

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE SALHI AHMED – NAAMA



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DÉPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :
Énergies Renouvelables
Option : Énergies Renouvelables en Électrotechnique

Intitulé :

ÉTUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UN INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE CENTER DE CFP A SAIEH MOHAMED (EL BIODH WILAYA DE NAAMA)

Présenté par :

- Nasri Moustafa
- Benslama Omar
- Marouf Kawther

Soutenu le : devant le Jury :

<i>M.</i>	<i>MCB</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Président</i>
<i>M. M. Khassem</i>	<i>MCA</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Encadreur</i>
<i>M. L. smail</i>	<i>DR</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Co-Encadreur</i>
<i>M. L. Amara</i>	<i>DR</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Examineur</i>

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier DIEU le Tout Puissant et Miséricordieux, qui nous A Donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous remercions tout particulièrement notre encadreur **dr.khessam medjdoub** Et Dr. **Smail Latifa**, qui a proposé Et dirigé ce travail pour ses précieux conseils, orientations, patience qui ont constitué un apport considérable sans Les quels ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à ses hautes qualités humaines.

Nous remercions également les membres du jury qui ont fait l'honneur de bien vouloir examiner ce travail Nos vifs remerciements vont également du fond du cœur à tous nos enseignants durant notre formation universitaire, à tous nos amis



DÉDICACE

Je dédie ce mémoire

- A mes chers parents, pour leurs sacrifices, leurs patiences, leurs amours, leurs soutiens et leurs encouragements.
 - A ma femme qui m'a soutenu jusqu'à Finir.
 - A mes frère et a mes sœur, je leur souhaite tout le succès et de la réussite dans votre vie.
 - A toute ma famille, pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours raccordé.
 - À mon fils et ma fille que j'aime beaucoup.
 - A tous mes amies, je vous souhaite le courage et le succès dans votre vie.
 - Ainsi qu'à toutes les personnes que je connais de près ou de loin et que j'ai omis de citer.
- Ainsi à mes professeurs qui ont cru en moi et m'ont aidé à avancer dans ma vie.

Nasri Moustafa
Nasri Moustafa

Dédicace

D'abord, on remercie infiniment le dieu le t

Out puissant Qui nous a donné la force et

Le courage pour terminer ce modeste travail.

En effet, je le dédie à ceux qui sont le nerf de ma vie et qui ont sacrifié complètement pour que je parvienne à ce niveau ... à mes très chers parents que dieu les garde et leur accorde un très tôt pèlerinage et une longue vie pleine de santé...

À mes chères sœurs et mes chers frères.

Ainsi qu'à toute la famille Et à mes amies Et à tous les étudiants de la cinquième année Electrotechnique promotion 2021/2022.

Sans oublier mon frère GHRISI

En fin, je dédie ce mémoire à tous les gens que j'aime

et qui ont fait part dans mon cœur.

Benslama Omar

DÉDICACE

Je dédie ce travail de recherche :

À ma chère maman à qui je pense très particulièrement et à laquelle
je dois tellement pour son affection.

À mon cher père que je chéris beaucoup, qui a été toujours mon
premier enseignant et le premier à me soutenir en cas de besoin.

Je vous dis mon père que sans vous, je ne serais jamais arrivé à ce
niveau intellectuel.

À mes chers frères, chères sœurs auxquels je suis redevable pour
leurs encouragements.

À mon épouse. Tous les mots ne peuvent lui exprimer ma gratitude

Marouf Kawther



SOMMAIRE





Remerciment.....

Didicase

Listes des tableaux

Listes des figures

Bibliographie

Résumi.....

Introduction générale 1

Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables

I.1.Introduction 3

I.2. Définition de l'énergie 3

I.3. Energies dans le monde 3

I.4. Energies renouvelables..... 4

I.4.1. Historiques des énergies renouvelables 4

I.4.2. Avantages des énergies renouvelables 5

I.5. Différents types d'énergies renouvelables 6

1.5.1. L'énergie solaire 6

1.5.1.1. L'énergie solaire photovoltaïque 7

1.5.1.2. L'énergie solaire thermique..... 7

1.5.1.3. L'énergie solaire thermodynamique 8

1.5.2. L'énergie éolienne :..... 9

1.5.3. La géothermie 10

I.5.4. Hydraulique 12

I.5.5. La biomasse 13

I.6. Les énergies renouvelables en Algérie 14

I.7. Potentiel d'énergie solaire en Algérie 15

I.8. Conclusion 17



Chapitre II : Systèmes Photovoltaïques et méthodes de dimensionnement

II.1. Introduction	18
II.2. Energie solaire photovoltaïque	18
II.2.1. Historique	18
II.3. Aperçu sur le rayonnement solaire	19
II.4. Principe de fonctionnement d'un générateur photovoltaïque	21
II.4.1 Panneau photovoltaïque.....	21
II.4.3. Influence de la température et de l'éclairement.....	25
II.5. Cellule PV	26
II.5.1. Différent types des cellules photovoltaïques	27
II.6. Systèmes photovoltaïques.....	28
II.6.1. Système photovoltaïque autonome	29
II.6.2. Système photovoltaïque hybride autonome.....	29
II.6.3. Système photovoltaïque raccordé au réseau	30
II.6.3.1. Systèmes PV connectés au réseau sans stockage	30
II.6.3.2. Systèmes PV connectés au réseau avec batterie de stockage	31
II.7. Composants d'une chaine photovoltaïque raccordée au réseau électrique	32
II.7.1. Convertisseurs statiques pour les systèmes PV connectés au réseau.....	33
II.7.1.1. Convertisseurs statiques DC/DC	33
II.7.1.2. Convertisseurs statiques DC/AC	35
II.7.2. Transformateurs	36
II.8. Dimensionnement d'installation PV	36
II.8.1. Paramètres d'entrée intervenants dans le dimensionnement.....	37
II.8.1.1. Paramètres concernant le module PV	37
II.8.1.2. Paramètres concernant les batteries de stockage.....	37
II.8.1.3. Paramètres concernant le régulateur de charge.....	37
II.8.1.4. Paramètres concernant l'onduleur.....	37



II.8.1.5. Paramètres concernant la charge.....37

II.8.2. Méthode de dimensionnement d'un système PV.....38

II.8.2.1.Méthode itérative.....38

II.8.2.2.Méthode simplifiée39

II.9. Conclusion.....42

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

III.1.Introduction43

III.2. Présentation de logiciel de simulation PVSYST.....43

III.3. Présentation du site étudié44

III.4. Etapes pour dimensionner l'installation.....46

III.5. Calcul de la consommation énergétique.....46

III.5.1. Les besoins de l'application en énergie46

III.5.1.1 Besoins de l'utilisation des différents appareils (Tableau III.1)48

III.6. Détermination d'irradiation du site pour le dimensionnement50

III.6.1. Période de l'ensoleillement50

III.6.2.Le coefficient de perte.....51

III.6.3. Irradiation moyenne dans l'année 202252

III.7. Détermination et importance de l'orientation et d'inclinaison des panneaux 52

III.7.1.Energie solaire récupérable52

III.7.2.Orientation et inclinaison.....52

III.7.3.Détermination de la puissance crête des panneaux53

III.7.3.1.Calcul pratique de la puissance photovoltaïque.....53

III.7.3.1.1 Caractéristiques du panneau solaire à utiliser pour l'installation54

III.7.3.2.Calcul du nombre de panneaux55

Le nombre de modules connectés en série : 55

III.7.4.Dimensionnement et calcul du nombre de batterie55

SOMMAIRE



III.7.5. Profondeur de décharge.....	56
III.7.6. Calcul de la capacité de batterie.....	56
III.7.7. Dimensionnement du régulateur et de l'onduleur.....	57
III.8. Branchement des panneaux et batteries sur le régulateur	59
III.9. Rapport PVSYST	60
Conclusion générale.....	67



LISTE DES FIGURES





Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables

Figure I.1. Module photovoltaïque.....	7
Figure I.2. Chauffe-eau solaire.....	7
Figure I.3. Tour solaire.....	8
Figure I.4. Éolienne.....	9
Figure I.5. Schéma des différents éléments de l'éolien.....	10
Figure I.6. Centrale géothermique.....	11
Figure I.7. Différents types de l'hydraulique.....	12
Figure I.8. Énergie Biomasse.....	14
Figure I.9. Moyenne annuelle de l'énergie reçue en Algérie.....	16

Chapitre II : Systèmes Photovoltaïques et méthodes de dimensionnement

Figure II.1. Effet photo-électrique.....	19
Figure II.2. Schéma explicatif de l'effet de serre.....	20
Figure II.3. Panneaux solaires.....	21
Figure II.4. Composantes d'un champ de modules photovoltaïques.....	21
Figure II.5. Caractéristique d'un groupement en série de ns cellules identiques [PRO].....	22
Figure II.6. Caractéristique d'un groupement constitué de np cellules identiques en parallèle [PRO].....	22
Figure II.7. Coupe transversale d'une cellule PV.....	23
Figure II.8. Schéma équivalent d'une cellule PV.....	24
Figure II.9. Caractéristiques $I_{pv}(V_{pv})$ et $P_{pv}(V_{pv})$ d'un générateur PV pour une température et un niveau d'ensoleillement donnés.....	25
Figure II.10. Comportement des caractéristiques $I_{pv}(V_{pv})$ et $P_{pv}(V_{pv})$ sous l'influence de; ((a)et (b)) : l'éclairement à température fixe, ((c) et (d)) : la température à éclairement fixe.....	26
Figure II.11. Jonction PN.....	27
Figure II.12. Types de cellules photovoltaïques.....	28
Figure II.13. Exemple d'installation photovoltaïque autonome.....	29

Liste des figures



Figure II.14. Schéma synoptique d'un système photovoltaïque hybride.	30
Figure II.15. Installation photovoltaïque reliée au réseau sans batterie de stockage.	31
Figure II.16. Installation photovoltaïque reliée au réseau avec batterie de stockage.	32
Figure II.17. Schéma synoptique d'un système PV connecté au réseau de distribution électrique.	32
Figure II.18. Symbole du convertisseur DC-DC.	33
Figure II.19. Hacheur survolteur boost.	34
Figure II.20. Chronogrammes des formes d'ondes de courants et tensions.	34
Figure II.21. Symbole du convertisseur DC-AC.	35
Figure II. 22. Onduleurs monophasé et triphasé connectés au réseau [29].	36
Figure II.23. Symboles de transformateur électrique.	36

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

Figure III.1. Interface de logiciel PVSYST.	44
Figure III.2. Etapes de simulation avec PVSYST.	44
Figure III.3. La plateforme d'accueil du CFPA « sayeh mohamed »	45
Figure III.4. Photo par satellite de CFPA « Sayeh mohamed » El biodh.	45
Figure III.5 . Carte ensoleillement.	50
Figure III.6. L'irradiation globale.	50



LISTE DES TABLEAUX





Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

Tableau III.1. Différents appareils de consommation au CFPA « Sayeh mohamed » El biodh	45
Tableau III.2. Les besoins du système PV dans les temps	49
Tableau III.3. Les différents types de perte	51
III.6.3. Irradiation moyenne dans l'année 2022	52
Tableau III.4. Irradiation moyenne dans l'année (logicielPVsyst7).....	52
Tableau III.5. Les résultats des calculs.....	56
Tableau III.6. Caractéristique des batteries	57



BIBLIOGRAPHIE



Référence bibliographiques



- [1] Freris Leon, infield David, « *Les Energie Renouvelable Pour La Production De L'électricité* », édition DUNOD, Paris 2009
- [2] TOTAL SOLAR EXPERT : Construire un avenir énergétique durable, Juin 2013
- [3] Mestre V, « *étude et simulation d'un véhicule électrique à moteur synchrone mono source* ». Thèse de doctorat, école centrale de lile.
- [4] Polycopié de cours , Dr SAIDI Hemza. Titre : Energies Renouvelables. 1ère année master électrotechnique (2016/2017).
- [5] ROBERT Jérôme, FABAS Laurent : Guide de la maison économe, Edition Eyrolle, Paris 2008
- [6] BONAL Jean. ROSSETTI Pierre : Energies alternatives. Edition omniscience, France 2007
- [7] SCHENKEL Y., Temmerman M., MARCHAL D., SCHAAR C : Une analyse comparative de l'impact sur l'emploi d'une installation de chauffage au bois. Biotechnol. Agron. Soc. Environ, 2005.
- [8] KHADRAOUI ZAKARIA « Etude d'une centrale solaire thermique » MASTER GENIE MECANIQUE-UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA-2017.
- [9] L. Chang, 'Systèmes de Conversion de l'Energie Eolienne', IEEE Canadian Review, pp. 1 – 5,2002.
- [10] J. Chen, C. Nayar, L. XU, « Design and FE analysis of an outer-rotor PM generator for directly coupled wind turbine applications », proceeding of the IEEE industry applications conference, New York, USA, 1998, vol 1, pp. 387-394.
- [11] S El Aimani, « Modélisation des différentes technologies d'éoliennes intégrées dans un réseau de moyenne tension », thèse de doctorat, l'université des sciences et technologies de Lille (USTL)

Référence bibliographiques



- [12] R. Michaux, P. Letellier, « Les machines discoïdes à champs axial dans les systèmes de production électrique », revue de l'électricité et de l'électronique, N° 3, mars 1997, pp. 37-42.
- [13] J.W. Smith, J.A. Taylor, D. L. Books, R.C. Dugan, « Interconnection studies for wind generation », conference papers IEEE2004, paper N° 04 C3, pp. C3-1.C3-8.
- [14] : N. ZIDANE, «Étude et Dimensionnement des Systèmes de Production d'Énergies Renouvelables ». Mémoire Magister, université farhat abbas setif ,2014.
- [15] H. KANCHEV:«Gestion des flux énergétiques dans un système hybride de sources d'énergie renouvelable : Optimisation de la planification opérationnelle et ajustement d'un micro réseau électrique urbain » Thèse de Doctorat, PRES Université Lille Nord-de-France2014.
- [16] site : www.explorateurs-energie.ch .
- [17] site : Energie-Renouvelable.tv.htm.
- [18] Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, disponible sur <https://portail.cder.dz/spip.php?article1573>
- [19] BRUCKNER, Thomas, BASHMAKOV, Igor Alexeyevich, MULUGETTA, Yacob, et al. Energy systems. 2014.
- [20] FATIMA, BOUTLILIS. Modélisation et simulation des sources de production décentralisée Filière: Électrotechnique. 2018. Thèse de doctorat. Université de Mostaganem.
- [21] HERNÁNDEZ-CALLEJO, Luis, GALLARDO-SAAVEDRA, Sara, et ALONSO GÓMEZ, Víctor. A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance. Solar Energy, 2019, vol. 188, p. 426-440.
- [22] KUMAR, Nallapaneni Manoj, ATLURI, Karthik, et PALAPARTHI, Sriteja. Internet of Things (IoT) in photovoltaic systems. In : 2018 National Power Engineering Conference (NPEC). IEEE, 2018. p. 1-4.
- [23] Ressources naturelles et croissance pro - pauvres enjeux économiques et politiques ISBN 978-92-64-04189-7-recueil d'Organisation de Coopération et de Développement Économique - OCDE 2009.
- [24] LABOURET, Anne et VILLOZ, Michel. Energie solaire photovoltaïque. Dunod, 2006
- [25] BRIHMAT, Fouzia. Etude conceptuelle d'un système de conditionnement de puissance pour unecentrale hybride PV/Eolien. 2012. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou

Référence bibliographiques



- [26] CHERFA, F. Bouchtouche. Etude et réalisation d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau de distribution électrique BT. Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique El-Harrach, 2004
- [27] HANKINS, Mark. Installations solaires photovoltaïques autonomes : conception et installation d'unités non raccordées au réseau. Dunod, 2012.
- [28] BENCHERIF, Mohamed. Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension. 2014. Thèse de doctorat. Université de Tlemcen.
- [29] SAÏD, N. Influence de la température sur les paramètres électriques, caractéristique des photopiles au silicium polycristallin: modélisation et analyse par thermographie infrarouge. 1986.. Thèse de doctorat d'Aix-Marseille 3.
- [30] BRIGAND, Sylvain. Les principes de l'énergie solaire photovoltaïque. Complément technique, Techniques de construction, 2008.
- [31] PANKOW, Yann. Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension. Application au générateur photovoltaïque. National School Superior of Art and Trades, Lille, 2004
- [32] M.Orgeret, «Les piles solaires, le composent et ces applications» Préface de F.Allest.
- [33] CAPDEROU, Michel. Atlas Solaire de l'Algérie, modèles théoriques et expérimentaux. Vol. 1, T1, Office des Publications Universitaires, Algérie, 1987.
- [33] ZHAO, Jianhua, WANG, Aihua, ALTERMATT, Pietro P., et al. 24% efficient silicon solar cells. In : Proceedings of 1994 IEEE 1st World Conference on Photovoltaic Energy Conversion WCPEC (A Joint Conference of PVSC, PVSEC and PSEC). IEEE, 1994. p. 1477-1480.
- [34] ZHAO, Jianhua, WANG, Aihua, CAMPBELL, Patrick, et al. A 19.8% efficient honeycomb multicrystalline silicon solar cell with improved light trapping. IEEE Transactions on Electron Devices, 1999, vol. 46, no 10, p. 1978-1983.
- [35] URIEN, Mathieu. Cellules photovoltaïques organiques à base copolymères à blocs de type rigide-flexible. Bordeaux I, 2008, p. 234.
- [36] BRAHAMI Mohamed Nadjib, BOUDJELLA Fatima Zohra, KARBOUA Abdelfettah, et al. Identifying optimal orientation of a photovoltaic generator for ozone Food Storage. 8th

Référence bibliographiques



Global congress on renewable energy and environment, Istanbul, turkey, 20-22 November, 2020.

[36] NADHIR, MESBAHI. Contribution à l'étude des Performances des Onduleurs Multiniveaux sur les Réseaux de Distribution. Thèse de doctorat, Université BADJI MOKHTAR ANNABA, 2014.

[37] SINGO, Akassewa Tchapo. Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome. 2010. Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré-Nancy 1.

[38] TESSERON, J. M. et EVEILLARD, P. La production décentralisée vue de l'exploitation des réseaux de transport et de distribution. In : De la production à la consommation d'énergie électrique: comparaison des pratiques françaises et Hongroises (Budapest, 22-23 avril 1999. Résumés). 1999. p. 1-3.

[39] KRAKOWSKI, Vincent. Intégration du renouvelable et stratégie de déploiement du réseau électrique: réconciliation d'échelles spatio-temporelles dans des exercices prospectifs de long terme. 2016. Thèse de doctorat. Paris Sciences et Lettres.

[40] ABBASSEN, Lyes. Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque. 2011. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.

[41] KOLLI, Abdelfatah, GAILLARD, Arnaud, DE BERNARDINIS, Alexandre, et al. A review on DC/DC converter architectures for power fuel cell applications. Energy Conversion and Management, 2015, vol. 105, p. 716-730.

[42] FOROUZESH, Mojtaba, SIWAKOTI, Yam P., GORJI, Saman A., et al. Step-up DC–DC converters: a comprehensive review of voltage-boosting techniques, topologies, and applications. IEEE transactions on power electronics, 2017, vol. 32, no 12, p. 9143-9178

[43] KOLLI, Abdelfatah, GAILLARD, Arnaud, DE BERNARDINIS, Alexandre, et al. A review on DC/DC converter architectures for power fuel cell applications. Energy Conversion and Management, 2015, vol. 105, p. 716-730

[44] FOROUZESH, Mojtaba, SIWAKOTI, Yam P., GORJI, Saman A., et al. Step-up DC–DC converters: a comprehensive review of voltage-boosting techniques, topologies, and applications. IEEE transactions on power electronics, 2017, vol. 32, no 12, p. 9143-9178.

Référence bibliographiques



[45] NDIAYE Modou, « conception et optimisation d'un modèle d'électrification hybride raccordé au réseau de distribution de la SENELEC application à la résidence hôtelière MOUNA NDAYANE », Diplôme d'ingénieur de conception (2002/2003).

[46] ZERROUKI Zolikha et BEREKSI REGUIG Rym «Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome », Mémoire de master, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen (2016 / 2017).

[47] SEMAOUI Smaïl, « Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque », Mémoire de Magister, Université de Ouargla (23 /06/ 2004).

