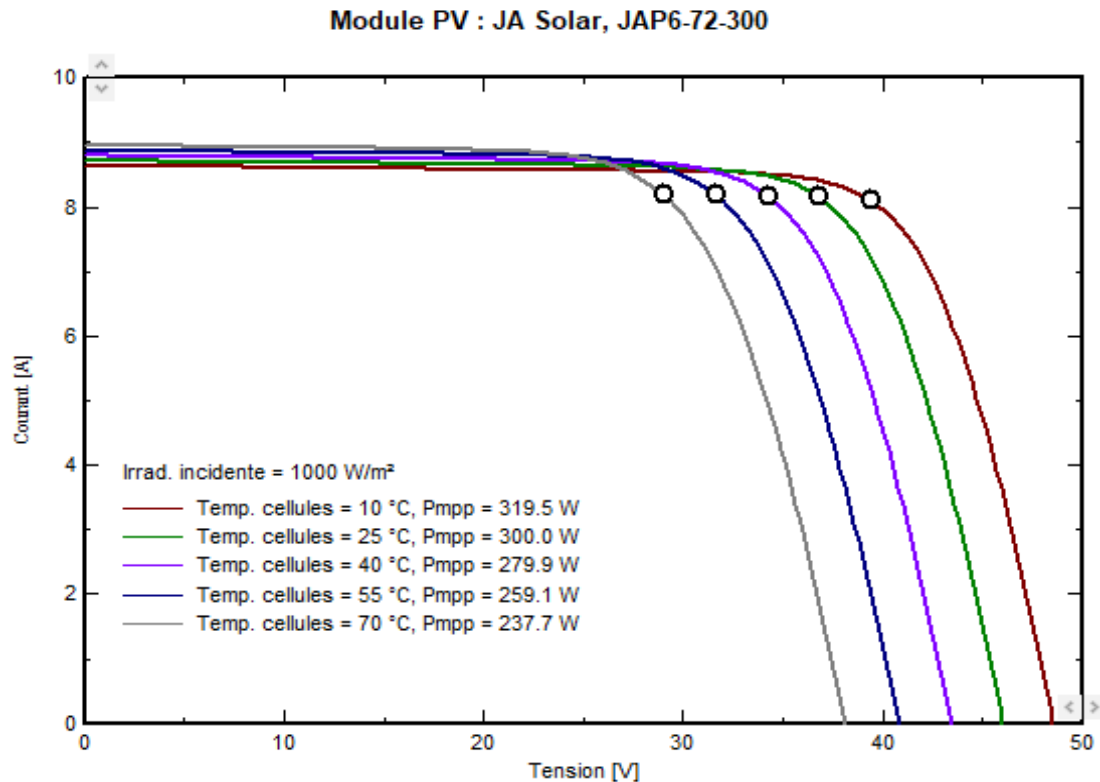
Spécifications fabricant ou autres mesures  
 Cond. de référence : GRef 1000 W/m²  
 Courant de court-circuit : Isc 8.720 A  
 Point de Puissance max. : Imp 8.170 A  
 Coefficient de tempér. : muIsc 5.2 mA/°C  
 ou muIsc 0.060 %/°C  
 TRef 25 °C  
 Circuit ouvert Vco 46.01 V  
 Vmpp 36.72 V  
 Nb. cellules en série 72 en série

Résumé du modèle  
 Paramètres principaux : R parall. 350 Ω  
 Rparall(G=0) 1400 Ω  
 R série model 0.42 Ω  
 R série max. 0.53 Ω  
 R série apparent 0.65 Ω  
 Paramètres modèle : Gamma 1.069  
 IoRef 0.67 nA  
 muVco -170 mV/°C  
 muPMax fixé -0.45 %/°C

Résultats du modèle interne  
 Cond. de fonctionnement : GOper 1000 W/m²  
 Point de Puissance max. : Pmpp 300.0 W  
 Courant : Imp 8.16 A  
 Courant de court-circuit : Isc 8.72 A  
 Efficacité / Surf. cellules 17.12 %  
 TOper 25 °C  
 Coeff. de température -0.44 %/°C  
 Tension Vmpp 36.8 V  
 Circuit ouvert Vco 46.0 V  
 / Surf. module 15.48 %

FIGURE III.14: CARACTERISTIQUE DE MODULE PV

### III.6.1 EFFET DE TEMPERATURE SUR LES CARACTERISTIQUES I-V



**FIGURE III.15:**COURBE D'INFLUENCE DE LA TEMPERATURE (I/V)

Selon la figure, il est évident que le courant est inversement proportionnel à la température, ce qui signifie que le courant augmente lorsque la température augmente, mais la température a un impact négatif sur la tension.

Lorsque la température augmente, la tension diminue, ce qui entraîne également une diminution de la puissance maximale.

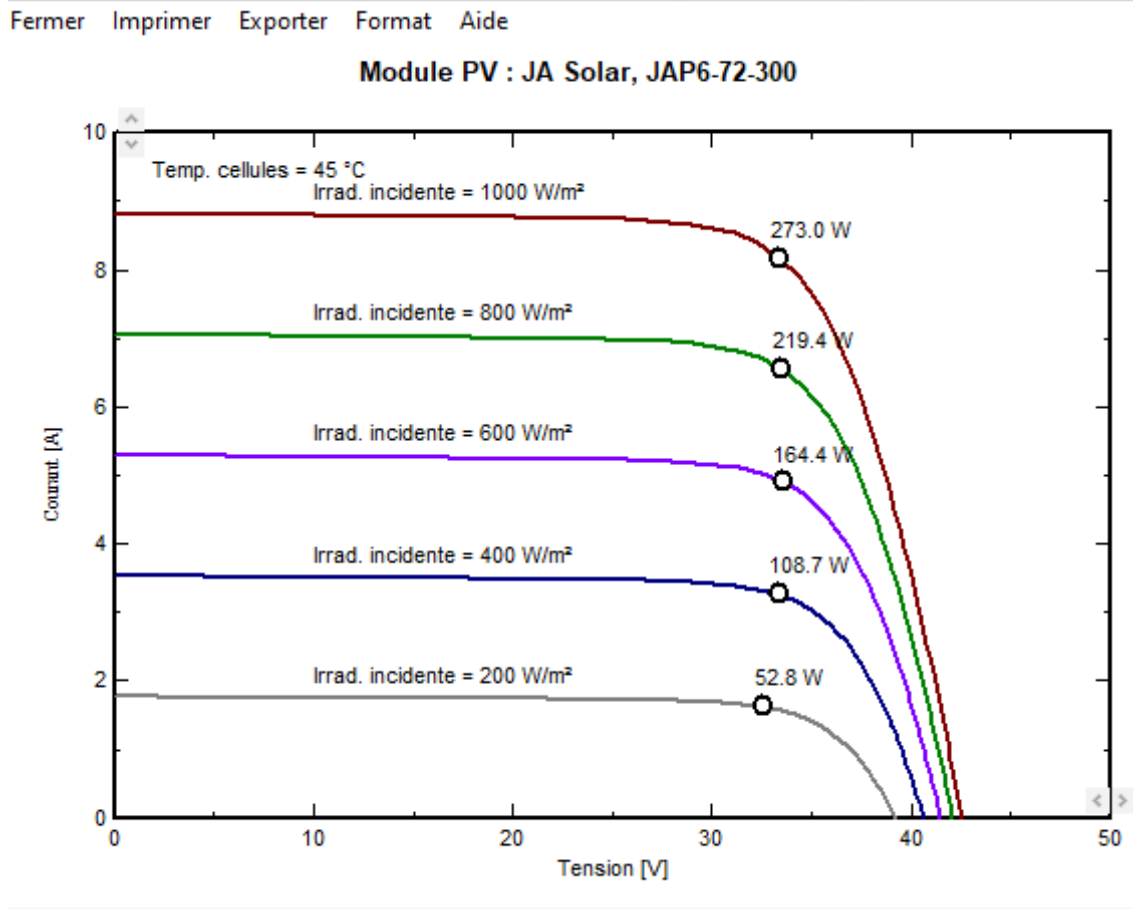
➤ **Caractéristique puissance-tension :**

