RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

CENTRE UNIVERSITAIRESALHI AHMED– NAAMA

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

DÉPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Électrotechnique

Option : **Énergies renouvelables en Électrotechnique**

Intitulé :

ÉTUDE ET SIMULATION D'UN MICRO-GRID INTÉGRÉ PV-BATTERIE.

Présenté par :

- **Bendaho Souhila**
- **Bouzidi Fatima Zahra Ikram**
- **Bendaho tayyib**

Soutenu le :27 /06/2021 devant le Jury :

Mme.REKKAL Kahina	***MCB***	***Centre Universitaire Naâma***	***Président***
M. KHASSAM Medjdoub	***MCB***	***Centre Universitaire Naâma***	***Encadreur***
M.BOUDDOU Riyad	***PHD***	***Centre Universitaire Naâma***	***Co-Encadreur***
M. LAHCEN Mohamed Redha	***MCA***	***Centre Universitaire Naâma***	***Examinateur***

Naama – Algérie - 2021

بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciements

Avant tous, nous remercions Allah tout puissant qui nous a aidés à réaliser notre rêve Et de terminer notre chemin jusqu'au bout.

Présenter ce travail est une opportunité pour nous de remercier les êtres qui par leur Présence et leur soutient ont fait de cet année un moment de plaisir.

Nos sincères remerciements sont attribués à nos parents pour leurs conseils et tout Ce qu'ils ont fait pour nous.

Nous remercions chaleureusement notre encadreur Mr Khassem madjdoub et Bouddo Riadh nous Avoir Guidés durant ce projet de fin d'étude et d'avoir mis à notre disposition toutes Les ressources nécessaires à son accomplissement.

Nous tenons à remercier vivement le président et les membres de jury qui nous Ferons honneur d'examiner notre travail et de nous avoir honorés en acceptant de
Juger ce travail.

Sans oublier tous ceux qui ont contribué de près ou loin à la réalisation de
Ce mémoire.

Dédicace

Je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donner la force et le courage de finir ce

Modeste travail, qui est le fruit de mes années de quête et de savoir.

A mes très chers parents en signe de ma profonde et affectueuse reconnaissance

Pour leur amour sans mesure, tous les sacrifices, leurs soutiens, leurs tolérances et

les Encouragements manifestés pour moi. Tous les mots restent

Faibles pour leur Exprimer les sentiments envers moi.

A mon trèschèr frère Tayeb qui ma bien soutenu .

A ceux dont je ne peux oublier leur soutien, mes chères sœurs Naima et leurs filles

Aroua etoumiama et morthdaet que j'aime et ma sœur Amina et a ma très chère amie Sans oublierS.Amina ainsi que mes cousins Abdallah, ismail

Mon encadreur Mr khassemmadjdoub et bouddoRiadpour ses conseils et directives.

Tous les enseignants qui ont contribué à ma formation durant mes études.

Mon binôme B.Ikrem

A Toutes celles qui ne figurent pas dans cettededicace .

Souhila

Dédicace

Je dédie ce travail à :

- ***Mes chers parents*** *; Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être. J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez fondé en moi, et que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux.*

- *A mon cher frère* ***Mehdi***

A tous les moments d'enfance passés avec toi mon frère, en gage de ma profonde estime pour l'aide que tu m'as apporté. Tu m'as soutenu, réconforté et encouragé. Puissent nos liens fraternels se consolider et se pérenniser encore plus.

A TOUTE MA FAMILLE

Aucun langage ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour votre soutien et encouragements. Je vous dédie ce travail en reconnaissance de l'amour que vous m'offrez quotidiennement et votre bonté exceptionnelle. Que Dieu le Tout Puissant vous garde et vous procure santé et bonheur.

A mes amies ***mghniya, mbarka, Asma , Souhila*** *Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des sœurs et des amies sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.*

Tous les enseignants qui ont contribué à ma formation durant mes études.

Mon binôme ***Ben. Souhila***

A Toutes celles qui ne figurent pas dans cette dédicace.

Ikram

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

La mémoire de mon père, et à ma mère, en témoignage de

Ma reconnaissance et ma gratitude pour leur soutien et leur

Compréhension durant toutes mes études.

A mes frères et mes amis

Tayyib

Résumé

Généralement, l'intégration directe de sources d'énergies renouvelables dans les réseaux électriques existants peut créer de nouveaux défis, dû principalement à la variabilité et à l'incertitude de ces sources d'énergie, pour arriver à ce but, l'introduction du concept de réseau intelligent a permis de relever ces défis en permettant l'intégration économique de ce type d'énergie. Le travail réalisé dans ce mémoire se concentre principalement sur la représentation de micro réseau qui est une solution innovante aux problèmes du réchauffement climatique et de la pollution environnementale. Ces systèmes comprennent des producteurs d'énergie, de multiples charges électriques ainsi que des systèmes de stockage. Ce mémoire met en œuvre la simulation d'un micro-grid. Avec plusieurs sources d'énergies renouvelables. Les résultats obtenus sous Matlab/Simulink montrent le fonctionnement du micro-réseau selon différents types de charges.

Mots clés : Energie renouvelable, Réseaux Intelligent, Logiciels.