[48] DHAKER Abbes, « Contribution au dimensionnement et à l'optimisation des systèmes hybrides éoliens-photovoltaïques avec batteries pour l'habitat résidentiel autonome », Thèse de Doctorat, Université de Poitiers (20 juin 2012), Disponible sur Internet .

[49] BOUKHLIF Hamza, « Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque De 300kw », Mémoire de Master, Université M'hamed Bougara de Boumerdes, promotion juin 2017.

[50] ZIDANE Ammar, «Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque au niveau d'un puits de gaz» Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa (Promotion Juin 2012).

[51] IAMARENE Samir «Dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour un site (BTS, BSC) du réseau télécom wania», Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa (19/09/2012).



INTRODUCTION GENERALE



Introduction générale

L'Algérie, tout comme le reste de la planète se heurte à son tour à une grandissante demande en énergie qui est parmi les points importants pour le développement des nations. A l'heure actuelle pour satisfaire cette demande il faut une transition vers les énergies renouvelables. En effet le passage obligatoire vers ces énergies sous exploitées est venu suite aux nombreux problèmes rencontrés au fils des temps, et qui commence sérieusement à menacer la vie humaine. On pense alors à : L'augmentation des couts ainsi qu'à la forte utilisation mondiale de combustibles fossiles qui atteint ses limites, causant parallèlement de graves dommages environnementaux et donc un réchauffement climatique à l'échelle mondial.

Les énergies dites primaires tels que l'énergie marémotrice, solaire, hydraulique et éolienne sont parmi les nombreuses sources qui possèdent un gros avantage de ne pas nuire à l'environnement et donc à notre atmosphère grâce à l'absence de rejet de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone et oxyde d'azote). En ce moment l'énergie solaire est entrain de franchir un nouveau cap qui est celui d'énergie la plus répondeue après les énergies secondaires. Depuis des lustres, l'être humain utilise cette énergie visible le jour, fascinante et puissante à ces dépens pour différents usages. [1]

Aujourd'hui l'énergie solaire est utilisée sous différentes formes, thermique, thermodynamique et Photovoltaïque. Cette dernière est la plus répandue compte tenu de sa maturité acquise au fil des années, de sa demande constante et c'est à juste titre que nous nous intéressons aujourd'hui par le biais de notre Etude à son exploitation qui se fait en utilisant des panneaux photovoltaïques conçus pour la conversion de l'énergie solaire en électricité.

L'énergie solaire photovoltaïque convertit directement le rayonnement lumineux en électricité, au moyen des modules photovoltaïques composés de cellules solaires ou photopiles qui réalisent cette transformation d'énergie. Les systèmes photovoltaïques ne contiennent aucune pièce mobile. Ils sont fiables, requièrent peu d'entretien, sélénieux et ne produisent aucune émission de polluants. Avant chaque projet de réalisation photovoltaïque, le dimensionnement du système est nécessaire.

L'objectif de ce travail est de donner un aperçu sur la méthodologie de calcul et de dimensionnement d'une installation photovoltaïque en utilisant logiciel PVSYST.

Notre travail a été réparti en quatre chapitres :



- ❖ Dans le premier chapitre, nous avons parlé des énergies renouvelables tant au niveau mondial qu'au niveau national. Nous allons exposer des généralités sur les différents types des énergies renouvelables avec leurs principes de fonctionnement et les différentes techniques utilisées
- ❖ Le deuxième chapitre a été consacré dans sa première partie au système photovoltaïque , en définissant quelques notions sur l'énergie solaire, les différents types de rayonnements, Les cellules photovoltaïques qui forment le panneau photovoltaïque et les différents types de ce dernier, on a présenté des différentes méthodes de dimensionnement d'un système PV au deuxième partie.
- ❖ Au troisième chapitre-le contenu s'est porté sur le dimensionnement d'une installation photovoltaïque au Center de CFP A SAIEH MOHAMED (El Biodh wilaya de Naâma). Nous présentons le logiciel que nous avons utilisé comme PV SYST qui nous permet de déterminer le nombre de panneaux et nombres des Batteries ; Ensuite, on fera Une étude technico-économique

Enfin, nous terminons ce mémoire par une conclusion qui résume notre étude ainsi que les principaux résultats qui sont mentionnés.



Chapitre I

**Généralités sur les énergies
renouvelables**



Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables

I.1.Introduction

Une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future, C'est le cas de l'énergie du soleil, du vent, des cours d'eau, de la terre et généralement de la biomasse humide ou sèche, à l'échelle de la durée de vie de l'humanité. Ce n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires.

Avec l'épuisement progressif des énergies fossiles (pétrole, gaz naturel, houille, etc.), les énergies renouvelables (éolienne, hydraulique, géothermique, solaire, biomasse...) se développent de plus en plus. Elles ont le double avantage d'utiliser des flux inépuisables d'énergie naturelle (soleil, vent, eau, bois, etc.) et de ne pas, ou peu, nuire à l'environnement. Ce type d'énergie ne couvre encore que 20% de la consommation mondiale d'électricité. Nous notons que l'hydroélectricité existe depuis près d'un siècle et constitue environ 16 % de la production mondiale d'électricité et représente 92,5% de l'électricité issue des énergies renouvelables (biomasse 5,5%, géothermie 1,5%, éolien 0,5 % et le solaire 0,05 %). [1]

I.2. Définition de l'énergie

L'énergie est le moteur de tous les phénomènes naturels : la croissance des plantes, le vent, les courants des rivières, les vagues, la chute d'objets... En physique, on la définit comme la capacité d'un système à produire un travail. Elle se présente sous de multiples facettes (thermique, cinétique, électrique...), et l'une de ses propriétés majeures est de pouvoir être convertie d'une forme en une autre [2].

I.3. Energies dans le monde

Débutant avec la révolution industrielle, le taux de gaz carbonique dans l'atmosphère a commencé à s'accroître avec l'utilisation à grande échelle du pétrole comme source principale d'énergie. Au cours des dernières décennies, le rythme s'est accéléré avec l'industrialisation de nombreux pays. En effet, l'humanité consomme actuellement trente fois plus d'énergie qu'il y a un siècle [3].

Par ailleurs, l'utilisation de carburants d'origine fossile pose deux problèmes majeurs : celui du rejet de CO_2 dans l'atmosphère, qui est un gaz à effet de serre et celui du prélèvement de ressources non renouvelables, passible de l'épuisement. Ces deux problèmes représentent aujourd'hui des enjeux importants pour les gouvernements des pays industrialisés et pour des grands organismes internationaux.



I.4. Energies renouvelables [4]

Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humain [5]. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas nouvelle. Celles-ci sont exploitées par l'homme depuis la nuit des temps. Autrefois, moulins à eau, à vent, bois de feu, traction animale, bateaux à voile ont largement contribué au développement de l'humanité. Elles constituaient une activité économique à part entière, notamment en milieu rural ou elles étaient aussi importantes et aussi diversifiées que la production alimentaire. Mais dans les pays industrialisés, dès le XIX^{ème} siècle, elles furent progressivement marginalisées aux profits d'autres sources d'énergie que l'on pensait plus prometteuses. Dès lors, la pollution atmosphérique, le réchauffement climatique, les risques du nucléaire et les limites des ressources ont fait prendre conscience qu'un développement économique respectueux de l'environnement, dans lequel nous vivons, est nécessaire.

Les chocs pétroliers successifs depuis les années 70 ont démontré les risques économiques et géopolitiques de la production d'énergie reposant sur l'exploitation des ressources fossiles, dont les réserves sont mal réparties et épuisables. De plus, une grande partie du monde ne sera sans doute jamais raccordée aux réseaux électriques dont l'extension s'avère trop coûteuse pour les territoires isolés, peu peuplés ou difficiles à y accéder. Les énergies renouvelables constituent donc une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres :

- Elles sont généralement moins perturbatrices de l'environnement, elles n'émettent pas de gaz à effet de serre et ne produisent pas de déchets ;
- Elles sont inépuisables ;
- Elles autorisent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux ;

I.4.1. Historiques des énergies renouvelables [6]

Si le terme «énergie renouvelable » est relativement récent «apparition en 1970 », la totalité des énergies qu'existe depuis quasiment l'origine de la terre et leur utilisation par l'homme remonte à plusieurs centaines voire à plusieurs milliers d'années. La biomasse fut



utilisée notamment pour se chauffer, et développer l'industrie des métaux. L'énergie thermique solaire fut mobilisée pour sécher les aliments, les céréales ou le foin. Les sources géothermales furent à l'origine de nombreuses implantations humaines. L'énergie éolienne fut utilisée par les civilisations égyptienne et minoenne pour propulsion des navires ; L'énergie hydraulique fut utilisée en perse et dans l'empire romain il y a plus de deux millénaires

L'Europe du moyen âge redécouvrit les techniques et les utilisa à grande échelle (moulins à vent, moulins à marée, moulins hydrauliques) pour moulinier les céréales, pomper de l'eau, entrainer des martinets ou fabriquer du papier par exemple. Et avec le progrès des machines thermiques, les puissances croissantes demandées par les concentrations industrielles et les impératifs de productivités allaient rendre obsolètes ces générateurs mécaniques à faible puissance.

Les réflexions engagées dans les pays développés quelque année avant le premier choc pétrolier firent toutefois prendre conscience à l'opinion que l'accroissement exponentiel de la consommation d'énergie fossile risquait d'engendrer, dans l'échelle de temps d'une vie humaine, les pénuries d'approvisionnement et conduire à des situations environnementales irréversibles du fait de la saturation des mécanismes de restaurations des équilibres naturelles. C'est dans tel contexte que l'étude et le développement de convertisseurs susceptibles de capter le potentiel des énergies provenant directement ou indirectement de l'énergie solaire et géothermique furent lancés ou réactivés. On leur donna pour l'occasion le nom énergies renouvelables et on les présenta comme étant une alternative à la domination hégémonique des sources fossiles dans le bilan énergétique mondial.

I.4.2. Avantages des énergies renouvelables

1.4.2.1. Sur le plan environnemental :

Les énergies renouvelables :

- Contribuent à la réduction des émissions des gaz à effet de serre.
- Réduisent la pollution de l'air, de l'eau, du sol et de la biosphère (pas d'émission de gaz de combustion, CO₂, SO₂, NO_x,...).
- Ne nécessitent pas d'extraction ni de transport de combustibles et limitent ainsi les risques d'accident (marées noires, explosions ...),
- Ne génèrent pas de déchets dangereux,



- Préservent les stocks de ressources naturelles et énergétiques.

Cependant elles peuvent avoir des impacts environnementaux locaux spécifiques à chaque installation (occupation du sol, paysage, bruit, modification de l'écosystème).

Dans la plupart des cas cependant, une évaluation des incidences environnementales locales permet de mettre en œuvre des solutions adaptées aux particularités locales.

Dans les conditions actuelles, le prix de revient des énergies renouvelables peut cependant être plus élevé que celui des énergies fossiles.

Ainsi, les mécanismes de soutien financier aux énergies renouvelables sont un juste rééquilibrage économique dans un marché libéralisé qui n'intègre ni les externalités de la production énergétique classique, c'est-à-dire le coût des effets sur l'environnement et la santé (gaz à effet de serre, marées noires, déchets dangereux), ni les aides indirectes accordées au secteur de l'énergie (recherche et développement, infrastructures, remise en état de sites), ni les bénéfices pour la société liés au développement des énergies renouvelables (indépendance énergétique, renforcement économique local, emplois).

I.5. Différents types d'énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont des énergies qui peuvent être régénérées naturellement. Il y a cinq familles principales d'énergies renouvelables. Dans l'ordre d'importance de leur exploitation actuelle, ce sont :

- L'énergie solaire
- L'énergie éolienne
- L'énergie hydraulique (hydroélectricité)
- La biomasse (avec le bois de chauffage, ainsi que biogaz...)
- La géothermie. [8]

1.5.1. L'énergie solaire

Le soleil bien que distant de 150 millions de kilomètres de notre planète est assurément notre plus grande source d'énergie les réactions nucléaires qui ont lieu dans le soleil entretiennent et renouvellent en permanence cette source d'énergie. Bien sur l'énergie reçue est variable selon les moments. Les nuits, les passages nuageux sont autant de moments où l'énergie solaire est inexistante, ou moindre. En moyenne, la puissance reçue annuellement à la surface du globe peut aller de 85 à 290 w/m². Elle varie donc de 01 à 03 entre les régions les moins ensoleillées et les plus ensoleillées. Cet écart est important mais pas considérable : aucune région du globe n'est dépourvue d'énergie solaire.



L'énergie solaire peut, ou bien être convertie en chaleur, ou bien convertie en électricité. L'exploitation de cette énergie peut se faire de manière thermique, thermodynamique ou photovoltaïque.

1.5.1.1. L'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque convertit directement le rayonnement lumineux (solaire ou autre) en électricité. Elle utilise pour ce faire des modules photovoltaïques composés de cellules solaires ou de photopiles qui réalisent cette transformation d'énergie.



Figure I.1. Module photovoltaïque.

1.5.1.2. L'énergie solaire thermique

Elle est radicalement différente de l'énergie solaire photovoltaïque, elle, produit de la chaleur à partir du rayonnement solaire infrarouge afin de chauffer de l'eau ou de l'air. On utilise dans ce cas des capteurs thermiques qui relèvent d'une toute autre technologie. Dans le langage courant, ce sont des « chauffe-eau solaires » ou des « capteurs à air chaud ».

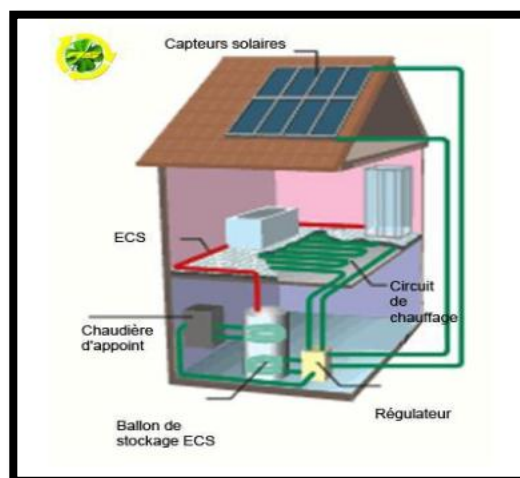


Figure I.2. Chauffe-eau solaire.



1.5.1.3. L'énergie solaire thermodynamique

Il y a aussi ce qu'on appelle l'énergie solaire thermodynamique, qui fonctionne sur le principe de concentration des rayons solaires au moyen des miroirs galbés, en un foyer placé sur une tour qui emmagasine les calories pour les restituer ensuite sous forme mécanique à l'aide d'une turbine à vapeur par exemple.



Figure I.3. Tour solaire.

✓ Avantages et les inconvénients de l'énergie solaire

- Avantages :

- Énergie disponible partout à la surface de notre planète.
- Les panneaux photovoltaïques s'intègrent particulièrement bien aux toitures.
- Les capteurs solaires thermiques peuvent être intégrés aux toitures ou aux façades.



- Inconvénients :

- Énergie renouvelable qui demande une technologie très avancée pour le stockage.
- Panneaux photovoltaïques encore très chers.
- Le niveau de production maximal dépend de la surface de capteur exposée au soleil.
- Énergie renouvelable toujours dépendante de la saison et du lieu où l'on se trouve.



1.5.2. L'énergie éolienne :

C'est une énergie produite par le vent au moyen d'un dispositif aérogénérateur ou un moulin à vent.



Figure I.4. Éolienne.

Le système de conversion éolienne est principalement constitué par :

- Une turbine éolienne avec ses annexes mécaniques dont le rôle est de convertir une partie de l'énergie du vent en énergie mécanique.
- Un générateur électrique qui transforme une partie de l'énergie mécanique disponible sur l'arbre en énergie électrique.
- Une charge électrique qui peut être statique ou dynamique, ou un réseau de distribution d'énergie électrique
- Une interface d'électronique de puissance, qui est en général placé entre le générateur et la charge, qui adapte la forme de l'énergie électrique fournie par le générateur à ce qui exige la charge.
- Un système de commande et de régulation qui assure la conversion optimale en régime stationnaire, et éventuellement en régime dynamique [9].

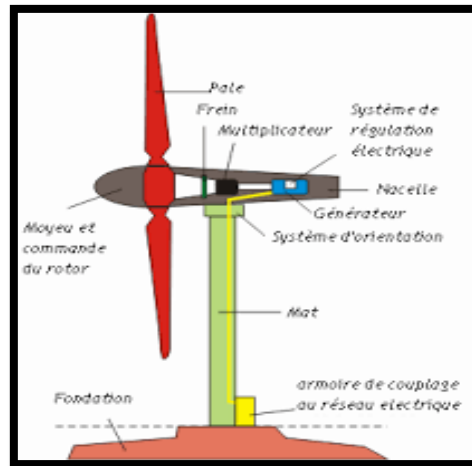


Figure I.5. Schéma des différents éléments de l'éolien.

✓ Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne

- Avantages :

- L'énergie éolienne, propre, fiable, économique, et écologique, c'est une énergie qui respecte l'environnement [10].
- L'énergie éolienne est une énergie renouvelable propre, gratuit, et inépuisable.
- Chaque mégawatheure d'électricité produit par l'énergie éolienne aide à réduire de 0,8 à 0,9 tonne les émissions de CO₂ rejetées chaque année par la production d'électricité d'origine thermique [11].
- Parmi toutes les sources de production d'électricité, celle d'origine éolienne subit de très loin le plus fort taux de croissance [12].
- La durée de vie des éoliennes modernes est maintenant de 20 à 25 ans, ce qui est comparable à de nombreuses autres technologies de production d'énergie conventionnelles [13].

- Inconvénients :

- Le vent peut parfois souffler à des intensités irrégulières.
- Les éoliennes sont parfois bruyantes et modifient le paysage d'une région.
- La production dépend de l'intensité des vents et non de la demande en énergie [14]

1.5.3. La géothermie

Dans le contexte des sciences pour l'ingénieur, le terme de « géothermie » regroupe des moyens de capter l'énergie thermique de l'intérieur du globe terrestre et de l'utiliser comme source de chaleur ou de la convertir en électricité par des turbines et générateurs électriques. Pour capter l'énergie géothermique, un fluide est mis en circulation dans les profondeurs de la



terre. Ce fluide peut être celui d'une nappe captive naturelle, de l'eau injectée dans une roche chaude imperméable ou dans des puits spéciaux. Dans tous les cas, le fluide se réchauffe et remonte avec une température supérieure [15].

Le principe consiste à extraire l'énergie géothermique contenue dans le sol. La plus grande partie de la chaleur de la terre est produite par la radioactivité naturelle des roches qui constituent la croûte terrestre.

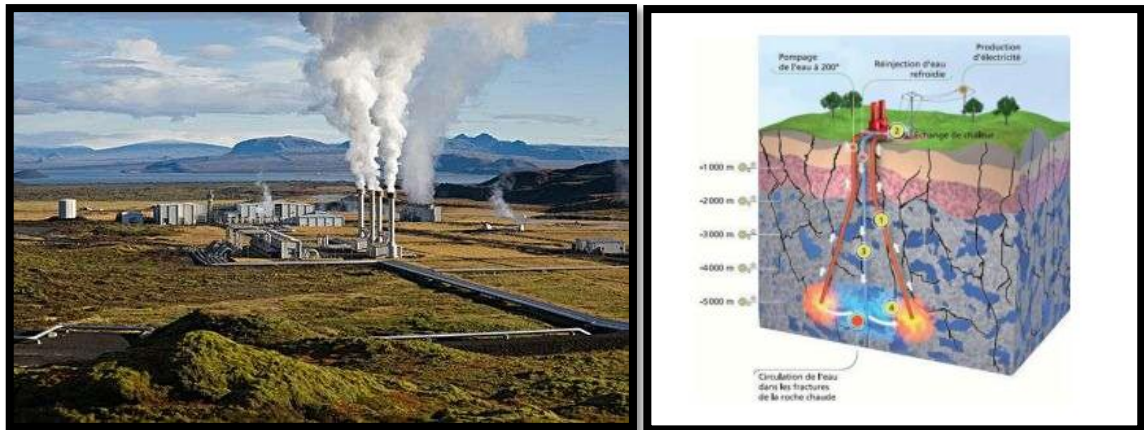


Figure I.6. Centrale géothermique.