Grâce à ses caractéristiques I-V, un système photovoltaïque peut être caractérisé par sa relation entre tension et puissance P-V.

La première illustration illustre les caractéristiques des panneaux solaires pour différentes températures et un ensoleillement constant.

La deuxième illustration illustre les caractéristiques des panneaux solaires pour une température fixe et une valeur d'ensoleillement variable.

### III.6.2 EFFET DE L'ENSOLEILLEMENT SUR LES CARACTERISTIQUES I-V



**FIGURE III.16:** COURBE D'INFLUENCE DE L'ENSOLEILLEMENT (I/V)

Selon la figure (III.16), on peut constater une variation importante du courant, tandis que la tension varie légèrement car le courant est linéaire à l'éclairement, ce qui signifie que la puissance optimale de la cellule est proportionnelle à l'éclairement.

### III.7 DEFINITION DE REGULATEUR :

Lors de la sélection du mode de régulation et du régulateur, nous avons choisi un régulateur universel MPPT avec convertisseur (onduleur) ayant les caractéristiques suivantes.

- Courant de charge maximale : 83 A
- Courant de décharge maximale : 41 A
- Puissance de sortie nominale : 3.13 KW (3.91Kva)

## Chapitre III : Simulation pour une installation isolé PVsyst

Besoins jour, moyens : 11.4 kWh/jour  
Déf. la PIOL acceptable : 5.0 %  
Autonomie requise : 2.0 jour(s)  
Pré-dimens. détaillé

Tension batterie (et utilis.) : 48 V  
Capacité conseillée : 559 Ah  
Puissance PV conseillée : 3522 Wc (nom.)

Stockage : Champ PV Appoint Schéma simplifié

Nom et orientation du sous-champ  
Nom : Champ PV  
Orient. : Plan incliné fixe  
Inclinaison : 34°  
Azimut : 0°

Aide au dimensionnement  
Pas de prédim.  
Phom désirée : 3.5 kWc  
... ou surface disponible : 23 m²

Sélection du module PV  
Tous les modules : JA Solar  
Tri modules par : Puissance  
300 Wp 31V Si-poly JAP6-72-300 Jusqu'à 20°  
Ouvrir

Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) : 30.8 V  
Vco (-10°C) : 51.8 V

Choisissez le mode de régulation et le régulateur  
Régulateur universel : Générique  
Convertisseur de puissance MPPT  
Mode d'opération :  
Couplage direct  
Convertisseur MPPT  
Convertisseur DC-DC  
Courants max. de charge - décharge  
MPPT 1000 W 48 V 83 A 41 A Universal controller with MPPT conve  
Ouvrir

Conception champ PV  
Nombre de modules et chaînes  
Mod. en série : 2  
Nb. chaînes : 6  
Pas de contrainte  
entre 5 et 8  
Nbre modules : 12 Surface : 23 m²

Cond. de fonctionnement:  
Vmpp (60°C) : 62 V  
Vmpp (20°C) : 75 V  
Vco (-10°C) : 104 V  
Irradiance plan : 1000 W/m²  
Imp (60°C) : 49.2 A  
Isc (60°C) : 53.4 A  
Isc (aux STC) : 53.1 A  
Puiss. max. en fonctionnement (à irrad. max. et 50°C) : 3.19 kW  
Puiss. nom. champ (STC) : 3.60 kWc

Besoins utilis. : Utilis. domestique  
Fraction nuit : 50.0 %  
Puissance moy. : 475 W  
Énergie jour : 11.4 kWh  
Pack de batteries : 4 en parallèle, 48 V  
Capacité : 620 Ah  
Autonomie : 2.1 jr  
Énergie stockée : 23.8 kWh  
Champ PV : 6 chaînes de 2 modules  
Puissance nom. : 3.60 kWc  
Énergie moy. jour : 11.4 kWh  
Régulateur : MPPT universel  
Puissance nom. : 3.13 kW  
PV/PCConv : 1.15  
Seuils selon SOC

FIGURE III.17: CARACTERISTIQUE DE REGULATEUR

### III.8 RESULTAT DE LA SIMULATION ET DISCUSSION :

Après avoir effectué toutes les étapes précédentes sur PVsyst, nous lançons la simulation et on obtient un rapport de huit pages.