✓ Avantages et inconvénients de l'énergie géothermique

- Avantages :

- La géothermie n'est pas dépendante des conditions atmosphériques
- Le système tire gratuitement du sol près des deux tiers des besoins en chauffage d'une maison ce qui permet de réduire l'utilisation d'énergies fossiles.
- Le coût d'entretien des systèmes géothermiques est généralement moins élevé que les systèmes de chauffage classique.
- La durée de vie prévue de la thermopompe d'un système géothermique est d'environ 18 à 20 ans, à peu près la même que celle d'un appareil de chauffage classique. Et 50 à 75 pour la boucle souterraine. Même si la thermopompe doit être remplacée au bout de 20 ans, la boucle souterraine pourra servir beaucoup plus longtemps.
- Tant que la quantité d'énergie captée n'est pas supérieure à la chaleur provenant du centre de la Terre, la ressource est inépuisable.
- Cette énergie ne produit aucun déchet.



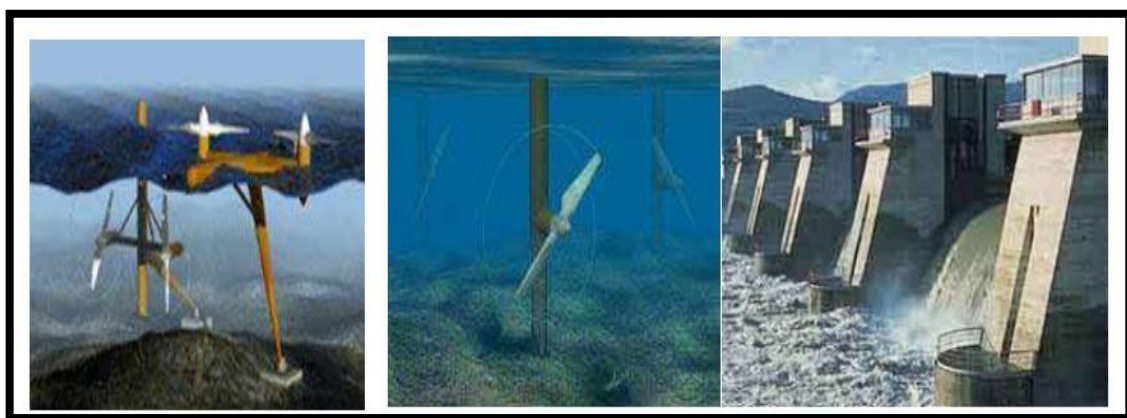
- **Inconvénients :**

- Les systèmes géothermiques utilisent une source d'énergie renouvelable, mais doivent faire appel à une source électrique pour fonctionner qui elle n'est pas toujours renouvelable
- L'achat d'un tel système demande un investissement initial assez important. Il est souvent le double d'une installation utilisant une énergie classique.

I.5.4. Hydraulique

L'énergie hydraulique fonctionne un peu comme l'énergie éolienne : le mouvement de l'eau fait tourner une turbine qui produit de l'électricité. Plus l'eau coule vite, plus l'énergie produite est importante. En effet, la quantité d'énergie produite dépend de la pression et du volume d'eau à disposition. La pression est elle-même liée à la différence de hauteur entre la surface du lac et la position de la turbine. Ce mode de production d'électricité est l'un des plus propres et des plus efficaces (pas de déchets ni de CO₂) [16].

De toute manière, l'énergie hydraulique (comme c'est le cas pour beaucoup d'énergies renouvelables) est coûteuse en investissement et assez peu en fonctionnement et en maintenance. Inversement, ce gros investissement hydraulique a souvent la chance de pouvoir être amorti sur une très longue durée de vie. Une fois l'investissement initial amorti sur une période de quinze à trente ans, le coût de l'électricité produite n'est plus que de 2 centimes d'euro/kWh, correspondant aux dépenses d'exploitation et d'entretien_ maintenance, qui reste réduites, même dans le cas d'une très longue utilisation. La grande hydraulique est donc une énergie très rentable, dans beaucoup de sites. La petite hydraulique peut aussi être rentable, puisque son coût total (amortissement compris) varie de 2 à 5 centimes d'euro/kWh.



Marémotrice

Hydrolienne

Barrage

Figure I.7. Différent types de l'hydraulique.



✓ Avantages et les inconvénients de l'énergie hydraulique

- Avantages :

Tant que le cours d'eau n'est pas à sec, l'énergie est disponible. C'est donc une source d'énergie assez disponible (sauf en cas de sécheresse persistante).

- Inconvénients :

- Les plus gros barrages peuvent noyer des surfaces très importantes, pouvant comprendre des zones.
- Les barrages peuvent s'envaser car ils réduisent l'écoulement de l'eau mais aussi de tous les éléments charriés par les cours d'eau.
- Le lâché d'eau (et plus exceptionnellement la rupture d'un barrage) peuvent provoquer des dégâts considérables en aval du barrage.

I.5.5. La biomasse

La biomasse représente l'ensemble de la matière organique, qu'elle soit d'origine végétale ou animale. Elle peut être issue de forêts, milieux marins et aquatiques, haies, parcs et jardins, industries générant des co-produits, des déchets organiques ou des effluents d'élevage.

Elle est la source d'énergie principale pour cuisiner et se chauffer. Cette biomasse qui comprend tous les produits obtenus à partir de plantes ou de résidus de plantes, secs ou déshydratés comme le bois, la paille, les grignons d'olives, la bagasse de la canne à sucre, est exploitée par combustion ou métabolisation. Mais pour être une réelle énergie renouvelable, les quantités brûlées ne doivent pas excéder les quantités produites. En fonction des besoins, elle permet une production de chaleur ou d'électricité. De ce fait, sa participation à la production d'énergie mondiale est énorme par rapport aux autres énergies [17].

La biomasse peut être utilisée principalement de deux manières :

- Lors de la fermentation des déchets, le gaz méthane peut être capté et utilisé comme source d'énergie,
- La biomasse elle-même peut être incinérée.

Dans tous les deux cas, l'énergie thermique peut être utilisée pour produire de l'électricité dans des centrales thermiques.

L'intérêt est que le dioxyde de carbone rejeté dans l'atmosphère lors de l'incinération de la biomasse ou le méthane est compensé par celui absorbé par la repousse des plantes qui, entre autre, sont la source principale de biomasse. De cette manière, le bilan carbone peut être proche de zéro [15].

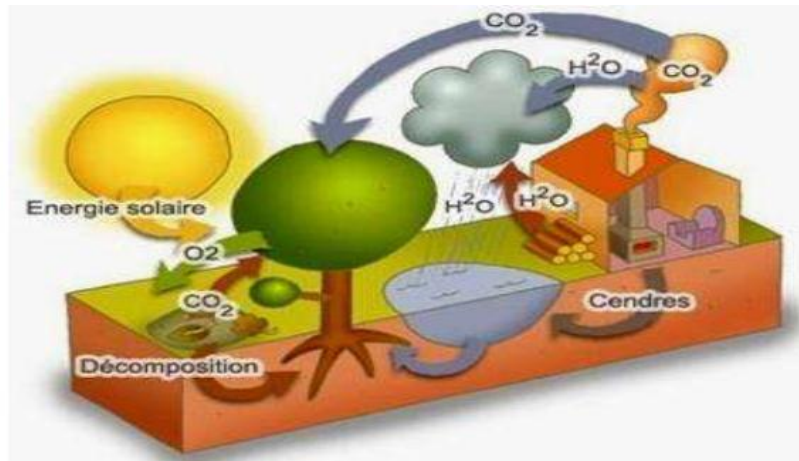


Figure I.8.Énergie Biomasse.

✓ Avantages et les inconvénients de la biomasse

- Avantages :

- Large disponibilité de la ressource sur la terre, sauf dans les régions les plus arides où le bois est rare.
- Faibles émissions polluantes et pas de contribution à l'effet de serre.
- Le prix du bois de chauffage ne suit pas le cours du pétrole.

- Inconvénients :

- C'est une source d'énergie peu dense. Pour se chauffer durant un hiver, il faudra un grand volume de bois, ce qui nécessitera beaucoup de transport, de manutention et un vaste espace de stockage.
- L'exploitation des bois et forêts doit s'accompagner d'une nouvelle plantation. Dans le cas contraire, on dégrade l'écosystème et on détériore la ressource.

I.6. Les énergies renouvelables en Algérie [18]

Ces dernières années, l'Algérie a amorcé une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables. Cette vision s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. Le programme consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de près de 22000 MW entre 2011 et 2030 dont 12000 MW seront dédiés à couvrir la demande nationale en électricité et 10000 MW à l'exportation. L'exportation de l'électricité est toutefois conditionnée par l'existence d'une garantie d'achat à long terme, de partenaires fiables et de financements extérieurs.

Le potentiel national en énergies renouvelables étant fortement dominé par le solaire,



l'Algérie considère cette énergie comme une opportunité et un levier de développement économique et social, notamment à travers l'implantation d'industries créatrices de richesse et d'emplois. Comparativement, les potentiels en éolien, en biomasse, en géothermie et en hydroélectricité sont beaucoup moins importants. Cela n'exclut pas pour autant le lancement de nombreux projets de réalisation de fermes éoliennes et la mise en œuvre de projets expérimentaux en biomasse et en géothermie.

L'Algérie s'engage avec détermination sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions globales et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile.

Ce choix stratégique est motivé par l'immense potentiel en énergie solaire. Cette énergie constitue l'axe majeur du programme qui consacre au solaire thermique et au solaire photovoltaïque une part essentielle. Le solaire devrait atteindre d'ici 2030 plus de 37% de la production nationale d'électricité. Malgré un potentiel assez faible, le programme n'exclut pas l'éolien qui constitue le second axe de développement et dont la part devrait avoisiner les 3% de la production d'électricité en 2030.

L'Algérie prévoit également l'installation de quelques unités de taille expérimentale afin de tester les différentes technologies en matière de biomasse, de géothermie et de dessalement des eaux saumâtres par les différentes filières d'énergie renouvelable.

I.7. Potentiel d'énergie solaire en Algérie [18]

De par sa situation géographique l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les **2000 heures** annuellement et peut atteindre les **3900 heures** (hauts plateaux et Sahara) L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national soit près de **1700KWh/m/an** au Nord et **2263 kWh/m/an** au Sud du pays.

La distribution de l'énergie reçue en Algérie, en moyenne annuelle, est donnée par la figure ci-dessous. Elle présente les différents niveaux énergétiques qui donnent ainsi un découpage du pays en régions isoénergétiques.

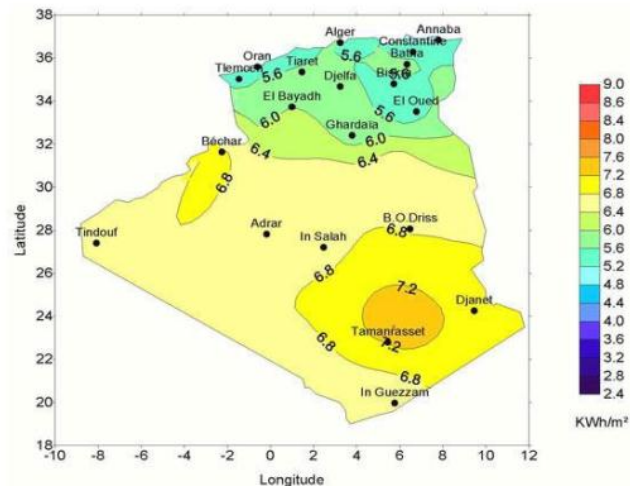


Figure I.9. Moyenne annuelle de l'énergie reçue en Algérie.

Le programme national de développement des énergies renouvelables (EnR), adopté en 2011 puis révisé en 2015, ambitionne d'atteindre, à l'horizon 2030, une puissance totale de 22000 Mégawatts (MW) dédiés à la seule consommation locale. Il prévoit, pour cela, de mettre en œuvre un large éventail de filières technologiques où le photovoltaïque (PV) et l'éolien se taillent la part du lion avec respectivement 13575 MW et 5010 MW, le reste étant réparti entre le thermo-solaire (CSP), la biomasse, la cogénération et la géothermie. Le nombre de ces filières répond au souci de ne ménager aucun moyen ni effort pour produire le maximum d'électricité renouvelable en vue de compenser au mieux le déficit en énergie fossile qui s'annonce. L'électricité étant l'unique produit que chacune d'elles génère, elles peuvent par conséquent se trouver en compétition l'une contre l'autre au lieu de se compléter. Surtout lorsque deux ou plusieurs d'entre-elles sont respectivement alimentées par deux ou plusieurs champs énergétiques superposés dans la même zone. Dans ce cas, elles ne pourront pas normalement coexister car un choix économique s'imposera pour sélectionner la plus rentable.

C'est ce qui peut se produire avec les deux principales filières du programme national de développement des EnR en gardant à l'esprit que le même raisonnement peut s'étendre aux autres filières.



I.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une description générale sur les différents moyens de production d'énergie électrique d'origine renouvelables.

L'énergie solaire constitue une solution fiable pour une alternance énergétique. Les différentes améliorations des technologies font croître le rendement des modules photovoltaïques. Les systèmes photovoltaïques sont dimensionnés pour répondre avec une certaine fiabilité aux besoins de la charge, leur principe de fonctionnement et les méthodes de dimensionnement seront présentées au chapitre II.



Chapitre II

**Systemes Photovoltaïques et
méthodes de
dimensionnement**



Chapitre II : Systèmes Photovoltaïques et méthodes de dimensionnement

II.1. Introduction

L'utilisation des sources d'énergie renouvelables offre une gamme d'options d'approvisionnement énergétique durable à long terme, avec des émissions des gaz à effet de serre (carbone, méthane) faibles ou nulles. Ces gaz provoquent des changements climatiques et contribuent au réchauffement planétaire [19]. L'utilisation de ces énergies afin de produire l'électricité peut réduire d'une façon considérable le changement climatique [19].

Les systèmes photovoltaïques, l'une des sources d'énergie renouvelable les plus prometteuses, sont largement utilisés dans différentes applications et à différents niveaux de puissance [19-22].

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique aux moyens des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancées sur le plan technologiques et industriel. Leur association en série/parallèle donne lieu à un module ou panneau photovoltaïque

Dans ce chapitre on présente les différents types des systèmes photovoltaïques, ainsi qu'une classification basée sur l'architecture du système et la disposition des différents éléments de la chaîne de conversion photovoltaïque.

II.2. Energie solaire photovoltaïque

II.2.1. Historique

Au niveau mondial, le marché des systèmes photovoltaïques connaît, depuis les dernières décennies, un taux de croissance très élevé, de l'ordre de 30 à 40% par an [23]. Cette croissance actuelle est due principalement aux importantes innovations technologiques et une baisse de coût des modules photovoltaïques mais aussi à des efforts importants de la recherche et du développement dans le domaine de l'électronique de puissance. Le mot « photovoltaïque » Historiquement vient du grec « photos » signifiant lumière et de « Volta » du nom du physicien italien qui, en 1800, découvrit la pile électrique [24] et [25]. Voir figure II.1.

En 1839 le français Antoine Edmond Becquerel fut le premier à mettre en évidence cette conversion particulière d'énergie. Mais, il a fallu des années pour que la transformation de l'énergie solaire en énergie électrique se concrétise, cela était en 1930 avec le développement des cellules à oxyde cuivreux puis au sélénium. Mais ce n'est qu'en 1954 avec la réalisation des premières cellules PV au sélénium dans les laboratoires de la compagnie Bell Téléphone,



que l'on entrevoit la possibilité de fournir de l'énergie. Très rapidement utilisées pour l'alimentation des véhicules spatiaux, leur développement et de rapides progrès ont été motivés par la conquête de l'espace [24] et [26].

Les premiers générateurs ont été utilisés en 1958 pour les satellites Vanguard en Floride. Au cours des années 1980, la technologie PV terrestre a progressé régulièrement par la mise en place de plusieurs centrales de quelques mégawatts. Les premières installations ont été conçues pour sites isolés, principalement dans les pays en voie de développement. Par la suite, la technologie est même devenue familière à travers de nombreux produits de faible puissance comme les montres, les calculatrices et les réfrigérateurs solaires [27]. Cependant la conception moderne de systèmes PV nécessite la connaissance du rayonnement solaire utile sur le site d'installation, dans le plan des panneaux solaires. C'est l'un des paramètres essentiels pour la conception des installations photovoltaïques.

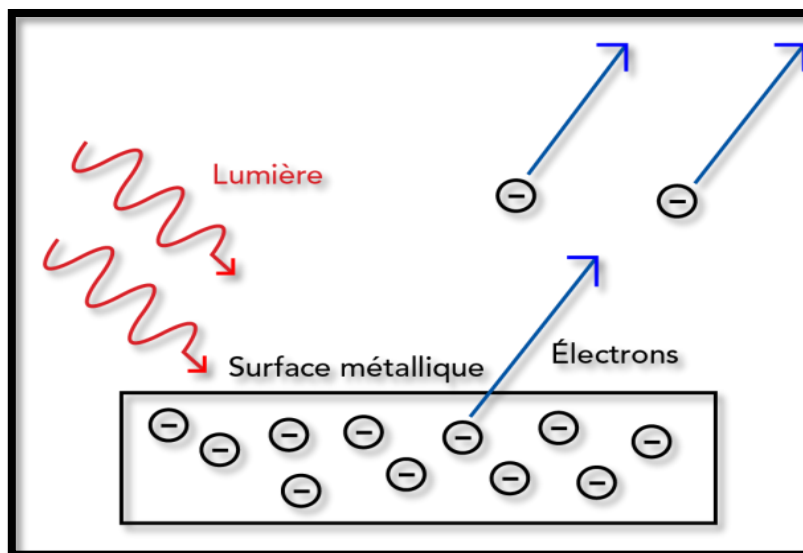


Figure II.1. Effet photo-électrique.

II.3. Aperçu sur le rayonnement solaire

Le rayonnement est l'énergie transportée par des ondes électromagnétiques. La surface du soleil qui nous envoie le rayonnement est appelée la photosphère et se trouve à une température de 5777 K° . L'énorme quantité d'énergie émise par le soleil trouve sa source dans les réactions nucléaires qui y ont lieu. Le rayonnement émis par le soleil se rapproche fort de celui d'un corps noir à la température de 5777 K° [28]. Le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la mieux partagée et la plus abondante sur terre. Le rayonnement émis en direction de la terre est intercepté par son atmosphère, ou une quantité est absorbée, une autre



est réfléctée dans l'espace, et une partie la traverse. Passant par l'atmosphère, le faisceau solaire subit une atténuation et une modification de son spectre, à la suite de phénomènes complexes d'absorption, diffusion et de dispersion par les gaz, les aérosols, les poussières et les gouttelettes d'eau en suspension dans les nuages etc. De ce fait le rayonnement solaire atteint le sol sous différentes formes à savoir le rayonnement dispersé atteignant la surface de la terre désignée sous le nom du rayonnement diffus, le rayonnement direct provenant directement du disque solaire sans subir de modifications et également le rayonnement réflécté par la terre à différentes longueurs d'onde dues à la température de sa surface (voir figure II.2). La quantité d'énergie transportée par le rayonnement solaire à la surface terrestre dépend de certaines considérations géométriques dues au mouvement apparent du soleil et aux mouvements de la terre. En dehors de l'atmosphère d'autres facteurs majeurs agissent sur le rayonnement solaire reçu à la surface de la terre. En effet la rotation et l'inclinaison de la terre font que l'énergie disponible en un point donné à sa surface varie selon la latitude, l'heure et la saison. Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes météorologiques causent des variations horaires et quotidiennes qui tantôt augmentent, tantôt diminuent le rayonnement solaire diffus [28] et [29]

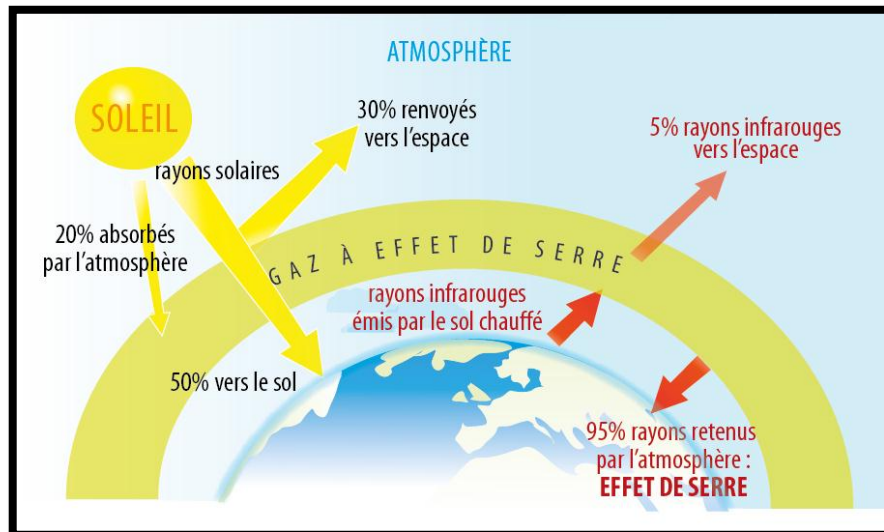


Figure II.2. Schéma explicatif de l'effet de serre



II.4. Principe de fonctionnement d'un générateur photovoltaïque

II.4.1 Panneau photovoltaïque

Un panneau photovoltaïque est un assemblage de cellules photovoltaïques. Voir figure II.3.