#### III.8.1 LA PREMIERE PAGE



FIGURE III.18: PRESENTATION DE PROJET

### III.8.2 RESUME DU PROJET

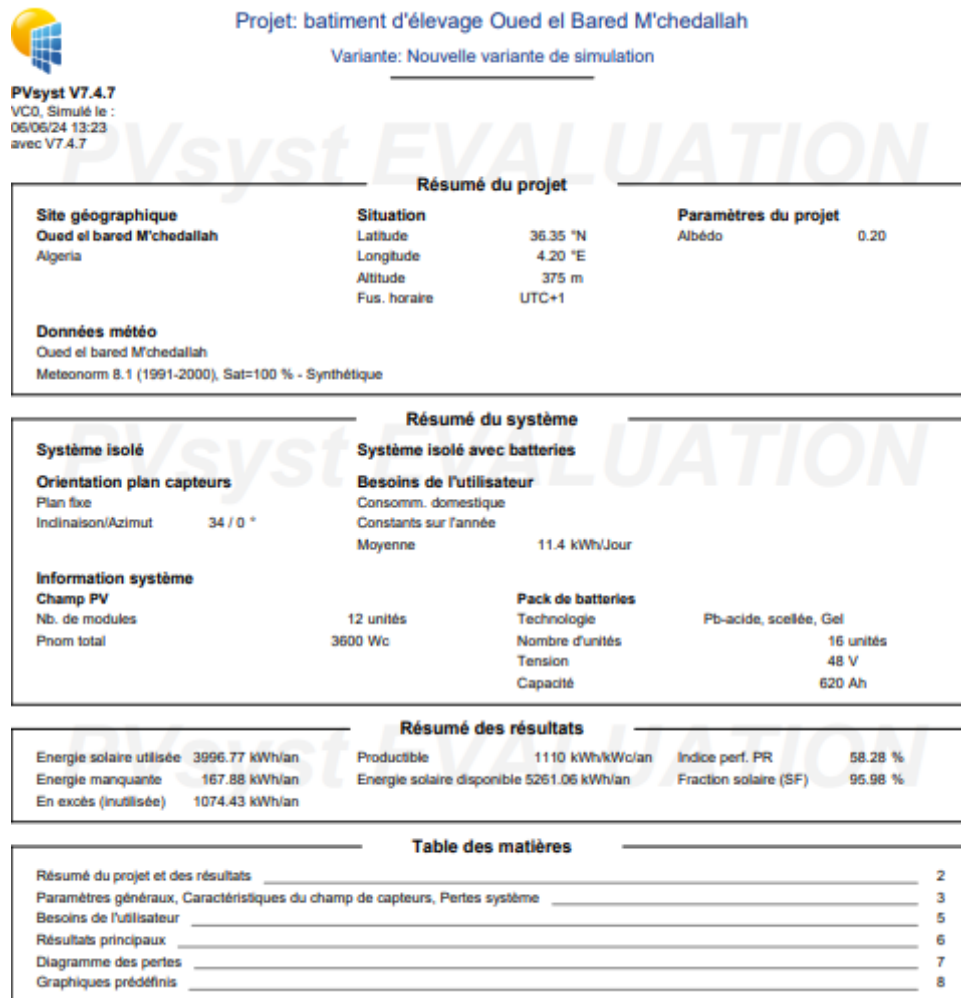


FIGURE III.19:RESUMER DE PROJET ET DES RESULTATS

La figure III.19, présente Le projet qui se situe à Oued el Bared Mchedallah en Algérie, avec les coordonnées géographiques de latitude 36.35°N et longitude 4.20°E. Le fuseau horaire est UTC+1, et le site à un albédo de 0.20, ce qui représente la réflexion de la surface.

#### A) RESUME DU SYSTEME :

Le système est isolé, avec batteries, avec des panneaux photovoltaïques installés à une inclinaison de 34° et une orientation sud (0°).



**B) CARACTERISTIQUES DE CONSOMMATION :**

- Consommation totale : 11.14 kWh/jour
- Puissance totale des panneaux : 3600 Wc

**C) MODULES PHOTOVOLTAÏQUES :**

- 12 unités

**D) RESULTATS DE LA SIMULATION :**

- Production d'énergie solaire utile : 3996.77 kWh/an
- Consommation électrique : 4060.54 kWh/an
- Déficit énergétique : 173.87 kWh/an

Le rapport révèle aussi un indice de performance (PR) de 52.82 %, qui correspond à l'efficacité de conversion des panneaux solaires, ainsi qu'un facteur de charge (SF) de 9,85 %, qui correspond au rapport entre la production réelle et la capacité maximale du système.

**III.8.3 LES PARAMETRES GENERAUX**

La figure (III.19) ci-dessous fournit des informations supplémentaires concernant le projet de construction d'un bâtiment délevage. Les paramètres généraux, les caractéristiques du champ de capteurs et les pertes liées au système photovoltaïque sont expliqués dans le rapport.

**DISCUSSION :**

Le dispositif décrit est destiné à être un dispositif isolé avec batteries, avec une configuration optimisée pour une utilisation en milieu délevage. Dans cette région particulière, l'orientation sud avec une inclinaison de 34° est parfaite pour optimiser la capture de l'énergie solaire.

L'emploi de modules JAP6-72-300, connu pour leur efficacité et leur fiabilité, favorise une performance globale optimale du système. Toutefois, il est inévitable de rencontrer des pertes dans tout système photovoltaïque. Les pertes causées par l'assemblage, le câblage et les écarts entre les modules sont assez faibles, ce qui témoigne d'une installation bien élaborée. Selon le facteur de

### Chapitre III : Simulation pour une installation isolé PVsyst

performance IAM, l'angle d'incidence de la lumière solaire entraîne des pertes de 3%, ce qui est courant pour les installations solaires.