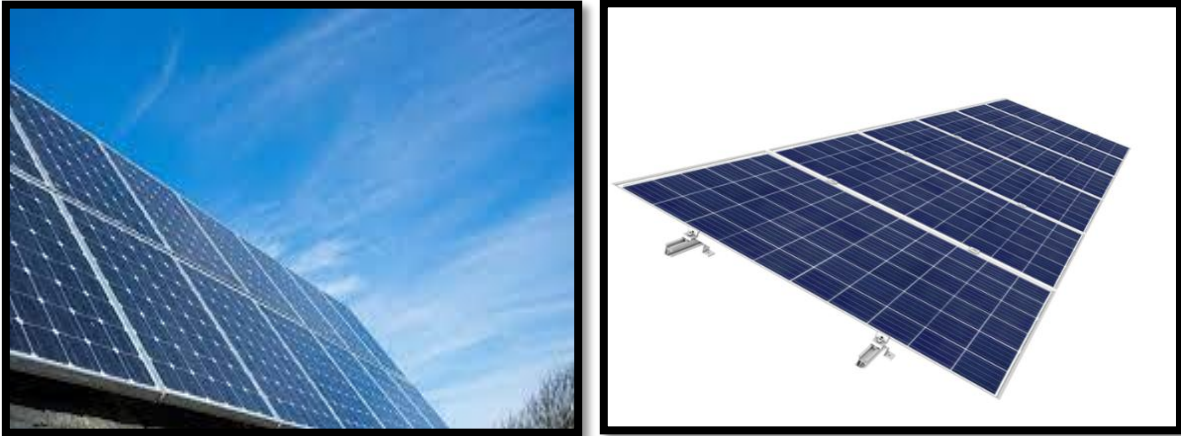


Figure II.3. Panneaux solaires.

La cellule solaire photovoltaïque (PV) est l'élément fondamental qui convertit les rayons solaires en énergie électrique dans un système photovoltaïque. Elle est composée d'une jonction PN d'un matériau semi-conducteur (généralement du silicium).

Un module PV (ou panneau PV), est formé par l'assemblage d'un certain nombre de cellules PV connectées en série/parallèle pour fournir une tension et un courant désirés. Donc le générateur PV se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composant qui adapte l'électricité produite par les modules en fonction des contraintes de la charge à alimenter. Voir figure II.4.

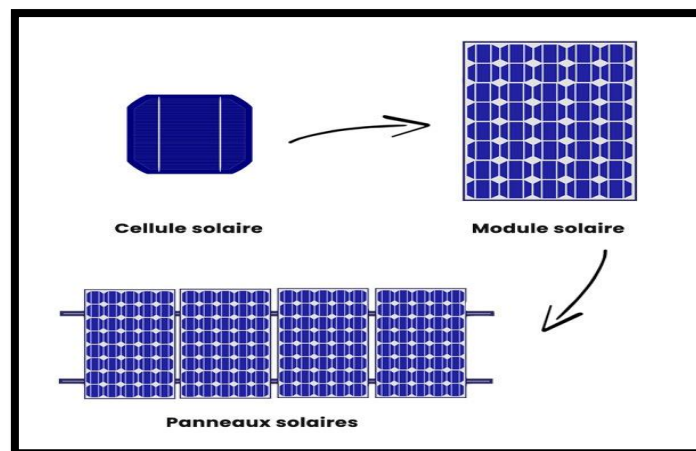


Figure II.4. Composantes d'un champ de modules photovoltaïques.



Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. La caractéristique d'un groupement de **ns** cellules PV identiques est présentée sur la Figure II.5.

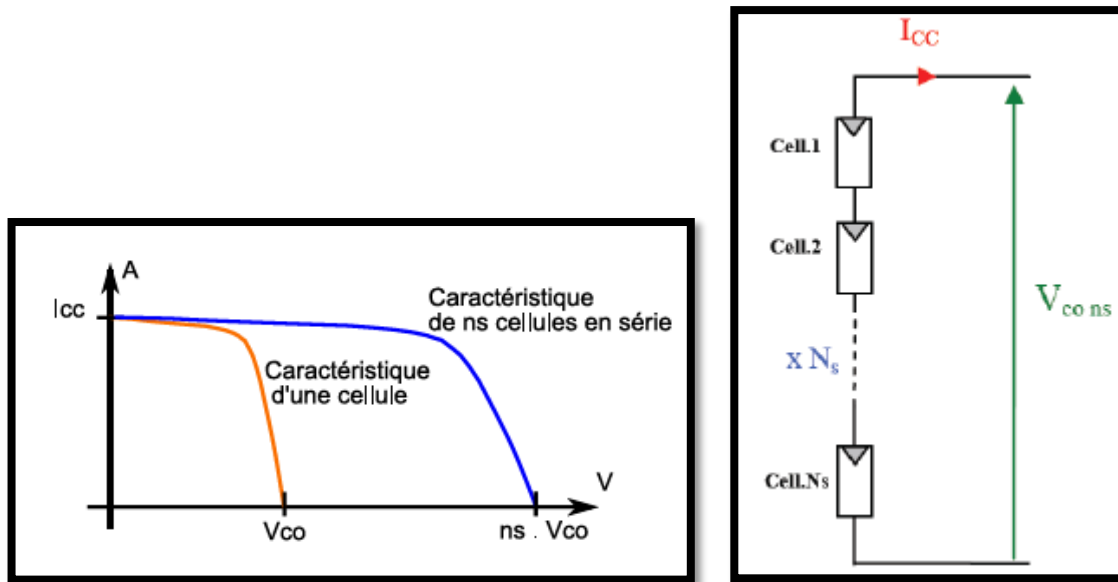


Figure II.5. Caractéristique d'un groupement en série de **ns** cellules identiques [PRO]

Dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. La caractéristique résultante d'une mise en parallèle de **np** cellules PV identiques est présentée sur la Figure II.6.

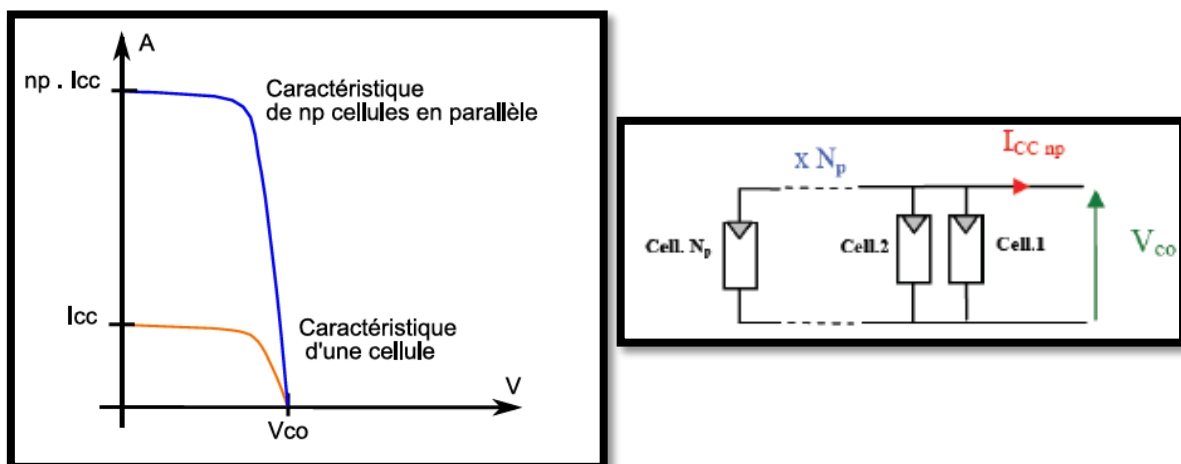


Figure II.6. Caractéristique d'un groupement constitué de **np** cellules identiques en parallèle [PRO]



Pour obtenir la tension et le courant (puissance) souhaités, les cellules PV doivent être connectés en série-parallel.

Le fonctionnement de la cellule PV est basé sur un phénomène physique appelé l'effet photovoltaïque. La Figure II.7 illustre la coupe d'une cellule PV.

La réalisation d'une cellule PV est comparable à une diode classique. La cellule est composée de deux couches différentes. La couche supérieure est dopée N et la couche inférieure est dopée P créant ainsi une jonction PN. Cette jonction PN crée une barrière de potentiel. Lorsque les grains de lumière (les photons) heurtent la surface de ce matériau, ils transfèrent leur énergie aux atomes de la matière. Ce gain d'énergie libère des électrons de ces atomes, créant des trous et des électrons. Ceci engendre donc une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel crée un champ qui draine les porteurs libres vers les contacts métalliques des régions P et N. Il en résulte alors un courant électrique et une différence de potentiel dans la cellule PV.

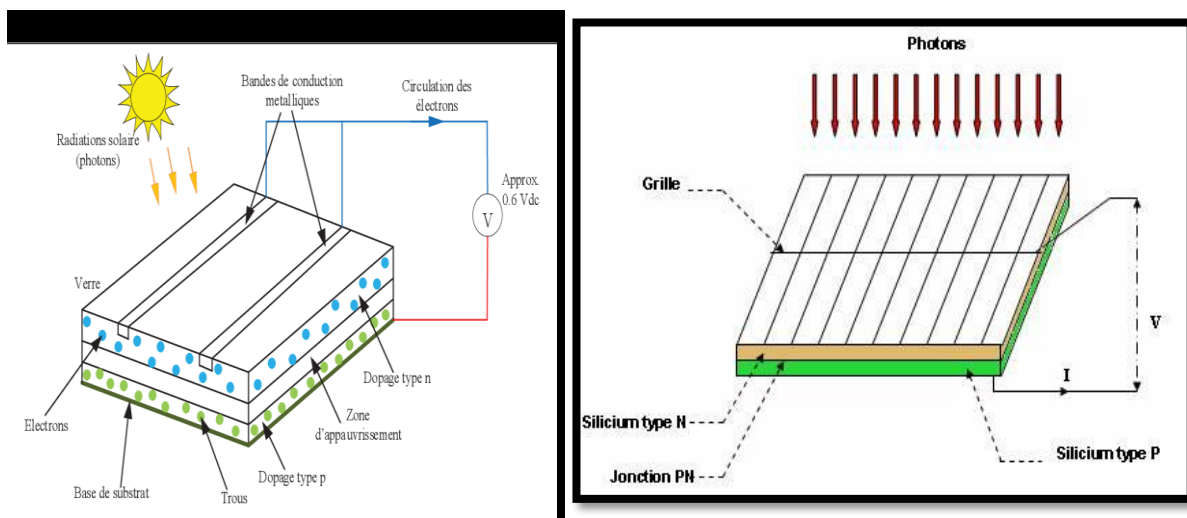


Figure II.7. Coupe transversale d'une cellule PV.

Dans le cas idéal, une cellule PV peut être modélisée par un générateur de courant en parallèle avec une diode. Dans cette configuration, le courant injecté par la source est représentatif de l'ensoleillement énergétique (appelé aussi irradiance) et de la surface de la cellule PV. La caractéristique courant-tension $I(V)$ de la diode est non linéaire et rend compte, assez fidèlement du comportement $I(V)$ des cellules.

Un modèle plus fin ajoute deux résistances. L'une en série (R_s) et l'autre en parallèle (R_{sh}). La résistance R_s caractérise les chutes de tension dues aux contacts de connexion entre les



différentes cellules tandis que la résistance R_{sh} caractérise le courant de fuite dans la diode [19-20]. Le modèle électrique équivalent d'une cellule PV est donné à la Figure II.8.

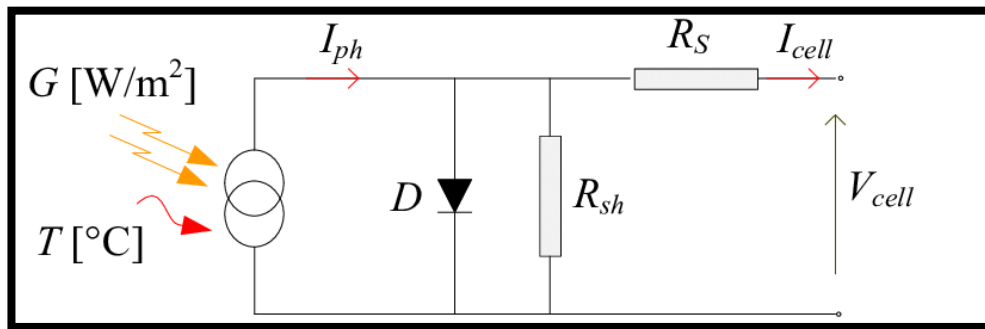


Figure II.8. Schéma équivalent d'une cellule PV.

Le modèle mathématique qui régit le schéma de la Figure I.8 est représenté par l'équation I.1. [19-20].

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left[e^{\frac{q(V_{pv} + R_s I_{pv})}{nKT}} - 1 \right] - \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_{sh}} \quad (\text{II.1})$$

Avec :

I_{ph} : photo-courant [A]

I_{pv} : courant débité par la cellule [A]

V_{pv} : tension générée par la cellule [V]

I_s : courant de saturation de la diode [A]

T : température de la cellule [K]

n : facteur d'idéalité de la cellule (n compris entre 1 et 2)

K : constante de Boltzmann, $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ [J/K]

Q : charge d'un électron, $Q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ [C]

II.4.2. Caractéristiques d'un GPV

La figure II.9 montre les caractéristiques courant-tension $I_{pv}(V_{pv})$ et puissance-tension $P_{pv}(V_{pv})$ d'un générateur photovoltaïque pour une température et un niveau d'ensoleillement donnés.

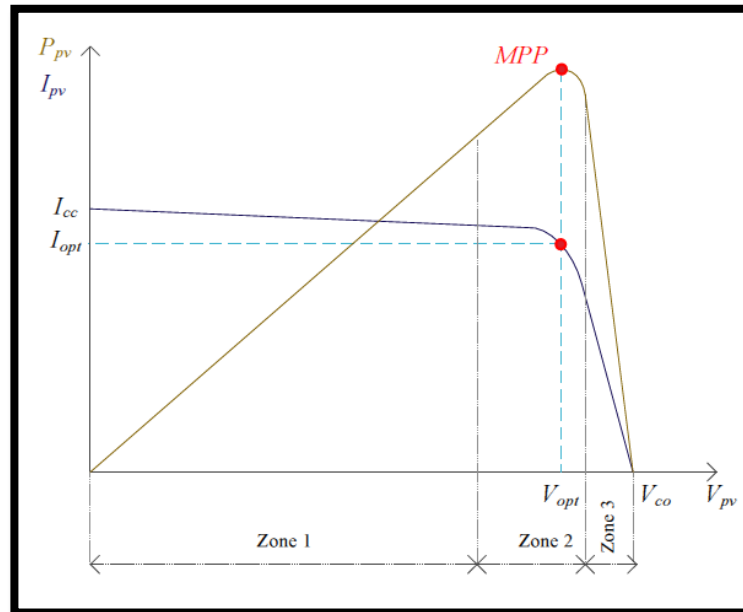


Figure II.9. Caractéristiques $I_{pv}(V_{pv})$ et $P_{pv}(V_{pv})$ d'un générateur PV pour une température et un niveau d'ensoleillement donnés.

Nous pouvons décomposer la figure II.9 suivant l'axe de la tension photovoltaïque V_{pv} en trois zones.

- **Zone 1** : elle est assimilable à un générateur de courant I_{cc} proportionnel à l'irradiation. Le fonctionnement de la cellule dans cette zone donne des puissances faibles, des courants élevés et des tensions faibles.
- **Zone 3** : elle est assimilable à un générateur de tension V_{co} , le fonctionnement de la cellule dans cette zone donne des puissances faibles, des courants faibles et des tensions élevées.
- **Zone 2** : elle correspond au coude de cette caractéristique, le fonctionnement du générateur dans cette zone donne des puissances élevées à valeurs de courant et tension modérées. Un point optimal de puissance "MPP" (*maximum power point*) peut être identifié au point (I_{opt}, V_{opt}) . Par conséquent, ce point de fonctionnement permet d'exploiter au mieux le gisement solaire.

II.4.3. Influence de la température et de l'éclairement

Les caractéristiques tension-courant et puissance-tension varient sensiblement avec la température et sous divers éclaircissements. L'augmentation d'ensoleillement à température fixe, se traduit respectivement par une augmentation de courant photovoltaïque et de la puissance produite, figure I.10 (a) et (b). L'accroissement du courant de court-circuit I_{cc} est beaucoup plus important que celui de la tension à circuit ouvert V_{co} . Par ailleurs, une augmentation de la



température à éclairage fixe, engendre une diminution de la tension de circuit ouvert de l'ordre de 2 à 2.5 $mV/^\circ C$ pour une cellule cristalline [30-31], ainsi qu'une légère augmentation de courant, figure II.10 (c) et (d).

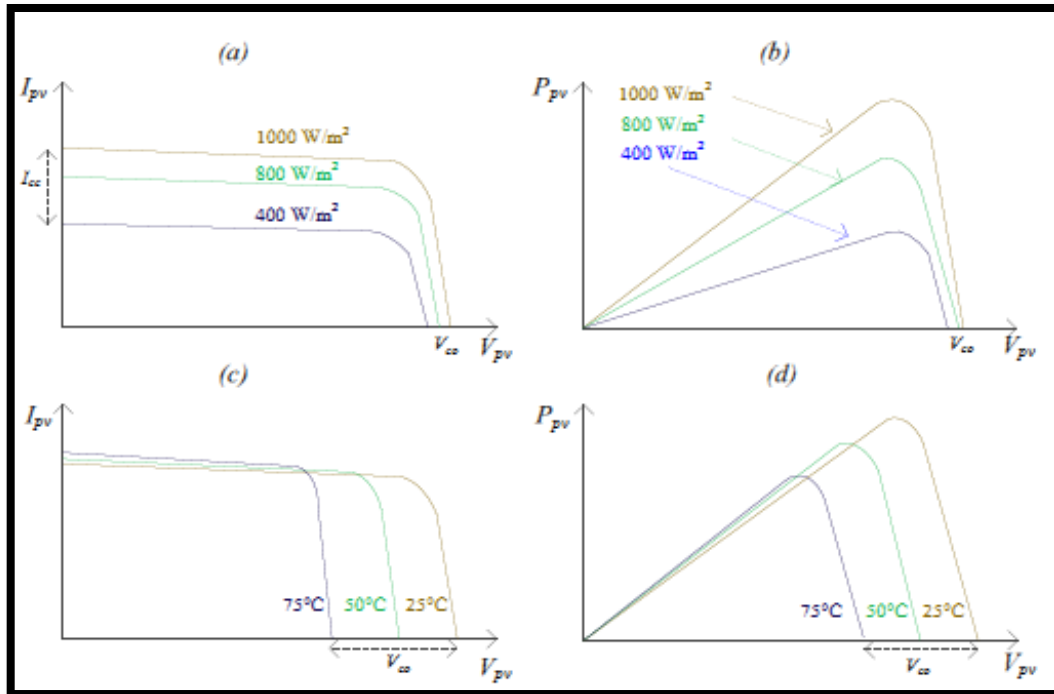


Figure II.10. Comportement des caractéristiques $I_{pv}(V_{pv})$ et $P_{pv}(V_{pv})$ sous l'influence de; ((a)et (b)) : l'éclairement à température fixe, ((c) et (d)) : la température à éclairage fixe.

En se référant à la figure II.10, il est évident qu'une hausse de l'éclairement et une baisse de la température favorisent l'exploitation des champs photovoltaïques. Cependant, ces deux conditions ne sont que rarement vérifiées simultanément dans l'année. En outre, sachant que l'éclairement est le paramètre prépondérant pour fonctionner en plein régime; le peu de retour d'expérience, nous informe que le rendement d'une installation solaire même au Sahara n'est pas aussi élevé qu'attendu.

II.5. Cellule PV

Les cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet photovoltaïque », a été découverte par E. Becquerel en 1839 [32].

Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants.



La structure la plus simple d'une cellule photovoltaïque comporte une jonction entre deux zones dopées différemment du même matériau (homo-jonction) ou entre deux matériaux différents (hétérojonction).

- Le but de la structure photovoltaïque, c'est de créer un champ électrique interne.
- La cellule solaire est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque.
- Elle est basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière.

La tension générée peut varier entre **0.3V** et **0.7V** en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule et du vieillissement de la cellule.

Une cellule **PV** est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée **P** (dopée au bore) et l'autre dopée **N** (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction **PN** avec une barrière de potentiel (bande interdite) .

Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur et son énergie supérieure ou égale à l'énergie de la bande interdite du matériau **E_g**, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction **PN** de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (**charges N**) et des trous (**charges P**). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches.

Cette différence de potentiel crée un champ **E** qui draine les porteurs libres vers les contacts métalliques des régions **P** et **N**.

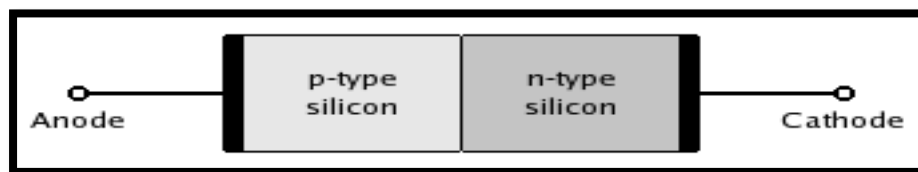


Figure II.11. Jonction PN .

II.5.1. Différents types de cellules photovoltaïques

Il existe plusieurs types de cellules photovoltaïques les plus connues sont :

- **Cellules monocristallines**

Elles sont constituées d'un cristal à deux couches, le plus souvent du silicium, elles ont un rendement entre 15 et 22% mais elles sont chères à fabriquer [33-34].

- **Cellules polycristallines**

Elles sont constituées de plusieurs cristaux, ce qui diminue leur prix de fabrication. Cependant leur rendement n'est que de 10% à 13%. L'avantage de ces cellules par rapport au silicium



monocristallines est qu'elles produisent peu de déchets de coupe et qu'elles nécessitent de 2 à 3 fois moins d'énergie pour leur fabrication [35-36].

- **Cellules amorphes (Couche mince)**

Elles ont un rendement très faible (5 à 10%) mais leur prix est très bas [23]. Bien que le rendement de ces panneaux soit moins bon que celui des technologies polycristallines ou monocristallines, le silicium amorphe permet de produire des panneaux de grandes surfaces à bas coût en utilisant peu de matière première [37].



Figure II.12. Types de cellules photovoltaïques.

II.6. Systèmes photovoltaïques

En général, un système photovoltaïque comporte un ensemble de sous-systèmes distincts en relation entre eux, représentant un processus énergétique complexe. A savoir la structure porteuse rigide des composants du champ PV, qui est fixe ou mobile, le câblage, la boîte de jonction, les éléments de protection, la batterie en cas nécessitant un stockage d'énergie et son régulateur, des convertisseurs DC/DC (hacheurs) et des convertisseurs DC/AC (l'onduleur) dans la majorité des cas les systèmes photovoltaïques ne contiennent aucune pièce mobile. Ils sont fiables, nécessitent peu d'entretien, silencieux, ne produisent aucune émission de polluants et ce sont des systèmes modulaires. Il existe plusieurs types de systèmes photovoltaïques [26] [38].



II.6.1. Système photovoltaïque autonome

Ce système fournit de l'électricité pour des régions non reliés au réseau. Il possède plusieurs domaines d'applications telles-que le pompage d'eau, les stations industrielles pour alimenter le système de protection, de surveillance et de comptage. Il est très utilisé dans les stations spatiales et les relais de communications. Ce système, produit l'énergie électrique qui est utilisée directement ou stockée dans des batteries [25], comme est indiqué sur la figure II.13.

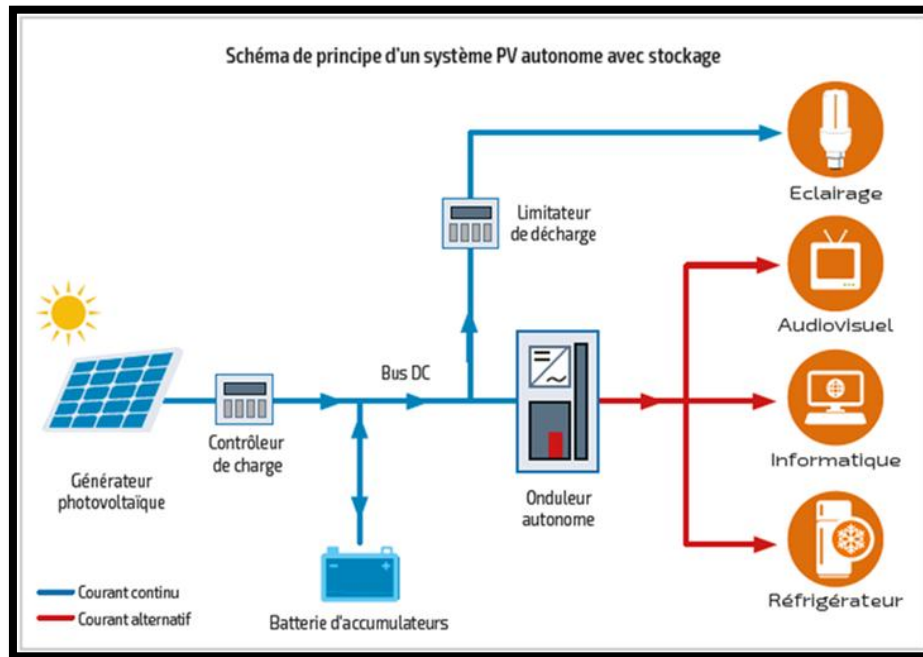


Figure II.13. Exemple d'installation photovoltaïque autonome.

II.6.2. Système photovoltaïque hybride autonome

Les systèmes hybrides sont composés d'un générateur photovoltaïque combiné à une ou plusieurs sources d'énergies renouvelables ou à un groupe électrogène, ou aux deux à la fois. Ces systèmes peuvent posséder des batteries qui peuvent aussi être rechargées par l'autre source en cas de décharge comme le montre la figure II.14.

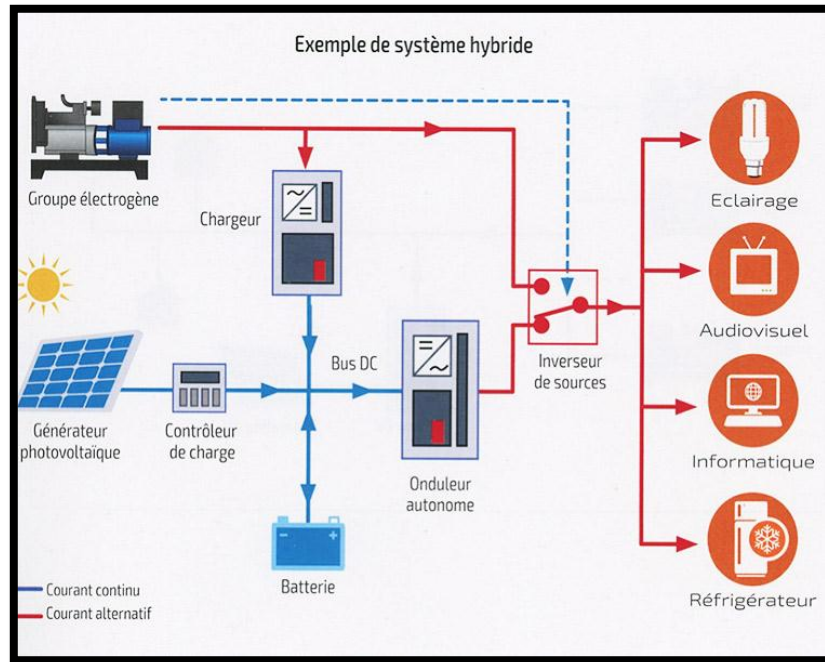


Figure II.14. Schéma synoptique d'un système photovoltaïque hybride.

Les principaux avantages de l'hybridation sont l'amélioration de la qualité du service, l'extension de la durée du service, la réduction de la consommation de carburant (groupe électrogène) et la continuité de l'alimentation de la charge. Ces types d'installation concernent des applications comme des centres de santé, des écoles, des îles et des ensembles résidentiels dans les pays en voie de développement [25][39].

II.6.3. Système photovoltaïque raccordé au réseau

Dans ce système l'ensemble de l'installation est connecté au réseau de distribution après une adaptation des paramètres. L'énergie produite est soit consommée sur place par l'utilisateur et le surplus est injecté sur le réseau, où bien injectée en totalité dans le réseau électrique sans limite. Ces dernières centrales peuvent être conçues avec ou sans stockage [40].

II.6.3.1. Systèmes PV connectés au réseau sans stockage

Ces systèmes sont ainsi conçus pour fonctionner en parallèle et en interconnexion avec le réseau public d'électricité pour couvrir les besoins en énergie. Les principaux composants de la connexion au réseau de ce type de système sont l'onduleur et le transformateur. Il convertit la puissance continue obtenue à partir des modules PV en puissance alternative en respectant les conditions de qualité de la tension et de la puissance exigées par le réseau, avec une possibilité d'arrêt automatique quand le réseau n'est pas en fonctionnement. Une interface



bidirectionnelle est placée entre la sortie alternative du système PV et le réseau constitué par un dispatching. La maintenance de ce système fonctionnant sans batterie, est particulièrement facile. Elle se limite à la vérification de l'état de propreté des modules (PV), comme est indiqué sur la figure II.15.

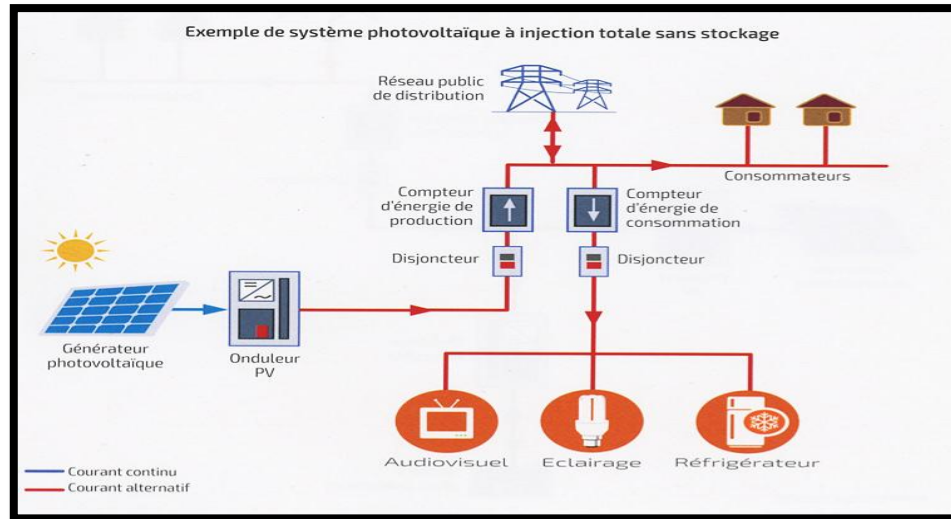


Figure II.15. Installation photovoltaïque reliée au réseau sans batterie de stockage.

II.6.3.2. Systèmes PV connectés au réseau avec batterie de stockage

Ce système a pour objectif de permettre, en absence d'énergie fournie par le réseau, l'utilisation d'énergie stockée par les batteries et celle fournie par le champ photovoltaïque afin d'alimenter des usages prioritaires de l'installation. Les batteries d'accumulateurs et l'onduleur forment une alimentation sans interruption (ASI) pour le système comme le montre la figure II.16. Cette configuration permet d'utiliser au maximum l'énergie produite par les modules PV par l'intermédiaire des caractéristiques spécifiques de l'onduleur permettant un fonctionnement en mode synchrone sur la sortie du réseau [41-42].

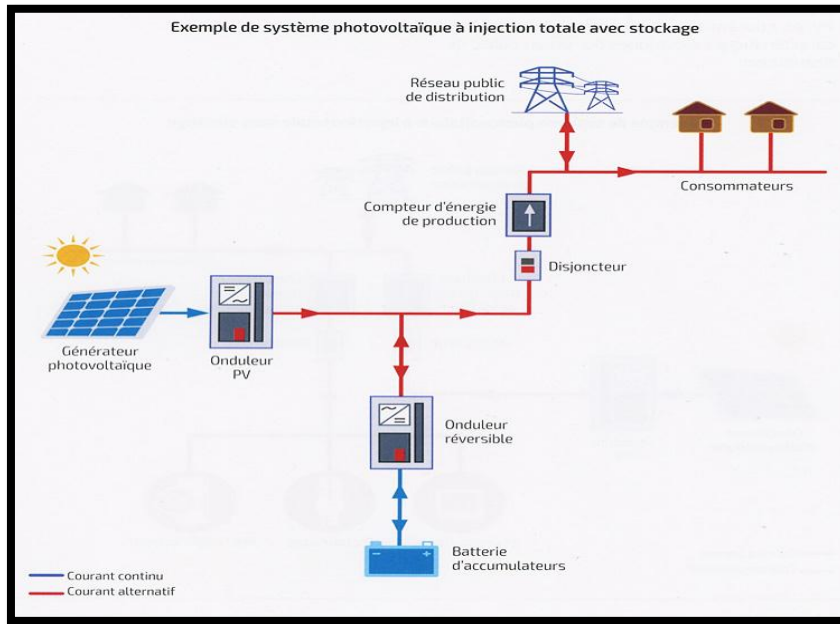


Figure II.16. Installation photovoltaïque reliée au réseau avec batterie de stockage.

II.7. Composants d'une chaîne photovoltaïque raccordée au réseau électrique

Aux composants d'une installation photovoltaïque incombent trois tâches principales : (i) transformer l'énergie photovoltaïque en énergie électrique, (ii) connecter le système de production photovoltaïque au réseau électrique, (iii) assurer un seuil minimum de performances. Les principaux composants impliqués dans ces tâches sont le module photovoltaïque, les convertisseurs statiques assurant la conversion DC/DC et DC/AC, et les transformateurs.

La Figure II.17 présente le schéma synoptique du système PV connecté au réseau de distribution électrique.

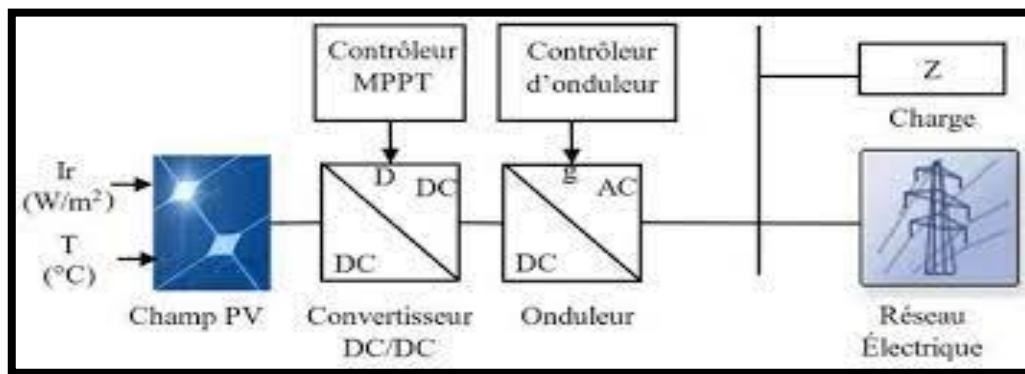


Figure II.17. Schéma synoptique d'un système PV connecté au réseau de distribution électrique.



II.7.1. Convertisseurs statiques pour les systèmes PV connectés au réseau

L'adaptation et la conversion de la puissance continue produite par le GPV en puissance alternative adaptée à celle du réseau sont assurées par les convertisseurs statiques DC/DC (hacheurs) DC/AC (onduleurs).

Les convertisseurs DC/AC sont les composants clé des installations photovoltaïques connectées au réseau, Ces onduleurs convertissent la puissance continue en puissance alternative.

Certaines configurations font appel à des hacheurs élévateurs. Ces derniers seront insérés entre le champ photovoltaïque et l'onduleur.

II.7.1.1. Convertisseurs statiques DC/DC

Un convertisseur statique DC/DC convertit une tension (ou courant) continue DC fixe en une tension continue DC (ou courant) variable [43].

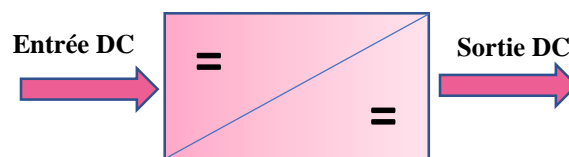


Figure II.18. Symbole du convertisseur DC-DC.

Compte tenu de notre application (système PV), nous nous intéressons essentiellement au convertisseur élévateur de tension (Boost). En effet, dans un système photovoltaïque (PV) de petite et moyenne puissance, souvent, la tension délivrée par le générateur photovoltaïque (GPV) est inférieure à la tension d'entrée nécessaire de l'onduleur. Il faut donc élever la tension fournie par le GPV. C'est le rôle du convertisseur Boost.

- **Principe de fonctionnement**

A l'état « OFF », l'interrupteur doit bloquer la pleine tension de sortie qui est trop élevée et à l'état « ON » il doit également supporter la totalité du courant d'entrée. Ces deux conditions vont influencer le prix des composants électroniques et par conséquent le prix du convertisseur [44]

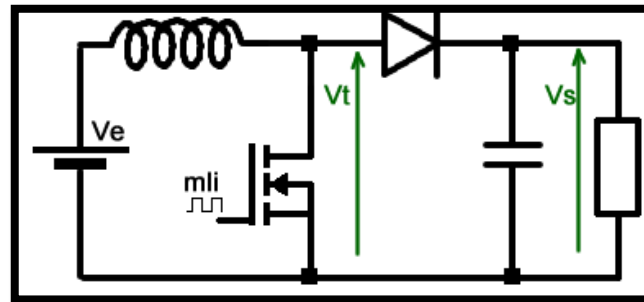


Figure II.19. Hacheur survolteur boost.

La conduction est supposée continue dans l'inductance.

Lorsque le transistor conduit de 0 à αT , V_t vaut 0,

Lorsqu'il est bloqué, de αT à T le courant de l'inductance s'écoule dans la charge et donc $V_t = V_s$

La tension moyenne aux bornes d'une inductance est nulle, donc

$V_{t\text{moy}} = V_e = (1-\alpha) V_s$, (avec $0 < \alpha < 1$) et donc $V_{s\text{moy}} = V_e / (1-\alpha) (> V_e)$.

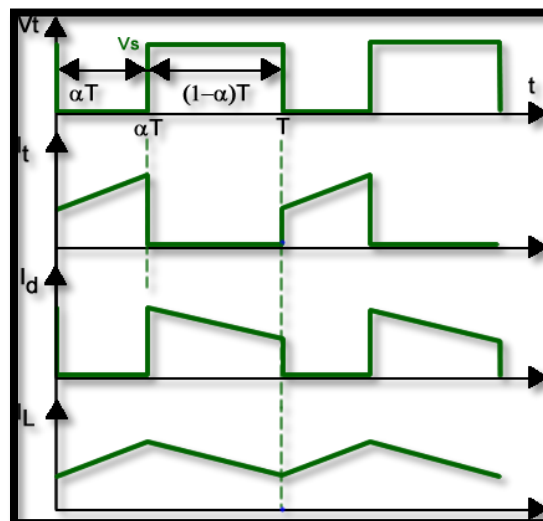


Figure II.20. Chronogrammes des formes d'ondes de courants et tensions.

- De 0 à αT le MOSFET conduit, la diode est bloquée, l'inductance accumule de l'énergie.
- De αT à T , le MOSFET est bloqué, la diode conduit, l'inductance restitue l'énergie vers la charge.