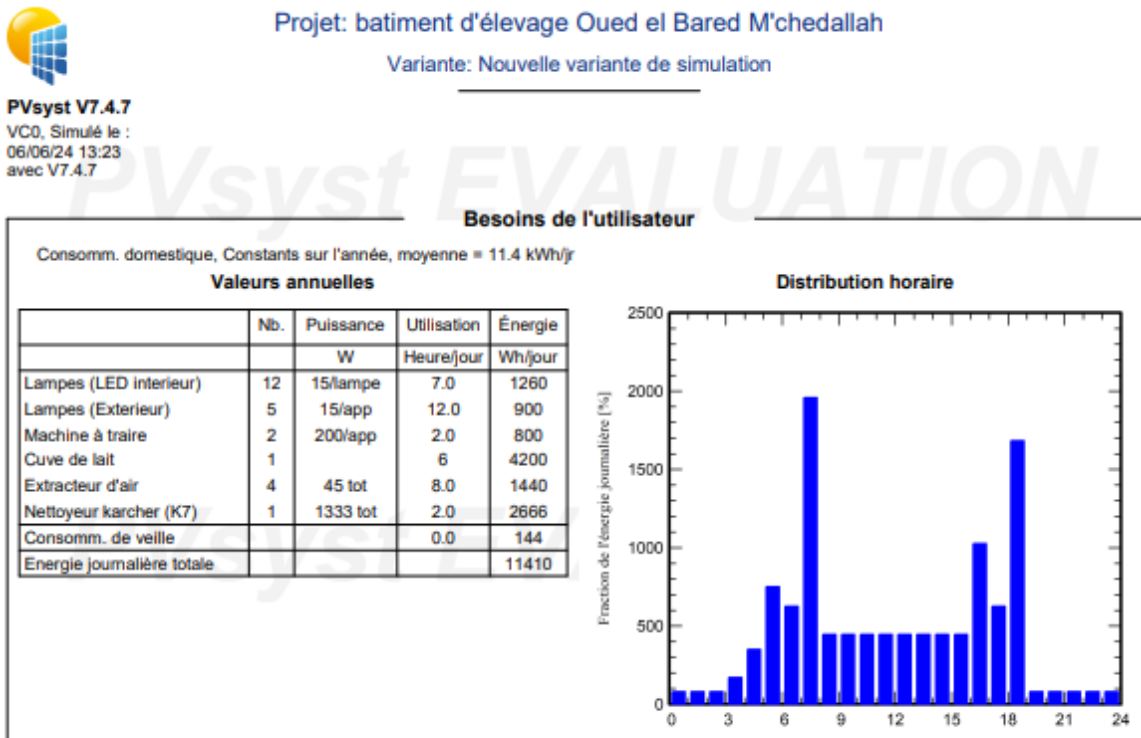
Caractéristiques du champ de capteurs			
<b>Module PV</b>		<b>Batterie</b>	
Fabricant	Generic	Fabricant	Generic
Modèle	JAP6-72-300	Modèle	Solar Block SB 12/185A
(Base de données PVsyst originale)		Technologie	Pb-acide, scellée, Gel
Puissance unitaire	300 Wc	Nombre d'unités	4 en parallèle x 4 en série
Nombre de modules PV	12 unités	Décharge : min. SOC	20.0 %
Nominale (STC)	3600 Wc	Energie stockée	23.8 kWh
Modules	6 chaîne x 2 En série	<b>Caractéristiques du banc de batteries</b>	
<b>Aux cond. de fonct. (50°C)</b>		Tension	48 V
Pmpp	3193 Wc	Capacité nominale	620 Ah (C10)
U mpp	65 V	Température	Fixée 20 °C
I mpp	49 A	<b>Seuils de régulation batterie</b>	
<b>Régulateur</b>		Seuils de commande selon	Calcul SOC
Régulateur universel		Charge	SOC = 0.90 / 0.75
Technologie	Série	environ	53.3 / 49.5 V
Coef. de temp.	-5.0 mV/°C/Élém.	Décharge	SOC = 0.20 / 0.45
		environ	46.3 / 48.3 V
<b>Puissance PV totale</b>			
Nominale (STC)	3.60 kWc		
Total	12 modules		
Surface modules	23.3 m²		
Surface cellule	21.0 m²		

Pertes champ			
<b>Encrassement du champ</b>		<b>Fact. de pertes thermiques</b>	
Frac. pertes	3.0 %	Température modules selon l'irradiance	
		Uc (const)	20.0 W/m²K
		Uv (vent)	0.0 W/m²K/m/s
<b>Perte diode série</b>		<b>Perte de qualité module</b>	
Chute de tension	0.7 V	Frac. pertes	1.5 %
Frac. pertes	1.0 % aux STC	<b>Pertes de mismatch modules</b>	
		Frac. pertes	0.5 % au MPP
<b>Perte de "mismatch" strings</b>		<b>Facteur de perte IAM</b>	
Frac. pertes	0.1 %	Paramétris. ASHRAE: IAM = 1 - bo (1/cos(i) - 1)	
		Param. bo	0.05

**FIGURE III.20:** LES PARAMETRES DE LA SIMULATION

### III.8.4 BESOINS DE L'UTILISATEUR



**FIGURE III.21: LES BESOINS DE L'UTILISATEUR**

La figure (III.21), présente les besoins énergétiques dun bâtiment délevage. Le rapport détaille la consommation dénergie annuelle et la distribution horaire de l'utilisation électrique. Les besoins énergétiques sont détaillés pour différents appareils et équipements utilisés dans le bâtiment délevage .

#### DISCUSSION :

Les besoins énergétiques d'une exploitation agricole sont généralement répartis selon des activités spécifiques à certaines heures de la journée. Les moments de consommation sont caractéristiques des habitudes quotidiennes d'un établissement délevage, avec des activités intenses le matin et en fin d'après-midi.

Il est essentiel d'avoir les informations fournies afin de dimensionner de manière adéquate le système photovoltaïque, et d'inclure des batteries pour stocker l'énergie produite pendant les heures

## Chapitre III : Simulation pour une installation isolé PVsyst

de faible consommation et la restituer pendant les périodes de forte demande. Une étude approfondie des exigences permet d'améliorer la taille et le type de système à mettre en place, garantissant ainsi une alimentation électrique fiable et pérenne pour toutes les activités de élevage.

### III.8.5 RESULTATS PRINCIPAUX

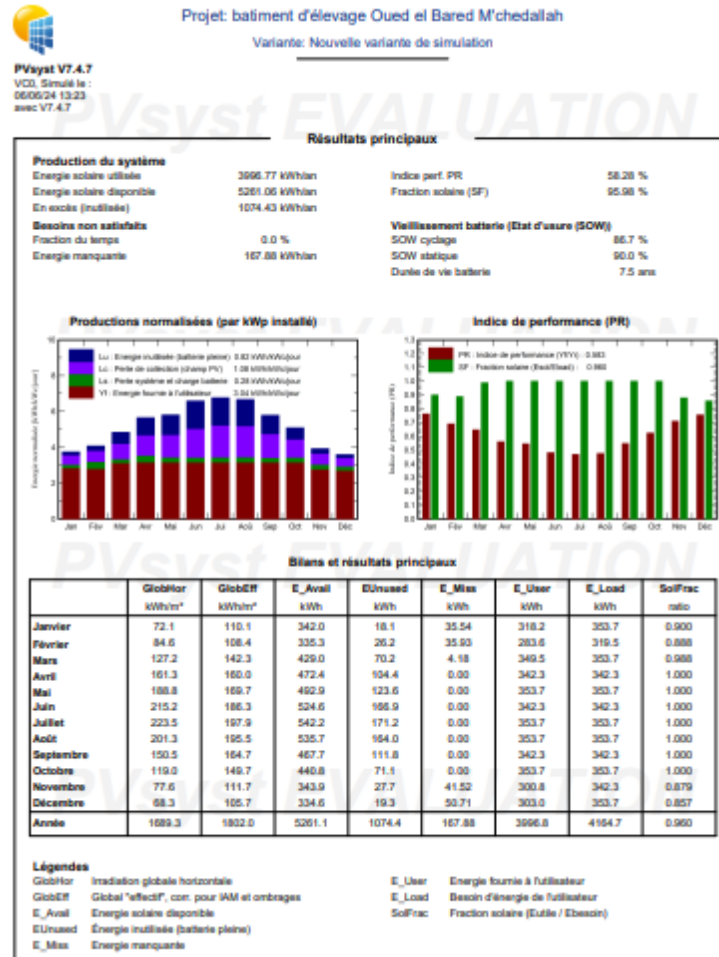


FIGURE III.22: LES RESULTATS PRINCIPAUX

Dans la figure (III.22), on peut observer deux graphiques qui illustrent la production d'énergie normalisée ainsi que l'indice de performance (PR) d'un système photovoltaïque sur une année.