II.7.1.2. Convertisseurs statiques DC/AC

Un onduleur est un dispositif destiné à convertir le courant continu généré par le générateur PV en courant alternatif. Il utilise des transistors de puissance ou des thyristors. L'onde de sortie présente, dans le plus simple des cas, une forme carrée qui peut s'adapter à quelques types de charges, des pertes à vide considérables surtout pour des faibles puissances. La plupart des onduleurs sont des structures en pont constituées le plus souvent d'interrupteurs électroniques comme des IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor).

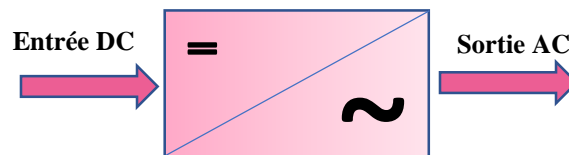


Figure II.21. Symbole du convertisseur DC-AC.

- **Onduleur classique**

L'onduleur classique est illustré dans la figure II.22 (topologies monophasée et triphasée). L'avantage de ce convertisseur se trouve au niveau de la simplicité de sa structure. Néanmoins il présente l'inconvénient d'être limité en forte puissance [19]. C'est pour cette raison que cette structure est utilisée dans : les TGV (train à grande vitesse) par Alstom ; l'ICE (Intercity-express) par Siemens et dans presque tous les véhicules électriques. De plus, il faut lui associer un filtre de sortie dont les composants passifs doivent être spécifiquement dimensionnés (outre la contrainte de filtrage) pour obtenir un bon rendement du système (faibles pertes dans les composants inductifs). Cette contrainte augmente le volume du filtre et diminue la dynamique du système. Pour augmenter cette dynamique on peut utiliser des petits composants passifs (L, C) mais dans ce cas, on dégrade le rendement du système à cause de l'augmentation des ondulations de courant traversant les inductances du filtre. Il y a donc bien un compromis entre la dynamique et le rendement du système.

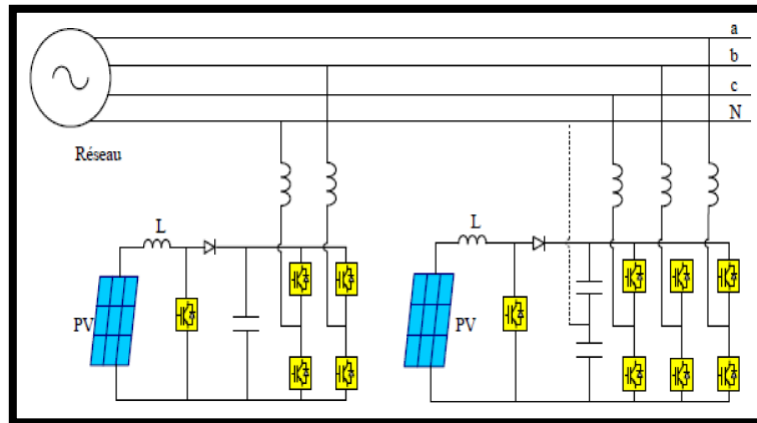


Figure II. 22. Onduleurs monophasé et triphasé connectés au réseau [29].

II.7.2. Transformateurs

Ils seront utilisés pour assurer l'isolation galvanique entre le système de production photovoltaïque et le réseau électrique. Pour des installations à haute tension, un transformateur élévateur est utilisé pour augmenter la tension en sortie de l'onduleur PV à des plages de tension de l'ordre des dizaines de kilos Volts.

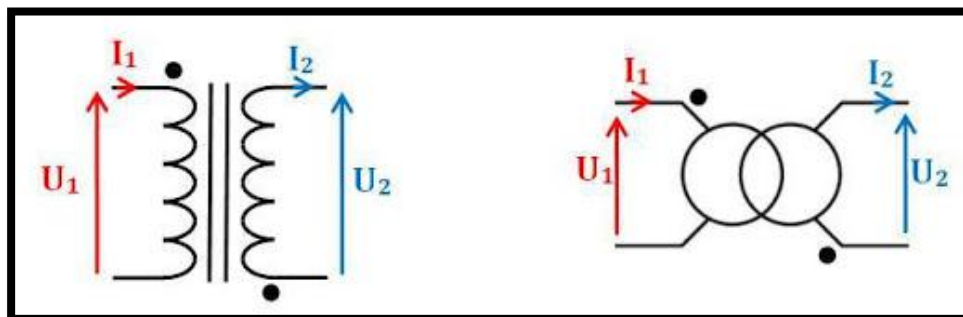


Figure II.23. Symboles de transformateur électrique.

II.8. Dimensionnement d'installation PV

Le dimensionnement est un aspect fondamental de la conception du système. C'est l'ensemble des opérations nécessaires, une fois connue la consommation de l'installation, pour déterminer les dimensions optimales du générateur photovoltaïque, du système d'accumulation et capable de garantir cette consommation. Dans cette partie il ya deux paramètres particulièrement importants : Connaître le rayonnement incident sur le système et déterminer avec précision la consommation. Certes, il est facile de calculer approximativement qui permettent de déterminer les dimensions des panneaux pour pouvoir couvrir les besoins en consommation d'une localité concrète [45].



II.8.1. Paramètres d'entrée intervenants dans le dimensionnement

D'une manière générale, les paramètres à prendre en compte pour concevoir et dimensionner un système photovoltaïque sont assez nombreux et concernent :

- Le lieu où sera placé le générateur PV,
- Le système PV (modules, régulateur, onduleur et batteries)
- La charge.

II.8.1.1. Paramètres concernant le module PV

Les paramètres concernant le module PV sont [46] :

- Tension maximale,
- Courant maximal,
- Puissance maximale.

II.8.1.2. Paramètres concernant les batteries de stockage

Les paramètres relatifs au système de stockage sont donnés selon la disponibilité des batteries à capacité normalisée :

- Profondeur de décharge selon le constructeur,
- Rendement énergétique de la batterie.

II.8.1.3. Paramètres concernant le régulateur de charge

Les paramètres sont, la tension selon la puissance de la charge et le rendement donné par le constructeur.

II.8.1.4. Paramètres concernant l'onduleur

Pour l'onduleur continu/alternatif on précisera le rendement seulement, qui est aussi donné par le constructeur [47].

II.8.1.5. Paramètres concernant la charge

Les paramètres concernant la charge sont [46] :

- Type d'alimentation continue ou alternative,
- Puissance de la charge,
- Durée de fonctionnement moyenne par jour.



II.8.2. Méthode de dimensionnement d'un système PV

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque :

II.8.2.1. Méthode itérative

Connue aussi sous le nom de méthode « Ampère-heure » [48] cette méthode consiste à déterminer le nombre de panneaux photovoltaïques nécessaire pour satisfaire la demande, puis peu à peu à réduire ce nombre, tout en calculant le pourcentage des besoins énergétiques annuels fournis par le générateur PV et ainsi à compléter le reste par l'énergie fournie par un générateur complémentaire.

Etape 1 : Evaluation de la puissance à produire E_P pour satisfaire la demande calcule l'énergie quotidienne nécessaire à produire en moyenne E_P afin de déduire les besoins pour chaque mois. Cette énergie peut être exprimée en Wh ou en « Ah sous 48 V ». Elle est égale à l'énergie consommée par la charge E_C corrigée par un coefficient k pour bien assurer les besoins de l'habitat :

$$E_p = \frac{E}{k} \quad (\text{II.2})$$

Le coefficient k tient compte des facteurs suivants :

- ✓ Le rendement du convertisseur
- ✓ Le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie
- ✓ Les pertes dans les câbles et connexions

Etape 2 : Détermination de la capacité de stockage des batteries

La capacité des batteries est donnée par la formule suivante :

$$C_n = \frac{E_p \times N}{DOD \times f_t} \quad (\text{II.3})$$

C_n : Capacité nominale de la batterie en Ampère-heure

E_P : Energie à produire par jour

N : Nombre de jours d'autonomie

DOD : Profondeur de décharge maximale admissible par les batteries (70% pour les batteries



au plomb)

f_t : Facteur de réduction de température

$$f_t = \frac{C}{C_0} = 0.01035 \times T_a + 0.724 \quad (\text{II.4})$$

Où

C : Capacité de la batterie

T_a : Température (en °C)

C_0 : Capacité de la batterie évaluée à 27°C

Etape 3 : Calcul de la puissance crête nécessaire P_c du générateur photovoltaïque pour chaque mois.

$$P_c = \frac{E_p}{\eta_{pc} \times T_{sun}} \quad (\text{II.5})$$

E_p : Énergie produite par jour

T_{sun} : Temps équivalent avec pleine irradiation (heure par jour)

η_{pc} : Facteur de dégradation

Etape 4 : Détermination du nombre de panneaux photovoltaïques nécessaire chaque mois

$$N = \frac{P_c}{\text{puissance crête unitaire panneau}} \quad (\text{II.6})$$

II.8.2.2.Méthode simplifiée

Etape1 : Estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité

Il s'agit d'estimer la consommation d'équipements supposés connus. L'objectif est d'obtenir la consommation totale moyenne par jour. L'énergie totale moyenne nécessaire chaque jour E_{cj} (Wh/j) est la somme des consommations énergétiques des divers équipements constituant le système à étudier, à savoir les télévisions, les lampes d'éclairage, les appareils électroniques, etc... ; Elle est donnée par la loi suivante :



$$E_{cj} = \sum E_j \quad (\text{II.7})$$

Pour les équipements qui ne sont pas utilisés quotidiennement et pour tous les équipements à forte consommation, partez de la durée du cycle de fonctionnement de la tâche. Ainsi, la consommation de chaque équipement peut être calculée comme suit [46]:

$$E_j = P_j \times t_j \times N_j \quad (\text{II.8})$$

P_j : Puissance journalière d'un équipement

t_j : Temps de fonctionnement

N_j : Nombre des équipements

Etape 2 : Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV

Les données de l'ensoleillement peuvent être relevées sur le site ou enregistrées sur la carte de l'ensoleillement de la région ou encore obtenues au niveau de la station météo la plus proche de la zone [49].

Etape 3 : calcul du nombre de panneaux solaire

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Nombre des modules PV} = \frac{\text{Consommation journalière}}{\text{Production journalière}} \\ N_{ppv} = \frac{E_{cj}}{P_{ppv}} \end{array} \right. \quad (\text{II.9})$$

Etape 4 : calcul de nombre de batteries

$$N_{batterie} = \frac{P_g}{P_{batterie}} \quad (\text{II.10})$$

Avec :

$$P_g = E_{cj} \times \text{Nombre d'autonomie} \quad (\text{II.11})$$

Etape 5 : Choix de régulateur

Parmi les différents types de régulateurs, on doit choisir, celui qui est le mieux adapté à notre installation. Afin de déterminer ses caractéristiques on sépare souvent les deux fonctions de régulateur : (charge et décharge).

La régulation de charge (à l'entrée) est fonction de la puissance du générateur, donc du courant produit par les modules.



La régulation de décharge (à la sortie) est fonction de la puissance totale des récepteurs donc du courant consommé par ces derniers

- **Tension nominale :**

C'est la tension nominale du champ photovoltaïque.

- **Le courant d'entrée :**

Doit être supérieur à la valeur maximale produite par le générateur. Pour estimer ce courant, on prend 1.5 fois le courant de court-circuit total des modules pour un régulateur shunt (pour de faible puissance), pour un régulateur série 1.5 fois le courant total au point de puissance maximale (pour moyenne puissance) et de même pour un régulateur MPPT (pour de grande puissance).

- **Le courant de sortie :**

Doit être supérieure à la valeur maximale appelée par les récepteurs lorsqu'ils fonctionnent tous au point maximum de leur puissance de fonctionnement [50].

Etape 6 : Choix de l'onduleur

Le dimensionnement sera basé sur [51]:

- ✓ Le rendement : c'est la conversion (DC/AC) qui atteint des valeurs assez élevées en fonctionnement nominal (égale à 0,8),
- ✓ La consommation à vide : c'est l'ensemble des pertes induites par l'onduleur en absence de charge, la diminution de ces pertes assure un bon stockage dans l'accumulateur,
- ✓ La fréquence sera 50Hz,
- ✓ La tension d'entrée : elle est égale à celle de la batterie.

La puissance nominale est donnée par cette équation :

$$P_{ond} = \frac{P_n}{n_{ond}} \quad (\text{II.12})$$

Etape 7 : Dimensionnement des câbles

Il est nécessaire de limiter la longueur des câbles électriques entre le générateur photovoltaïque et les récepteurs. Cette distance n'excède jamais quelques mètres.



En effet les systèmes solaires fonctionnent généralement sous faible tension (12V, 24V, 48V), donc avec un courant élevé ($P = U \times I$), Si U est faible, I est très élevé pour la même puissance. Le transport à distance de ce courant de plusieurs ampères provoque des pertes par effet joule aux niveaux des conducteurs [50].

$$P_j = \Delta V \times I = R \times I^2$$

On calcul de la sections des câbles, d'après les formules suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} S = \frac{\rho \times L}{R} \\ R = \frac{\Delta V}{I} \\ \Delta V = e \times V \\ S = \frac{\rho \times I \times L}{e \times V} \end{array} \right. \quad (\text{II.13})$$

Avec :

ρ : Résistivité du câble ($\rho = 0.017 \text{ ohm mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre)

I : Intensité du courant électrique

L : Longueur du câble électrique

e : chute de la tension (3-5%)

V : tension du système PV

II.9. Conclusion

Dans ce chapitre, En première partie, nous avons vu des notions sur l'énergie solaire et ses caractéristiques ainsi que les différents types de systèmes d'alimentations photovoltaïques et nous avons présenté le système de conversion photovoltaïque avec ses différents constituants et des différentes architectures. Dans deuxième partie, on a présenté les différentes méthodes de dimensionnement d'un système PV.



Chapitre III

**Dimensionnement du
système photovoltaïque**



Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

III.1.Introduction

Le dimensionnement d'un générateur PV a pour but de déterminer l'optimum technico-économique entre la puissance crête du champ des panneaux solaires et la capacité de batterie associée à partir des besoins électriques de l'utilisateur d'une part, et d'autre part des données d'ensoleillement du site et du prix et de la qualité des composants dont on peut disposer sur le marché.

Dans ce chapitre, le travail que nous avons effectué est penché vers le dimensionnement des composants de notre système PV :

- ❖ Le champ PV
- ❖ L'onduleur
- ❖ Régulateur
- ❖ Les câbles

Ceux-ci seront dimensionnés après l'évaluation des besoins, la détermination de la puissance à installer et le nombre total de panneaux.

III.2. Présentation de logiciel de simulation PVSYST

Le programme PVSYST est un logiciel de simulation de systèmes photovoltaïques, développé initialement par le Groupe de Physique Appliquée (GAP) de l'Université de Genève [29]. Ce logiciel est conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche économique avec guide dans le développement d'un projet. PVSYST permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles [49]. On lance le logiciel PVSYST, l'interface suivante s'affiche :



Figure III.1. Interface de logiciel PVSYSY.

La simulation à base du logiciel PVSYSY suit l’organigramme suivant :

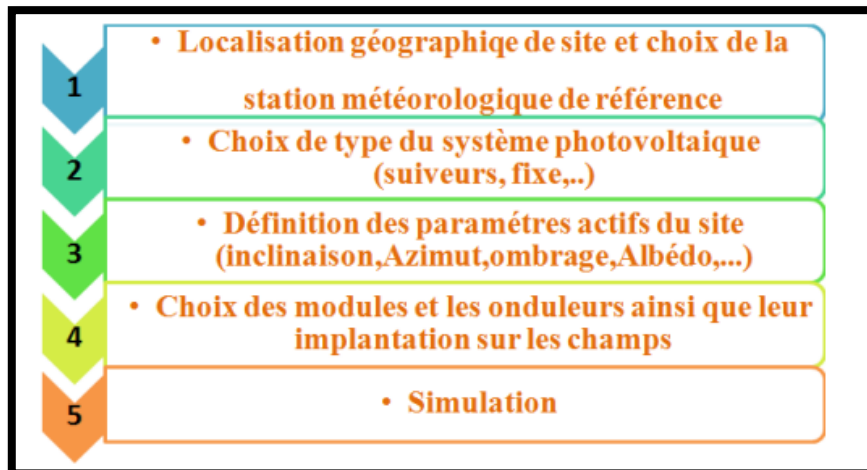


Figure III.2. Etapes de simulation avec PVSYSY.

III.3. Présentation du site étudié

El Biod est une commune de la *wilaya de Naâma* en Algérie. Elle couvre une superficie de 3 663 km² et compte fin 2008 une population de 12 074 habitants.



CFPA « sayeh mohamed » : Nous sommes dirigés vers le CFPA le 08 mai 2022 situé à l'adresse : Biodh le cfpa «sayeh moamed» a couté de route nationale numéro 95, afin de faire notre étude sur la consommation énergétique. Qui est présidé par monsieur le directeur Grine Ahmed, Il s'étend sur une superficie de 8640,00 m², contient : une salle de réunion, un magasin, 7 bureaux, 01 salle des professeurs, 5 classes, 2 atelier (informatique et couture), 01 bureau d'accueil, 2 sanitaires, 04 couloirs, et Logement fonction.



Figure III.3. La plateforme d'accueil du CFPA « sayeh mohamed »

a) Localisation

CFPA « Sayeh mohamed » Biodh daïra de Mécheria, Algérie $33^{\circ}33'22.6''N$ $0^{\circ}15'51.3''W$

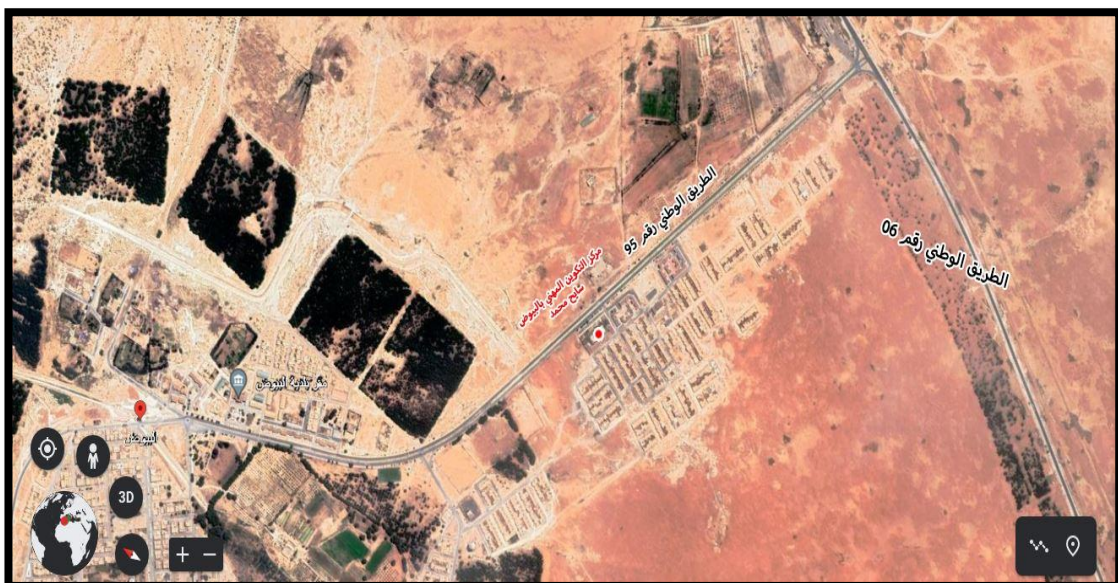


Figure III.4. Photo par satellite de CFPA « Sayeh mohamed » El biodh.



III.4. Etapes pour dimensionner l'installation

Calculer la puissance de consommation du Décanat

- ❖ Déterminer les besoins énergétiques journaliers dans le cas le plus défavorable (la période où les besoins sont les plus importants).
- ❖ Calculer le champ des panneaux photovoltaïques nécessaire pour produire les besoins journaliers en considérant l'énergie solaire disponible (le mois) le plus défavorable, selon la situation géographique du site
- ❖ Définir des modules photovoltaïques (technologie, tension de fonctionnement...).
- ❖ Calculer le parc de batteries pour une autonomie donnée (une semaine).
- ❖ Déterminer le ou les convertisseurs (onduleur, chargeur) pour fournir la puissance nécessaire à l'installation
- ❖ Déterminer la puissance du groupe électrogène dans le cas où il y a un besoin d'appoint de secours.
- ❖ Déterminer le coût du système.