#### **A) PRODUCTION D'ENERGIE NORMALISEE**

Le diagramme de la production d'énergie normalisée illustre la production d'énergie moyenne quotidienne par kilowatt-crête (kWc) installé, en fonction du mois de l'année. En juillet et août, la production est la plus élevée, et en décembre et janvier, la plus faible. Cela s'explique par le changement de l'ensoleillement tout au long de l'année. Il y a aussi une diminution de la production en octobre et novembre. Cela peut s'expliquer par des éléments tels que l'augmentation de la couverture nuageuse.

#### **B) INDICE DE PERFORMANCE (PR)**

Le diagramme de l'indice de performance (PR) illustre la relation entre l'énergie réellement générée par le système photovoltaïque et l'énergie qu'il aurait dû générer dans des conditions optimales. Le PR atteint son maximum en juillet et août, tandis qu'il est le plus bas en décembre et janvier. Cela correspond aux constatations réalisées concernant la production d'énergie normalisée.

Le rendement moyen annuel est de 0,583. Cela implique que le système solaire photovoltaïque a généré 58,3 % de l'énergie qu'il aurait dû générer dans des conditions optimales. Différents éléments entraînent des pertes d'énergie, tels que la perte de stockage (champs solaires photovoltaïques), la perte de système et de charge de la batterie, ainsi que l'utilisation excessive de l'énergie (batterie pleine).

#### **C) ANALYSE DES RESULTATS**

Les résultats démontrent que le système photovoltaïque est en bon état de marche. La quantité d'énergie produite est en accord avec les attentes et l'indice de performance est en moyenne.

Toutefois, il reste encore des éléments à améliorer. La perte d'énergie est principalement causée par la perte de collection (champ PV). Il est possible que cela soit causé par des éléments tels que l'ombre des panneaux solaires, la saleté ou la neige. Il est primordial de mettre en place des actions visant à réduire ces pertes, comme le nettoyage régulier des panneaux solaires et leur installation dans un environnement ensoleillé.

### III.8.6 DIAGRAMME DES PERTES

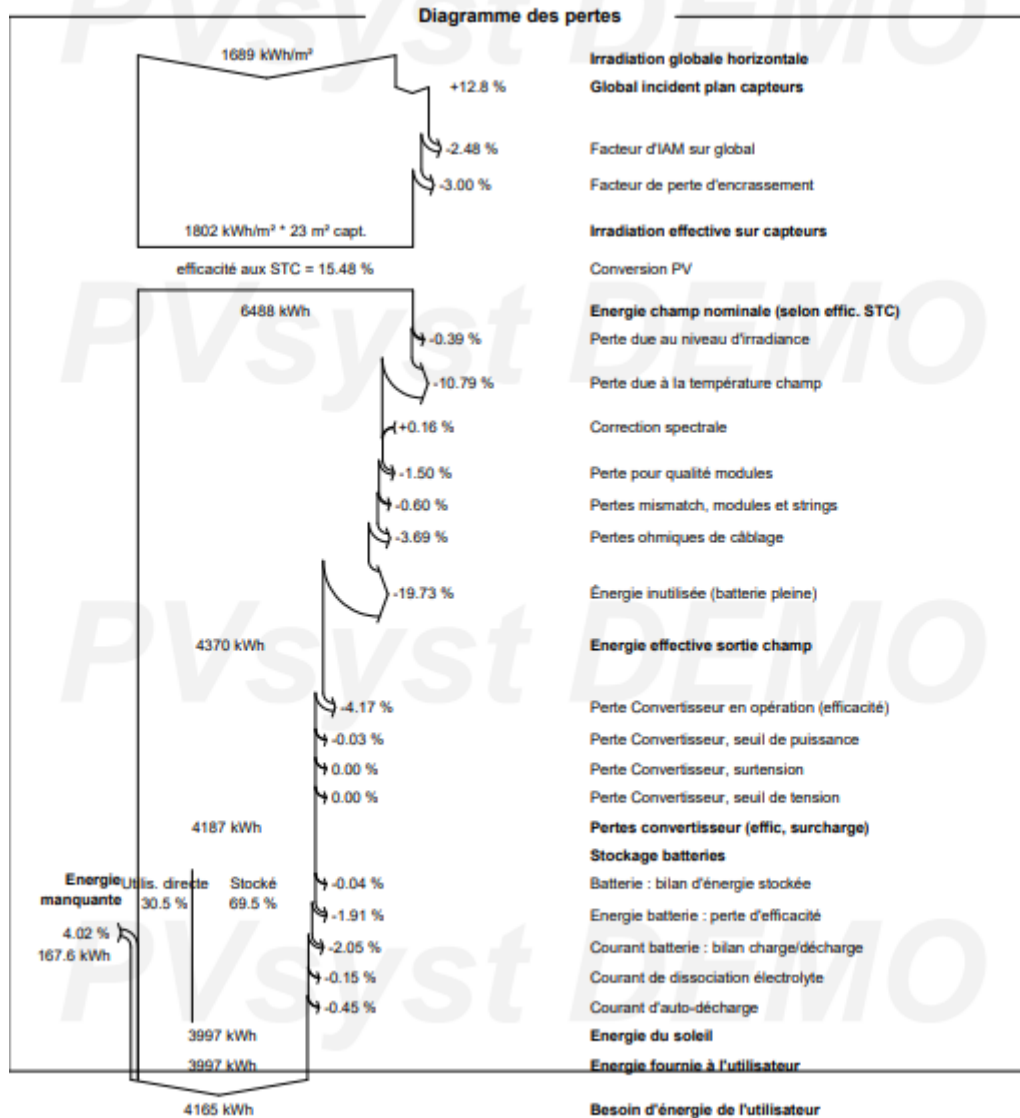


FIGURE III.23:GRAPHE DES PERTES

Le diagramme des pertes (III.23) illustre les énergies aux différents niveaux du système, en évaluant les pertes à chaque étape. Quant aux pertes, la simulation se base sur les valeurs de pertes par défaut, y compris les pertes des onduleurs, des modules photovoltaïques et d'autres éléments du système. Cependant, d'autres pertes peuvent être ajoutées au système. On peut mentionner par exemple les pertes de désadaptation causées par la non-uniformité de la structure de la matrice. On peut aussi ajouter des pertes de câblage supplémentaires. Toutefois, les pertes

de défaut ont été conservées, car les études montrent que ces pertes sont choisies avec soin et réalistes, et quelles ne devraient pas être influencées par l'ombre.