III.5. Calcul de la consommation énergétique

Les besoins seront déterminés à partir des équipements électriques bureautiques existants ou envisagés. Un travail de recensement des équipements et d'identification des puissances ou des consommations normalisées est alors réalisé. Puis les consommations donc les besoins sont déterminés, soit par calcul à partir de la puissance des appareils et de leur temps d'utilisation (éclairage, ordinaire...), soit par relevé des consommations normalisées forfaitaires journalières données par les constructeurs. Ce travail doit aboutir à la consommation journalière optimisée mois par mois.

III.5.1. Les besoins de l'application en énergie

Il est indispensable de connaître précisément le besoin en énergie d'une installation avant de passer au dimensionnement afin de concevoir un système photovoltaïque adapté. Au vu du coût encore élevé du watt solaire, Il est souhaitable d'éviter de surdimensionner le système photovoltaïque en privilégiant l'économie d'énergie au niveau des récepteurs. La puissance photovoltaïque du générateur à installer est déduite du calcul de la consommation de l'application. Le calcul de dimensionnement prend en compte la puissance, la tension des



appareils ainsi que la durée d'utilisation. Tous les consommations disponibles (lampes, climatiseur, imprimant, ordinateur, etc.) sont listées en précisant leur tension, leur puissance et leur durée d'utilisation par jour. Les appareils à faible consommation d'énergie et à haute rendement sont préférés même si leur coût d'investissement est plus élevé.

Pour un meilleur rendement énergétique et d'économie financière, il est préférable d'utiliser des récepteurs fonctionnant en courant continu (12 ou 24 VDC) puisque ce dernier, produit par les panneaux photovoltaïques et/ou stocké dans les batteries, est directement utilisé par les récepteurs CC sans transformation préalable du courant. En revanche, en présence de récepteurs en 230 VAC, il faut rajouter un onduleur CC/CA, devenant lui-même un consommateur d'énergie non négligeable (marche/mode veille) à prendre en compte dans le bilan global de la consommation. Sur le marché, il existe un grand choix de récepteurs CA lampes, réfrigérateurs, ventilateurs, pompes à eau, postes de radio, téléviseurs etc. Cependant, certains appareils n'existent pas en courant continu ou n'offrent pas la tension souhaitée : dans ce cas, l'onduleur est nécessaire afin de faire fonctionner les récepteurs VAC.

Pour chaque appareil consommateur, la consommation journalière (en Wh/j), est définie à partir de sa puissance (en W) et de sa durée d'utilisation (en h/j), afin d'en déduire la consommation totale journalière. Cette dernière est ensuite réajustée en fonction du taux d'occupation de Travailleurs, élèves et enseignants tout la saison scolaire. au cours d'une année (week-end, vacances, etc.). A partir de cette valeur, il est possible de calculer la puissance photovoltaïque (pour en déduire le nombre de panneaux à installer) et de dimensionner le stockage (calcul de la capacité de la batterie et de la profondeur de décharge), le régulateur et de câblage. [10]



III.5.1.1 Besoins de l'utilisation des différents appareils (Tableau III.1)

Tableau III.1. Différents appareils de consommation au CFPA « Sayeh mohamed » El biodh

APPAREILS	NOMBRES	PUISSANCES (WATT)	Durée utilisation(heures)	ENERGIES (Watheure/jour)
Lampes	160	25	3	12000
ORDINATEUR bureautique	16	350	4	22400
Machine Couture	07	500	4	14000
IMPRIMENTE Laser	7	550	2	4400
CLIMATESEUR	3	1230	4	14760
Eclairage center	12	60	10	7200
ONDULEUR	16	350	4	22400
				24
consommation totale journalière				97184

La consommation totale journalière d'énergie de l'application est calculée en additionnant la consommation journalière de chaque récepteur :

$$E_t = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + \dots$$

$$E_t = [(P_1.t_1)n_1] + [(P_2.t_2)n_2] + [(P_3.t_3)n_3] + [(P_4.t_4)n_4] + [(P_5.t_5)n_5] = \frac{wh}{j} \tag{III.1}$$

Avec :

P₁ : Puissance du récepteur (W) ;

t₁ : Temps d'utilisation du récepteur par jour (h/j);

n₁ : Nombre de récepteur ;



Après la consommation globale journalière, il faut étudier sa variation dans le temps (hebdomadaire, mensuelle voire saisonnière) en fonction de l'utilisation des exploitants. Le dimensionnement des panneaux photovoltaïques dépend de la fréquence d'occupation de l'habitat et le dimensionnement du système photovoltaïque.

Pour une consommation le calcul du dimensionnement est fondé sur une valeur moyenne de consommation obtenue en multipliant la consommation totale

$$\text{ENERGIE}_{\text{TOTAL}} = \text{Lampes} + \text{Ordinateur}_{\text{bureautique}} + \text{Microportable} + \text{Imprimante}_{\text{Laser}} + \text{Climatiseur} + \text{Onduleur} + \text{Éclairage center}$$

$$= 12000 + 22400 + 14000 + 4400 + 14760 + 7200 + 22400 + 24$$

$$= 97184$$

D'où L'ENERGIE TOTAL=971,84 kwh/j

$$B_{jwh} / \text{jour} = E_{\text{Totale}}$$

$$p_{jwh} / \text{jour} = \sum p_i$$

$$B_j = 971,84 \text{ kwh/j}$$

$$B_h = B_j \times 7 = 6802.88 \text{ KWh}$$

$$B_m = B_h \times 4 = 27211.52 \text{ KWH} \tag{III.2}$$

$$B_a = B_m \times 12 = 326538.24 \text{ KWH}$$

Le tableau suivant de termine les valeurs citées :

Tableau III.2. Les besoins du système PV dans les temps

	Besoins journaliers(B_j)	Besoins Hebdomadaire(B_h)	Besoins mesuels(B_m)	Besoins annuels(B_a)
Besoins en énergie(KWh)	971,84	6802.88	27211.52	326538.24



III.6. Détermination d'irradiation du site pour le dimensionnement

III.6.1. Période de l'ensoleillement

Plus la puissance lumineuse (ensoleillement) augmente, plus la puissance générée par la cellule PV augmente aussi.

Au contraire, plus la température des cellules augmente, plus la puissance générée par les cellules est faible. La carte ci-dessous nous montre l'ensoleillement moyen annuel.

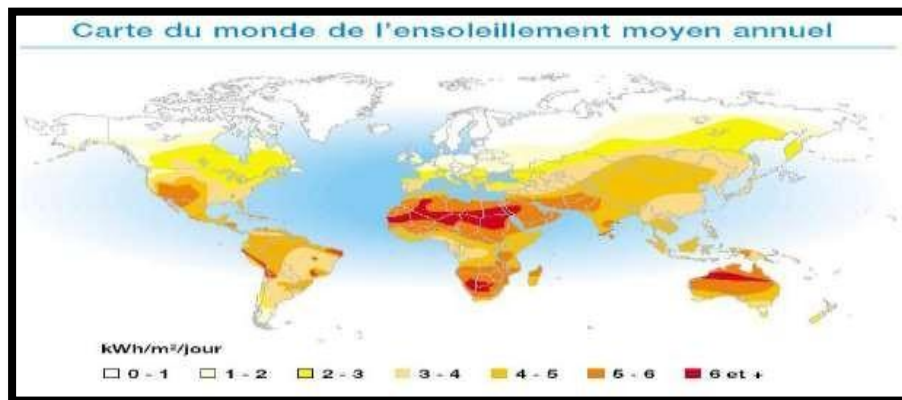


Figure III.5 .Carte ensoleillement

Sur cette directive, nous choisissons la période la moins ensoleillée dans l'année, le mois de Janvier dans notre cas.

La figure (III.6) Représente l'irradiation moyenne en Algérie, EL BIODH

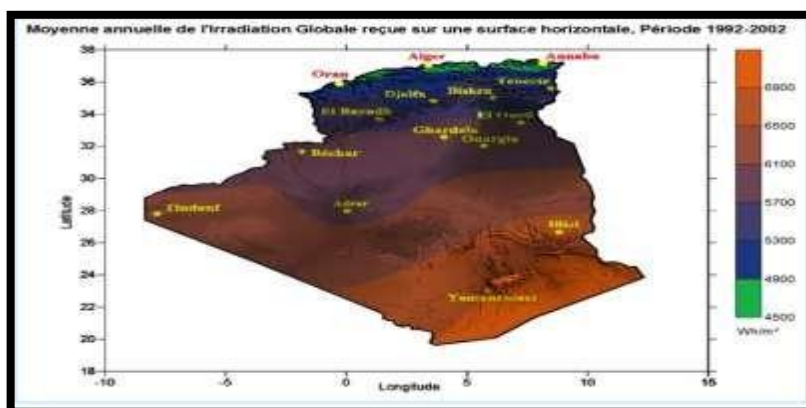


Figure III.6.L'irradiation globale.

L'énergie solaire est définie par le produit du nombre d'heure équivalente (la durée d'ensoleillement maximale pendant une journée par le rayonnement de référence $1000\text{W}/\text{m}^2$).



$$E_{sol} = N_e \times 6000$$

(Soit $N = N_e \times 6000$)

N

(III.3)

Avec : L : ensoleillement du site ($Wh/m^2/jour$)

N_e : Nombre d'heures équivalentes (h/jour) Soit $N_e = E_{sol} / 6000$

III.6.2. Le coefficient de perte

Plusieurs pertes interviennent dans les systèmes photovoltaïques tels que voir (tableau III.4).

Tableau III.3. Les différents types de perte

Nature de perte		Perte(%)	Observations
Pertes par salissure		5 – 10	Pertes dépendant de l'inclinaison des panneaux et de la fréquence d'entretien
Pertes liés aux composants électriques	Régulateur	2	Pertes dépendant des caractéristiques internes des composants et de la technologie utilisée (en série ,MPT)
	Onduleur	10	
	Diode en série	3 – 6	Pertes en fonction du nombre de branches
Pertes ohmiques liées aux câbles		3 voire 1	Pertes à réduire au minimum en réalisant un dimensionnement du câblage adéquat
Pertes thermiques		05%/°C	Pertes à minimiser par une ventilation adaptée Pertes affectant surtout les systèmes en pays chauds
Pertes de dispersion de puissance nominale d'un module		3 – 10	Pertes selon les fabricants Difficile à vérifier
Perte d'appairage en série		3	Pertes à réduire au minimum en réalisant le bon tri des modules
Pertes liées à la batterie		10	Pertes dépendant des caractéristiques internes et de la technologie utilisée (tubulaire ,plaques ,etc.)
Pertes liées au faible éclairement		Faible	Pertes à minimiser en fonction de la technologie des modules
Coefficient global de perte		Compris entre 0.65 et 0.90	



D'où en faisant des recherches approfondies on a constaté que les pertes est égales $C_p = 0,65$

III.6.3. Irradiation moyenne dans l'année 2022

Tableau III.4. Irradiation moyenne dans l'année (logicielPVsyst7)

Mois	Jan.	févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct.	Nov	Déc.	Année
(KWh/m ² /jour)	2.64	3.25	4.24	5.11	5.93	6.43	6.34	5.8	4.53	3.67	2.8	2.34	4.43
(h/jour)	2.6	3.2	4.2	5.1	5.9	6.4	6.3	5.8	4.5	3.6	2.8	2.3	4.43

III.7. Détermination et importance de l'orientation et d'inclinaison des panneaux

Pour optimiser au mieux la production l'énergie d'une installation solaire. Il est très important de ne pas sous-estimer l'importance de l'inclinaison et d'orientation du panneau solaire.

Les critères à prendre en compte pour un rendement optimal des panneaux. Avant de commencer nous expliquons brièvement les termes :

- ❖ L'inclinaison est l'angle entre le plan du panneau solaire et le sol. Un panneau incliné 0° est à plat contre le sol ou horizontal, un panneau à 90° est à la verticale.
- ❖ L'orientation est l'angle entre le panneau solaire et l'axe plein Sud. A 0° l'angle de l'orientation correspond à un panneau faisant face au Sud, à l'Est ou l'Ouest, 180° au Nord.

III.7.1. Energie solaire récupérable

L'énergie fournie par les panneaux dépend de leur rendement, de l'ensoleillement du site et de la taille du champ donc de sa puissance crête.

L'orientation, l'inclinaison et l'ombre portée influent également sur l'énergie qui sera produite par les panneaux. Il faut par conséquent être très vigilant sur la position des modules par rapport au soleil.

III.7.2. Orientation et inclinaison

Dans la mesure du possible, il est conseillé dans nos latitudes (Europe hémisphère nord) d'orienter les modules en direction du sud. L'inclinaison optimale est fonction de l'usage de



l'installation :

- ❖ Pour un fonctionnement annuel, ou,
- ❖ Pour un fonctionnement saisonnier.

Sur les sites isolés ou le besoin est annuel, il est conseillé de privilégier la production d'électricité durant la période hivernale. Une inclinaison des panneaux correspondant à la « latitude du site +10° » (par exemple à Paris : 49° + 10 = 60°) permet de recevoir un maximum de rayonnement solaire en hiver, tout en gardant une production « correcte » durant le reste de l'année

Pour une installation ne fonctionnant qu'en été, l'inclinaison optimale sera de 20 à 30°. Pour les bâtiments existants, l'orientation des toits est généralement fixée. La section « la variation du rayonnement solaire en fonction de l'orientation et de l'inclinaison peut aider à optimiser la production en fonction de la situation réelle

III.7.3.Détermination de la puissance crête des panneaux

La puissance d'un panneau solaire s'exprime en watts-crête (WC) ou kilowatts-crête (kwc). Cette Puissance crête d'un panneau solaire correspond à la puissance maximale de production électrique qu'il peut délivrer. Il s'agit d'une puissance idéale fournie dans des conditions optimales

Un ensoleillement de 1000 W de lumière/m²

- ❖ Une température extérieure de 25°C.
- ❖ Une bonne orientation des panneaux et aucun ombrage.

III.7.3.1.Calcul pratique de la puissance photovoltaïque

- ❖ Calculons l'énergie à produire :

$$E_p = \frac{B_J}{C_p} = \frac{E_{TOTALE}}{C_p}$$

$$E_p = \frac{971.84}{0.65} \tag{III.4}$$

$$= 1495.138$$

- ❖ Calcul la puissance crête :

$$P_c = \frac{E_p}{N_e}$$



N_c = irradiation moyenne de 5 kwh/m/jour pour (la période estival de fonctionnement)

$$E_c=97184*0.95$$

$E_c=92\,324,8=92325$ wh/j : parce que Equipment est alternative

$$P_c = \frac{E_c * 1000}{k * I_r}$$

$$k=0.65 ; I_r=6000$$

$$P_c=23\,673,07\text{wc}$$

III.7.3.1.1 Caractéristiques du panneau solaire à utiliser pour l’installation

Les panneaux photovoltaïques choisissant de type mono cristallin, leurs caractéristiques sont consignées dans la figure ci-dessous :

Figure III.4.Caractéristiques du panneau solaire à utiliser pour l’installation

SPECIFICATIONS		
Module type	JKM440WP-35-V	
	STC	NOCT
Maximum power(P_{max})	340W _P	254W _P
Maximum power voltage (V_{mp})	35,8V	36,8V
Maximum power current (I_{mp})	8,79A	6,89A
Open-circuit Voltage (V_{oc})	55,1V	45,5V
Short-circuit Current I_{sc})	9,24A	7,33A
Module Efficiency STC (%)	17,52%	

Figure III.5.Caractéristiques mécaniques De Panneau solaire

Cell type	Mono-crystalline 156*156mm(6 inch)
No of cells	72(6*12)
Dimentions	1956*992*40 mm (77.01*39.05*1.57inch)
Weight	65.5kg (58.4lbs)
Front Glass	4.0mm, Anti-reflection Coating High transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67Rated
Output Cables	TUV 1*4.0mm ² , length 900mm or Customized length



II.7.3.2. Calcul du nombre de panneaux

Le nombre de module pour fournir la puissance de l'installation est déterminé par l'équation suivante : choix panneaux : $P = 440\text{w}$ $U = 35\text{v}$

$$N_m = \frac{P_c}{P_m} \quad (\text{III.5})$$

$$N_m = \frac{23673}{440} = 53.8 \quad N_m = 54 \text{ module}$$

Le nombre de modules connectés en série :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_m} \implies N_s = \frac{48}{35} = 1.37 \quad N_s = 2 \text{ module en série}$$

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} \implies N_p = \frac{54}{2} = 27 \quad N_p = 27 \text{ module en parallèle}$$

III.7.4. Dimensionnement et calcul du nombre de batterie

Toutes technologies confondues, la caractéristique principale d'un accumulateur, c'est la capacité. C'est la quantité d'énergie qu'il est à même d'emmagasiner, et donc celle qu'il est capable de restituer.

Cette capacité s'exprime en Ampère-heure, symbole Ah.

Il faut savoir que la capacité restituée par un accu n'est pas constante, même à charge égale. La capacité restituée dépend des conditions de décharge.

Plus il fera froid et plus vous demanderez un courant important, plus la capacité de l'accu sera faible, et inversement. Pour une même technologie la capacité d'un élément est proportionnelle à son volume. Par contre pour deux technologies différentes, des mêmes capacités, les volumes ne sont pas du tout les mêmes. Ce rapport capacité / volume poids est caractérisé par la densité d'énergie exprimée en Wh/kg aussi appelé facteur de mérite.

On parlera souvent dans le texte de la capacité nominale d'un accu (notée C ou Cn).

C'est tout simplement la capacité indiquée sur le boîtier de l'élément. Elle est donnée par le fabricant et elle est normalement calculée conformément à une norme.

Pour réaliser le dimensionnement de la batterie, on procède de la façon suivante :

Etape 1 : on calcule l'énergie consommée (E_c) par les différents récepteurs

Etape 2 : On détermine le nombre de jours d'autonomie nécessaire



Etape 3 : On détermine la profondeur de décharge acceptable pour le type de batterie utilisé

Etape : 4 on calcule la capacité (C) de la batterie en appliquant la formule ci-dessous

$$C = \frac{E_c \cdot N}{D \cdot U} \text{ Équation III-8}$$

C : capacité de la batterie en ampère-heure (AH)

Ec : énergie consommée par jour (Wh/j)

N : nombre de jour d'autonomie

D : décharge maximale admissible

U : tension de la batter

III.7.5. Profondeur de décharge

L'élément fourni de l'électricité tant qu'on lui en demande et qu'il lui reste de l'énergie chimique. Mais cela pose un problème. En effet si on laisse un accu branché trop longtemps en décharge sur un circuit, il va trop se décharger. Il va " s'éteindre " et il ne sera plus possible de le recharger. Pendant la phase de décharge l'accu se comporte comme tout générateur électrique.

La tension disponible à ses bornes évolue en fonction du courant consommé du fait de sa résistance interne. A la fin de la décharge, quand l'accumulateur est vide, on constate une chute brutale de la tension.

III.7.6. Calcul de la capacité de batterie

Sur le tableau ci-dessous on résume tous les résultats obtenus des calculs qui ont été fait sur : l'énergie consommée par jour en kWh/j ; la puissance photovoltaïque crête du système en kWc et le nombre de panneaux du champ photovoltaïque .

Tableau III.5. Les résultats des calculs

Nom	L'énergie consommée par jour en kWh/j	La puissance photovoltaïque crête du système en kWc	Le nombre de Panneaux du champ photovoltaïque
Bâtiment de DOYEN	971.84	23673.07	54



Le nombre de jour d'autonomie est 3 jours sans apport solaire note N Décharge maximale admissible est 80%

Caractéristique technique de batterie choisie est :

Tableau III.6.Caractéristique des batteries

Voltage	12.8V
Technologie	LIHTUM
Capacité batterie	200Ah
Poids	73 kg

$$C = \frac{E_c \cdot N}{D \cdot V_{ch}}$$

N=5 jours ; D=0.8 ; V_{ch}=48v ; E_c=92325wh

C=9617.18Ah=9617

Nombre batterie en série et en parallèle :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_b} \implies N_s = \frac{48}{12.8} = 3.75 \quad N_s = 4 \text{ batterie}$$

$$N_p = \frac{C}{C_b} \implies N_p = \frac{9617}{202} = 47.60 \quad N_p = 48 \text{ batterie}$$

nombre totale batterie 4*48=192

III.7.7.Dimensionnement du régulateur et de l'onduleur

Régulateur : Le dimensionnement du régulateur est défini une fois que le type de régulateur est retenu. Il existe deux types de régulateurs ;

Un simple régulateur de charge : il ne contrôle que la charge de batterie et évité ainsi les surcharges de la batterie ; il est utilisé pour des installations pour lesquelles le risque de décharge est quasiment nul (surdimensionnement des modules, consommation très bien maitrisée avec une faible probabilité de dépassement, etc.) ;

Un régulateur charge-décharge : il permet, en outre, d'éviter les décharges profondes en coupant l'alimentation de tous des appareils électrique ; les régulateurs charge-décharge sont bien adaptés aux applications domestiques pour lesquelles le dépassement de consommation par les occupants est fréquent.



Pour dimensionner le régulateur, il faut prendre en considération trois éléments principaux la tension nominale entre les panneaux et les batteries : le régulateur doit pouvoir accepter cette tension (en générale 12 V, 24V ou 48 VDC). Les régulateurs acceptent des plages de tension plus ou moins larges ;

L'intensité maximale de sortie : elle ne concerne que les régulateurs charge-décharge qui doivent accepter le courant maximal fourni simultanément par les récepteurs. Cette intensité maximale doit prendre en compte également les courants transitoires élevés produits lors des démarrages de certains appareils électriques.

À partir de ces données, il est possible de choisir la technologie de régulation à adapter à la puissance du système photovoltaïque et aux types des batteries. Les régulateurs shunt sont plus adaptés aux systèmes photovoltaïques de faible puissance, alors que les régulateurs (série) conviennent aux systèmes plus élevés. [10]

❖ Dimensionnement de l'onduleur

Pour une installation autonome, l'onduleur est dimensionné en fonction des caractéristiques des modules, des batteries et des récepteurs fonctionnant uniquement en courant alternatif.

Les paramètres de dimensionnement sont :

La tension d'entrée (12,24 ou 48 V) : c'est la tension CC délivrée par le générateur photovoltaïque ou par le système de stockage

La tension de sortie (220 V AC à 50 HZ) : la forme de l'onde est soit sinusoïdale, soit carrée, soit encore pseudo sinusoïdale selon la nature des appareils que les récepteurs devront faire fonctionner. Le choix de la technologie dépend donc des caractéristiques du ou des récepteurs

La puissance nominale : elle correspond à la puissance que peut délivrer l'onduleur en fonctionnement permanent, c'est-à-dire à la somme de la puissance de toutes les charges électriques susceptible d'être utilisées en même temps. En pratique, elle est définie à partir des valeurs moyennes du profil de consommation, en courant alternatif, majoré de 20 % ;

- ❖ La puissance maximale (50% de la puissance nominale) : c'est à dire surcharge importante provenant du démarrage de certain moteur, surcharge que doit accepter l'onduleur pendant une très courte durée.
- ❖ La consommation à vide ou en attente : elle doit être la plus faible possible (2% à 3%



de la puissance nominale). Une consommation trop importante peut avoir des méfaits sur la capacité et la durée des batteries.

- ❖ La puissance d'un onduleur est exprimée en VA, ou volt Ampères. Avant de choisir un onduleur, il faut faire la somme de la consommation de tous les appareils que l'on va lui connecter. [11]
- ❖ Le problème, c'est qu'en général sur le matériel, informatique, la consommation est exprimée en watts pour convertir rapidement des watts en V.A.
- ❖ On peut utiliser cette formule approximative : puissance en VA= puissance de watts / 0.66 [11]

III.8. Branchement des panneaux et batteries sur le régulateur

On branche les panneaux au régulateur et le régulateur à l'onduleur. L'onduleur photovoltaïque se branche directement sur le compteur. L'onduleur achemine alors l'électricité jusqu'à au prises. Le branchement de panneau solaire en série permet d'additionner les tensions. Pour brancher le panneau solaire en série, on connecte la borne + du panneau solaire à la borne et inversement. Le branchement de panneau solaire en parallèle permet d'additionner les intensités. Pour brancher le panneau solaire en parallèle, on connecte les bornes + ensemble et les bornes - ensemble. Pour une puissance suffisante, on opte pour un branchement de panneau solaire mixte, en série et en parallèle.

Un régulateur, qui protège l'installation. Ce régulateur est parfois incorporé à l'onduleur. Un onduleur photovoltaïque transforme le courant électrique continu en courant alternatif. Pour fixer la puissance nominale de l'onduleur, il faut estimer :

- ❖ La charge maximale probable pendant une durée supérieure à 20mn ou les charges de courte
- ❖ durées ne sont prises en compte
- ❖ La charge maximale instantanée, elle est généralement égale à 4 fois la puissance du moteur le plus puissant que la plus grande puissance utilisée.
- ❖ La puissance nominale doit être la plus faible pour limiter les pertes.
- ❖ La puissance nominale de l'onduleur est fixée suivant deux critères
- ❖ La puissance maximale probable pendant une durée supérieure 20 mm



Exemple : Eclairage

$$\begin{aligned} S_1 &= P = U * I \\ \text{Autre} \quad S_2 &= U * I \\ P_{\text{totale}} &= U * I \end{aligned} \quad (\text{III.6})$$

La puissance maximale instantanée : elle est généralement égale à 4 fois la puissance du moteur le plus puissant

III.9. Rapport PVSYST



Version 7.2.16

PVsyst - Simulation report

Stand alone system

Project: CFPA El Biodh

Variant: Nouvelle variante de simulation

Stand alone system with batteries

System power: 22.00 kWp

El boïdh - Algeria

Author



Project: CFPA El Biodh

Variant: Nouvelle variante de simulation

PVsyst V7.2.16

VC0, Simulation date:
15/06/22 22:16
with v7.2.16

Project summary

Geographical Site El biodh Algeria	Situation Latitude 46.20 °N Longitude 6.15 °E Altitude 0 m Time zone UTC	Project settings Albedo 0.20
Meteo data El biodh NASA-SSE satellite data 1983-2005 - Synthétique		

System summary

Stand alone system PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 33 / 0 °	Stand alone system with batteries User's needs Daily household consumers Constant over the year Average 97 kWh/Day
System information PV Array Nb. of modules 50 units Pnom total 22.00 kWp	Battery pack Technology Lithium-ion, LFP Nb. of units 88 units Voltage 51 V Capacity 4444 Ah

Results summary

Available Energy 28601 kWh/year	Specific production 1300 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 81.71 %
Used Energy 26988 kWh/year		Solar Fraction SF 76.08 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Detailed User's needs	4
Main results	5
Loss diagram	6
Special graphs	7



Project: CFPA El Biodh

Variant: Nouvelle variante de simulation

PVsyst V7.2.16

VC0, Simulation date:
15/06/22 22:16
with v7.2.16

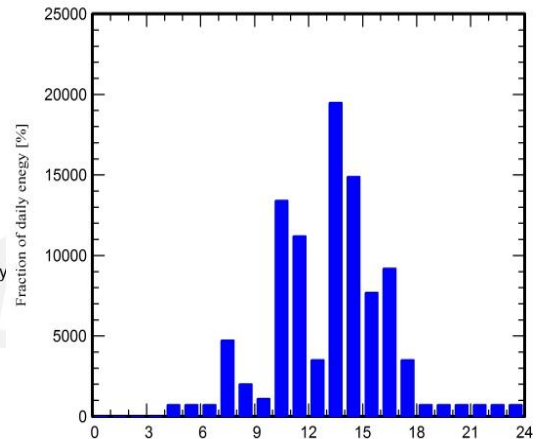
Detailed User's needs

Daily household consumers, Constant over the year, average = 97 kWh/day

Annual values

	Number	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Lampes (LED ou fluo)	160	25W/lamp	3.0	12000
ordinateur bureautiques+ordinateurs	2	350W/app	4.0	44800
machine couture	7	500W/app	4.0	14000
eclairage centre	12		10	7200
climatiseur	3	1230W tot	4.0	14760
imprimant laser	4	550W tot	2.0	4400
Consomm. de veille			24.0	24
Total daily energy				97184Wh/day

Hourly distribution





Project: CFFA El Biodh

Variant: Nouvelle variante de simulation

PVsyst V7.2.16

VC0, Simulation date:
15/06/22 22:16
with v7.2.16

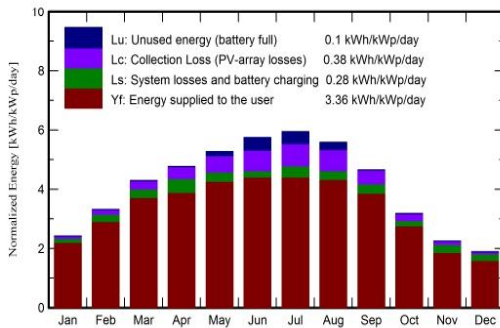
Main results

System Production

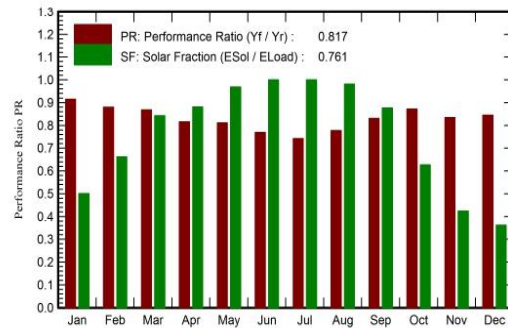
Available Energy 28601 kWh/year
Used Energy 26988 kWh/year
Excess (unused) 806 kWh/year
Loss of Load
Time Fraction 26.5 %
Missing Energy 8484 kWh/year

Specific production 1300 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR 81.71 %
Solar Fraction SF 76.08 %
Battery aging (State of Wear)
Cycles SOW 97.5 %
Static SOW 90.0 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	43.1	73.5	1519	0.0	1504	1509	3013	0.501
February	61.6	91.0	1856	0.0	921	1800	2721	0.661
March	104.5	130.1	2617	0.0	473	2540	3013	0.843
April	127.8	139.9	2741	0.0	346	2570	2916	0.881
May	161.8	159.6	3071	92.4	96	2916	3013	0.968
June	176.1	168.2	3185	278.9	0	2916	2916	1.000
July	184.4	180.1	3390	272.8	0	3013	3013	1.000
August	158.4	169.3	3174	162.3	56	2957	3013	0.981
September	114.0	136.7	2636	0.0	362	2554	2916	0.876
October	73.8	96.4	1908	0.0	1124	1889	3013	0.627
November	43.2	66.1	1331	0.1	1679	1237	2916	0.424
December	34.4	57.4	1173	0.0	1923	1089	3013	0.362
Year	1283.1	1468.3	28601	806.5	8484	26988	35472	0.761

Legends

GlobHor Global horizontal irradiation
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
E_Avail Available Solar Energy
EUnused Unused energy (battery full)
E_Miss Missing energy
E_User Energy supplied to the user
E_Load Energy need of the user (Load)
SolFrac Solar fraction (EUsed / ELoad)



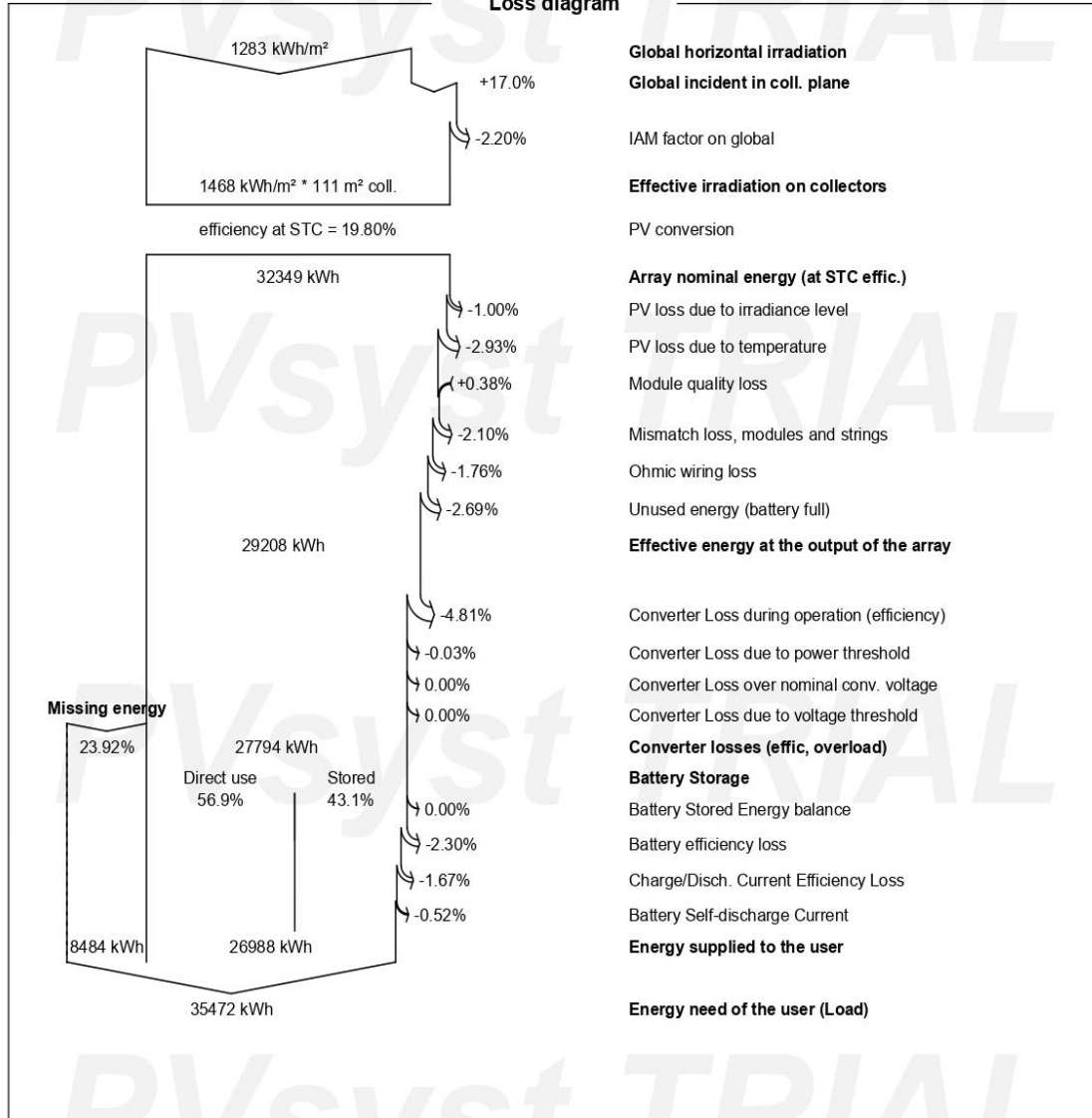
Project: CFPA El Biodh

Variant: Nouvelle variante de simulation

PVsyst V7.2.16

VC0, Simulation date:
15/06/22 22:16
with v7.2.16

Loss diagram





Project: CFFPA El Biodh

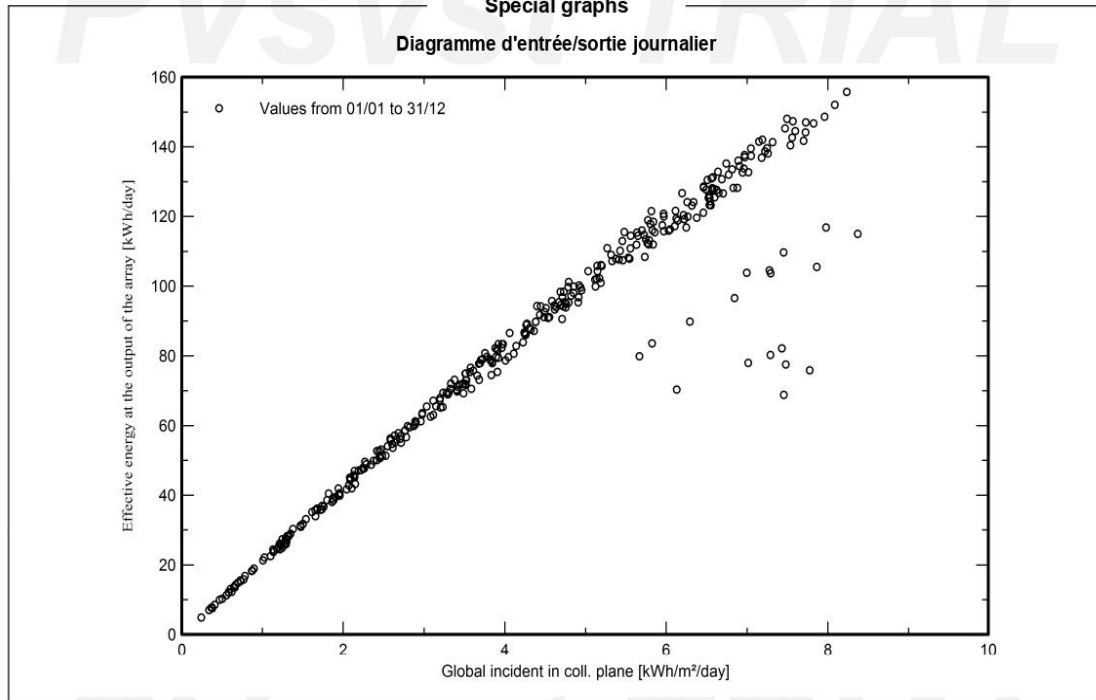
Variant: Nouvelle variante de simulation

PVsyst V7.2.16

VC0, Simulation date:
15/06/22 22:16
with v7.2.16

Special graphs

Diagramme d'entrée/sortie journalier





CONCLUSION GENERALE





Conclusion générale

L'étude de dimensionnement est toujours confrontée par deux critères essentiels qui sont gisement solaire et la demande de l'énergie. Cette gestion d'énergie s'appuie sur l'intelligence des dispositifs de régulation et de contrôle utilisés. Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque revient à déterminer le nombre nécessaire des panneaux solaire constituant le champ photovoltaïque pour adopter un système PV suffisant pour couvrir les besoins de la charge à tout instant ainsi que la capacité de charge de la batterie. Ces deux éléments sont les plus importants en raison du coût élevé qu'ils totalisent (plus de 50% du prix de l'installation) et du degré de satisfaction.

Les outils d'aide au dimensionnement sont souvent des logiciels de simulation de systèmes photovoltaïques. Ils fournissent une estimation de l'énergie produite et de sa distribution, et quantifient les effets perturbateurs de manière à identifier les points faibles du site et optimiser l'ensemble du système photovoltaïque.

Dans les deux premiers chapitres, l'étude théorique nous a aidés à entamer notre travail.

Dans le troisième chapitre le logiciel de simulation que nous avons utilisé comme : PVSYST répondent correctement aux choix des composants constituant notre installation, plusieurs résultats sont obtenus avec de meilleures perspectives.



RESUME



Résumé

Ce travail a pour but l'étude technico-économique d'une installation photovoltaïque qui alimente un établissement scolaire représenté par le "CFPA" el biodh saieh mohamed wilaya de naama.

En se basant sur les paramètres réels du site, nous proposons une méthode de conception de l'installation à l'aide du logiciel PVSYST. Nous avons déterminé le dimensionnement des différents composants du système PV.

Une comparaison économique est faite entre le système PV et la solution classique concernant l'extension du réseau électrique pour l'alimentation du site.

Mots clé : Système photovoltaïque, Dimensionnement du système photovoltaïque, évaluation économique.

Abstract

The objective of this work is the technical and economic study of the photovoltaic installations that supply the "CFPA" el biodh saieh mohamed, the Wilayat of Naama.

Based on the actual site settings, we present a method to design the facility using PVSYST software. We have sized the various components of a PV system.

An economic comparison is made between the photovoltaic system and the conventional solution regarding the extension of the electrical grid to supply the site.

Keywords: photovoltaic system, photovoltaic system scaling, economic evaluation.

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو الدراسة الفنية والاقتصادية للمنشآت الكهروضوئية التي تزود مركز التكوين المهني والتمهين السايح محمد بالبيوض ولاية النعامة بناء على إعدادات الموقع الفعلية، نقدم طريقة لتصميم المنشأة باستخدام برنامج PVSYST لقد حددنا حجم المكونات المختلفة لنظام الكهروضوئية.

يتم إجراء مقارنة اقتصادية بين النظام الكهروضوئي والحل التقليدي فيما يتعلق بتوسيع الشبكة الكهربائية لتزويد الموقع. **الكلمات المفتاحية:** النظام الكهروضوئي، تحجيم النظام الكهروضوئي، التقييم الاقتصادي.