#### A) ANALYSE DES RESULTATS

Il est évident qu'il existe différentes méthodes pour évaluer les pertes liées aux systèmes photovoltaïques. Il est possible, par exemple de voir la quantité totale d'énergie fournie par les modules photovoltaïques, ou éviter de prendre en considération l'efficacité des modules. Il est rare d'inclure les pertes causées par l'inefficacité du module photovoltaïque, car ils ont généralement un faible degré d'efficacité.

Le système consomme 6488 kWh d'énergie nominale et fournit 4370 kWh d'énergie à l'utilisateur. Cela signifie une diminution de 32,64 %. Un autre élément captivant est la quantité d'énergie requise par l'utilisateur (charge) qui s'élève à 167,6 kWh.

#### III.8.7 GRAPHIQUE PRÉDÉFINI

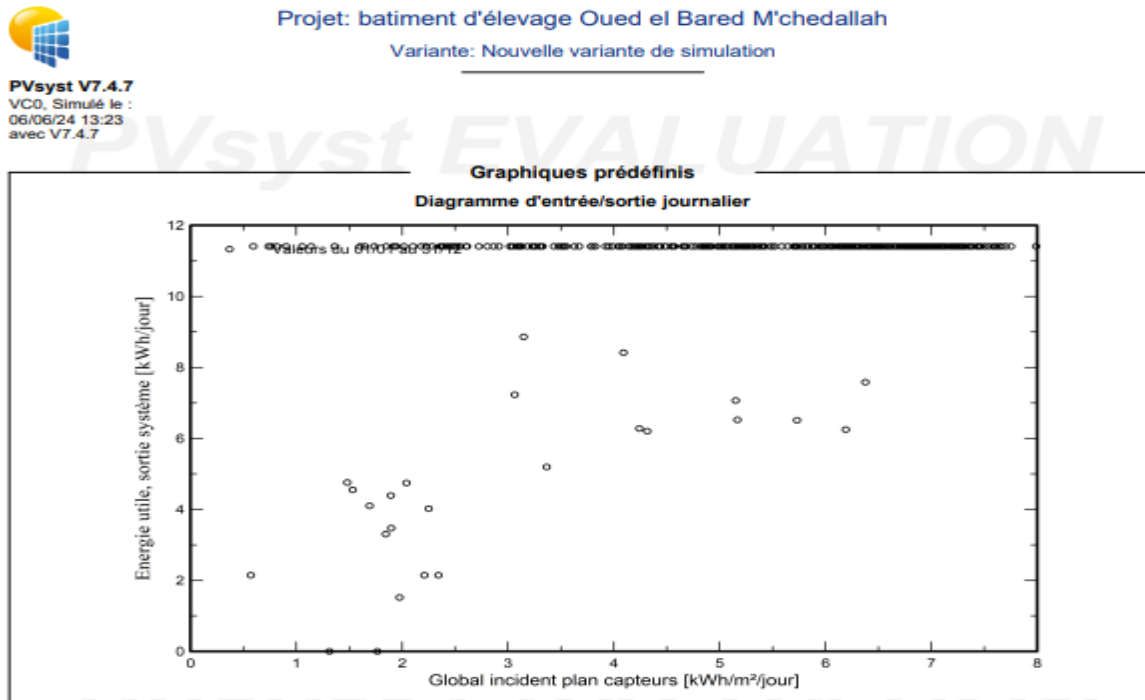


FIGURE III.24:DIAGRAMME D'ENTREE/SORTIE JOURNALIERE

La figure (III.24), présente le diagramme d'entrée/sortie journalier du bâtiment d'élevage. Le diagramme indique l'énergie solaire globale incidente sur les capteurs, l'énergie utile produite par le système et les pertes énergétiques.

- L'énergie solaire globale incidente sur les capteurs est connue sous le nom d'énergie solaire incidente sur les panneaux solaires. Selon l'ensoleillement, l'orientation des panneaux solaires et leur inclinaison, cette énergie varie.
- L'énergie utile produite par le système correspond à la quantité d'énergie électrique générée par les panneaux solaires et transmise au réseau électrique. L'efficacité des panneaux solaires et de l'onduleur détermine l'énergie disponible.
- Les pertes énergétiques désignent les fluctuations d'énergie entre l'énergie solaire incidente sur les capteurs et l'énergie utile générée par le système. La réflexion de la lumière solaire sur les panneaux solaires, la transformation de l'énergie solaire en chaleur, les pertes dans l'onduleur et les pertes dans le réseau électrique peuvent expliquer ces pertes.

Le diagramme montre que l'énergie solaire globale incidente sur les capteurs varie en fonction de l'heure de la journée, comme le montre le diagramme. Le midi, l'énergie solaire est la plus forte, tandis que le matin et le soir, elle est la plus faible.

#### **ANALYSE DES RESULTATS :**

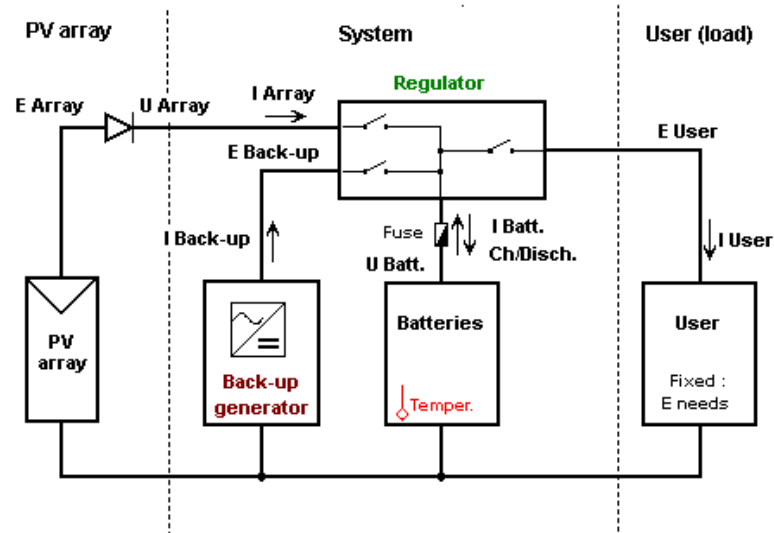
L'analyse de ce diagramme permet de tirer les conclusions suivantes :

- La production d'énergie solaire est variable en fonction de l'heure de la journée.
- Les pertes énergétiques sont importantes et doivent être réduites si possible.
- Le système est le plus efficace le matin et le soir, lorsque l'énergie solaire est moins intense.

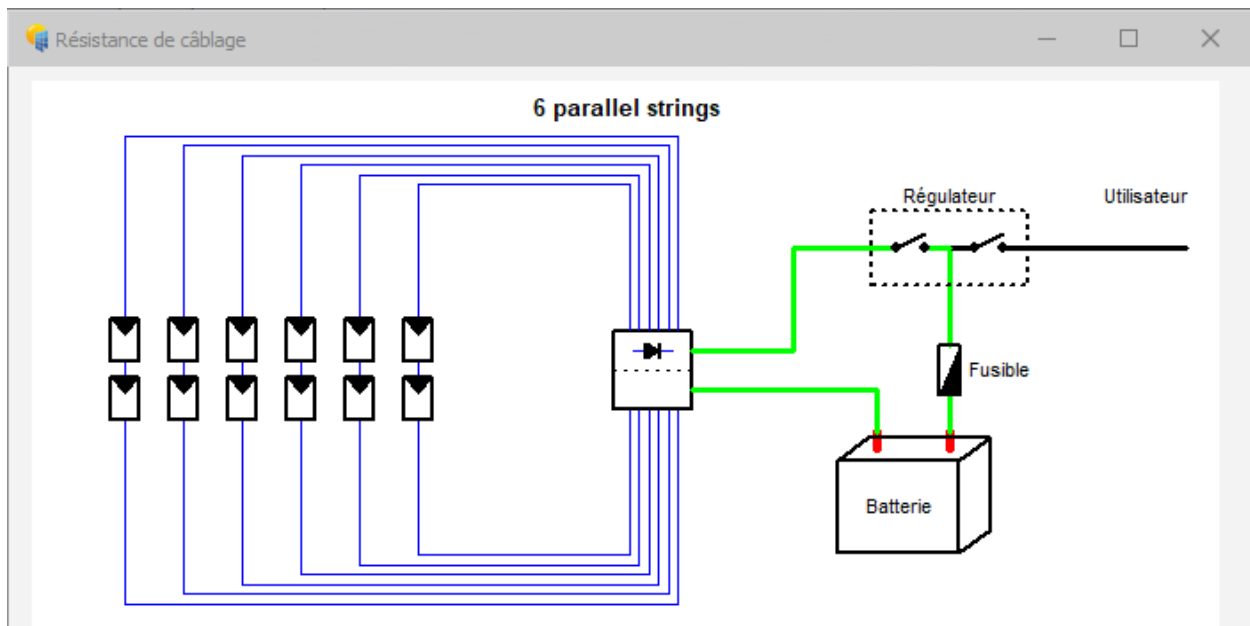


### III.9 SCHEMA SIMPLIFIE DE L'INSTALLATION

Configuration typique d'un système isolé



### III.10 SCHEMA SIMPLIFIE DU CABLAGE :



### **III.11 CONCLUSION :**

Le système isolé pour le projet à Oued el Bared Mchedallah, avec une puissance installée de 3600 WC, présente des performances prometteuses pour répondre à la consommation énergétique prévue de 11.410 kWh/jour. La maîtrise des pertes est généralement assurée, avec un rendement effectif de 58,2 %, ce qui est satisfaisant pour un système isolé avec des batteries. L'utilisation de batteries scellées de type Gel garantit une capacité de stockage adéquate pour répondre aux besoins énergétiques quotidiens.

En résumé, le système est dimensionné de manière adéquate pour satisfaire les exigences énergétiques du projet tout en garantissant une autonomie et une fiabilité adaptées aux conditions locales. Selon les résultats, il est démontré que l'énergie solaire est utilisée de manière efficace, même si les pertes sont inévitables dans tout système photovoltaïque.

## **Conclusion Générale**

Ce mémoire a exploré en profondeur les divers aspects et applications de l'énergie solaire, en fournissant une compréhension exhaustive des principes fondamentaux, des technologies et des pratiques de dimensionnement des installations photovoltaïques. En synthétisant les conclusions des trois chapitres, nous avons dressé un panorama complet de cette source d'énergie renouvelable prometteuse. Les résultats obtenus par la méthode quasi-statique et les calculs empiriques, ont été comparés avec ceux de la simulation réalisée à l'aide du logiciel PVsyst, montrant une remarquable concordance. Cela a confirmé la validité des approches théoriques et empiriques employées. En conclusion, ce mémoire montre que l'énergie solaire, bien qu'elle implique des défis inhérents tels que les pertes énergétiques, reste une solution viable et efficace pour répondre aux besoins énergétiques contemporains. Les connaissances accumulées et les analyses effectuées dans ce mémoire constituent une base solide pour la conception, la mise en œuvre et l'optimisation des systèmes photovoltaïques, soulignant leur potentiel à contribuer de manière significative à une transition énergétique durable.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] PV magazine team. (20, Avril 19). <https://www.pv-magazine.fr/2023/04/19/240-gw-de-nouvelles-capacites-solaires-installees-dans-le-monde-en-2022/>. Consulté le 2024, sur <https://www.pv-magazine.com/>.
- [2] Rebah, M. (2023, Novembre 28). <https://www.jne-asso.org/2023/11/28/transition-energetique-en-algerie-2024-annee-des-energies-renouvelables/>. Consulté le 2024, sur <https://www.jne-asso.org/>.
- [3] J. Royer, T. E. (1988). *Le pompage photovoltaïque*. IEPF/Université d'Ottawa/EIER/CREPA, Canada : Éditions MultiMondes.
- [4] [https://solarsud.blogspot.com/2014/11/dimensionnement-des-panneaux-solaires\\_36.html](https://solarsud.blogspot.com/2014/11/dimensionnement-des-panneaux-solaires_36.html). (2013). Récupéré sur <https://solarsud.blogspot.com/>.
- [5] DIALLO, M. (2017/2018). MEMOIRE DE MASTER. *CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DE LA MAINTENANCE DES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAIQUES: ANALYSE DE LA RECURRENCE DES DEFAILLANCES* . Sénégal
- [6] Raymond A. Serway, J. W. (1985). *Physique pour scientifiques et ingénieurs*.
- [7] BELABED, R. (2016/2017). *Mémoire master académique Etude et dimensionnement d'une installation*. Tizi-Ouzou, Algérie.
- [8] MOHAMMED, M. (2010/2011). *Mémoire master académique Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance*. CHLEF.
- [9] Abdou Messaia, Y. B. (2013). *Feasibility study of parabolic trough solar power plant under*. Elsevier Ltd.
- [10] khaoula, S. r. (2021/2022). *Mémoire master Etude de l'influence de situations géographiques sur le dimensionnement des systèmes photovoltaïques*. Bordj Bour Arreridj.
- [11] ABENKCER, H. (2018, Septembre 27). <https://levert.ma/la-centrale-solaire-noor-ouarzazate-iii-a-realise-sa-premiere-synchronisation/>. Consulté le 2024, sur <https://levert.ma/>.
- [12] <http://www.solaire-offgrid.com/le-solaire-et-ses-applications/architectures-solaire-photovoltaïque/>. (s.d.). Récupéré sur <http://www.solaire-offgrid.com/>.
- [13] Diane Le Roux, D. R. (2019, 08 20). Consulté le 2024, sur <https://www.etsmtl.ca/> : <https://www.etsmtl.ca/actualites/comparaison-chauffe-eau-thermiques-photovoltaïques>

## Bibliographie

- [14] *Le photovoltaïque : qu'est-ce-que c'est ?* (2023, 07 13). Consulté le 2024, sur <https://ventecenergie.com/> : <https://ventecenergie.com/2023/07/13/photovoltaïque-qu'est-ce-que-cest/>
- [15] Encyclopedia Britannica. (2024). Silicon chemical element.
- [16] Hegedus, A. L. (2011). *Luque, A., & Hegedus, S Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*.
- [17] LAHCEN, E. L. (2019). *ETUDE ET SIMULATION D'UN PARKING SOLAIRE CONNECTE AU RESEAU ELECTRIQUE PUBLIQUE*.
- [18] Djaber, B. S. (2015). *Développement des modèles mathématiques d'un générateur photovoltaïque défectueux (USTHB)*.
- [19] *Caractéristiques électriques des cellules et des modules photovoltaïques*. (<https://energieplus-lesite.be/>). Récupéré sur <https://energieplus-lesite.be/theories/photovoltaïque6/caracteristiques-electriques-des-cellules-et-des-modules-photovoltaïques/>
- [20] GHEZAL, A. (s.d.). FORMATION SUR LES ÉTUDES DE FAISABILITÉ TECHNICO-ÉCONOMIQUE DES PROJETS PHOTOVOLTAÏQUES RACCORDÉES AU RÉSEAU. Tunis.
- [21] GAUTHIER, L. (2023, 07 09). Comment fonctionne un panneau photovoltaïque ?
- [22] Récupéré sur Jasolar: <https://www.jasolar.com/html/en/>
- [23] Récupéré sur Longi: [longi.com/fr/](https://www.longi.com/fr/)
- [24] Gauthier, L. (2023, Juillet 27). Récupéré sur <https://www.revolution-energetique.com/> : <https://www.revolution-energetique.com/dossiers/comment-fonctionne-une-batterie-plomb-acide/>
- [25] (2023, Decembre 5). Récupéré sur <https://enerdigit.fr/> : <https://enerdigit.fr/le-fonctionnement-et-le-role-des-batteries-de-stockage-dans-lequilibre-du-reseau-electrique/>
- [26] *LES BATTERIES AU SODIUM : EST-CE LA TECHNOLOGIE DE L'AVENIR ?* (2023, Mai 15). Récupéré sur <https://www.flashbattery.tech/fr/>: <https://www.flashbattery.tech/fr/batteries-au-sodium/>
- [27] Récupéré sur <https://variatesolar.com/>: <https://variatesolar.com/research-drives-vanadium-flow-battery-boundaries/>

## Bibliographie

- [28] Mansour, D. A. (2021, 06 17). Memoire Master :Etude d'une installation photovoltaïque pour une.
- [29] Berkouk, E. M. (s.d.). Récupéré sur <https://www.researchgate.net/>:  
[https://www.researchgate.net/figure/Architecture-du-systeme-etudie\\_fig1\\_282008303](https://www.researchgate.net/figure/Architecture-du-systeme-etudie_fig1_282008303)
- [30] Fatima, B. (2020/2021). *Polycopie de cours Applications et dimensionnement des systèmes à énergies renouvelables*.
- [31] SELLAMI, D. A.-D.-D. *Guide technique des installations solaires photovoltaïque autonome et raccordées aux réseau basse tension*.
- [32] BELAID, A. Y. (2015). *DIMENSIONNEMENT D'UNE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE AUTONOME*.
- [33] KAMELIA, H. (2012). *Modélisation D'une Cellule Photovoltaïque : Etude Comparative*. Tizi-Ouzou.
- [34] M. Viloz, L. *Energie solaire photovoltaïque*. Dunod.
- [35] Alain Ricaud. (2011). *Systèmes photovoltaïques*.
- [36] Naima, C. F. (2018). *Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome*.
- [37] Aghiles, B. A. (2016). *Dimensionnement d'une Centrale Photovoltaïque Autonome de 16 kW*.
- [38] Ikram, M. O. (2021/2022). *Dimensionnement et étude par simulation d'une installation photovoltaïque implémentée au niveau de la commune de bouzdjar (w. Ain temouchent)*.
- [39] Fatiha, T. (2011). *Prédiction de l'irradiation solaire globale pour la région de Tizi-Ouzou par les réseaux de neurones artificiels*.
- [40] Montloin, F. R. (1983). :Fogelman& Regis Montloin « Installation Photovoltaïque dans l'habitat isolé ». EDISUD.
- [41] ALEY, M. E. (2020). *Étude et dimensionnement d'une installation solaire dans un site isolé à Tweimratt (Hodh Gharby)*.

**ANNEXES:**

**1) bâtiment d'élevage étudié**



## 2) Estimation du Coût pour l'installation

### Total des Coûts en USD

Composant	USD	DZD (1 USD = 140 DZD)
Panneaux solaires	1800	252000
Batteries à gel	4000	560000
Régulateur MPPT	400	56000
Onduleur	850	119000
Câblage et connecteurs	500	70000
Système de sécurité	300	42000
Base de pose en béton	1000	140000
Installation	1000	140000
<b>Total</b>	<b>9850</b>	<b>1 379 000</b>

### Entretien de l'installation :

Composant	Action	Fréquence
Panneaux Solaires	Nettoyage	2 fois/an
	Inspection	Annuel
	Maintenance électrique	Tous les 5 ans
Batteries	Inspection et nettoyage	Tous les 6 mois
	Remplacement	Tous les 5-7 ans
Onduleur	Inspection	Annuel
	Remplacement	Tous les 10-15 ans
Régulateur de charge MPPT	Inspection	Annuel