Abstract

Generally, the direct integration of renewable energy sources into existing electricity grids can create new challenges, mainly due to the variability and uncertainty of these energy sources, to achieve this goal, the introduction of smart grid concept made it possible to meet these challenges by allowing the economic integration of this type of energy. The work carried out in this thesis mainly focuses on the representation of micro-grid which is an innovative solution to the problems of global warming and environmental pollution. These systems include power generators, multiple electrical loads, and storage systems. This thesis implements the simulation of a micro-grid. With several renewable energy sources. The results obtained under MATLAB / Simulink show the functioning of the micro-grid according to different types of loads.

Keywords: Renewable energy, Intelligent networks, Software.

ملخص

بشكل عام، يمكن أن يؤدي الدمج المباشر لمصادر الطاقة المتجددة في شبكات الكهرباء الحالية إلى خلق تحديات جديدة، ويرجع ذلك أساسًا إلى التباين وعدم اليقين في مصادر الطاقة هذه، لتحقيق هذا الهدف، أتاح إدخال مفهوم الشبكة الذكية مواجهة هذه التحديات من خلال السماح التكامل الاقتصادي لهذا النوع من الطاقة. يركز العمل الذي تم تنفيذه في هذه الأطروحة بشكل أساسي على تمثيل الشبكات الصغيرة التي تعد حلاً مبتكرًا لمشاكل الاحتباس الحراري والتلوث البيئي. تشمل هذه الأنظمة مولدات الطاقة، وأحمال كهربائية متعددة، وأنظمة تخزين. تطبق هذه الأطروحة محاكاة الشبكة الدقيقة. مع العديد من مصادر الطاقة المتجددة. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها تحت Matlab / Simulink عمل الشبكة الدقيقة وفقًا لأنواع مختلفة من الأحمال. الكلمات المفتاحية: الطاقة المتجددة، الشبكات الذكية، البرمجيات.

Chapitre I

Généralités sur les systèmes à énergie photovoltaïque

Figure (I .1). L'énergie solaire photovoltaïque…… **4**

Figure (I.2). Excitation des électrons de valence par les photons et la jonction (P-N) …… **6**

Figure (I.3) : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque…… **6**

Figure (I.4) : Semi-conducteur de type N…… **7**

Figure (I.5) : Semi-conducteur de type P…… **8**

Figure (I.6) : Jonction PN à l'équilibre…… **8**

Figure (I.7) : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque…… **9**

Figure (I.8) : Silicium Monocristallin…… **10**

Figure (I.9) : Silicium Polycristalline…… **11**

Figure (I.10) : Cellule au silicium amorphe…… **11**

Figure (I.11) : Schéma ´équivalent d'une cellule photovoltaïque…… **15**

Figure (I.12) : Caractéristique courant tension de Ns cellule en série…… **16**

Figure (I.13) : Caractéristique courant tension de Np cellule en parallèle…… **17**

Figure (I.14) : Potentiel en monde …… **18**

Figure (I.15) : Schéma de la cellule électrochimique…… **20**

Figure (I.16) : Evolution de la tension et du courant avec le temps durant la charge d'un élément plomb acide…… **21**

Figure (I.17) : Composition d'une batterie solaire plomb- Acide……. **23**

Chapitre II

Modélisation et contrôle des micro grids

Figure (2.1). L'étude de micro-réseau…… **28**

Figure (2.2). Convertisseurs statiques…… **32**

Figure (2.3). Schéma bloc de redresseur……. **33**

Figure (2.4). Schéma bloc d'onduleur……. **34**

Figure (2.5). Schéma bloc d'hacheur……. **34**

Figure (2.6). : schéma bloc de gradateur……. **35**

Figure (2.7). Schéma électrique équivalent pour le modèle PV…… **36**

Figure (2.8). Schéma du système global étudié…… **43**

Figure (2.9). Gestion instantanée de la production décentralisée sans système de stockage…… **46**

Chapitre III

Simulation numérique et discussion des résultats

Figure (3.1) : Schéma block de simulation d'un micro-réseau sur Matlab/Simulink……. **50**

Figure (3.2) : Puissance consommée par la charge…… **50**

Figure (3.3) : Organigramme de gestion…… **53**

Figure (3.4). : La puissance Produite par les panneaux Solaire……. **54**

Figure (3.5). La puissance secondaire……. **55**

Liste des Figures

Figure (3.6). La puissance de batterie..... **56**

Figure (3.7). Battery_SOC..... **58**

Figure (3.8).). Horloge de simulation de system de temps (hour24h) **59**

Figure (3.9). Tension primaire et secondaire de réseau..... **59**

Figure (3.10). Courant primaire et secondaire de réseau..... **60**

Figure (3.11). La puissance Produite par les panneaux Solaire lorsqu'en a un ombrage partiel.... **61**

Figure (3.12). La puissance secondaire lorsqu'en a un ombrage partiel **62**

Figure (3.13). Puissance consommée par la charge lorsqu'en a un ombrage partiel **62**

Figure (3.14). La puissance de batterie lorsqu'en a un ombrage partiel **64**

Figure (3.15). Battery_SOC..... **65**

Figure (3.16). Tension primaire et secondaire de réseau..... **67**

Figure (3.17). Courant primaire et secondaire de réseau..... **67**

Figure (3.18). La puissance Produite par les panneaux Solaire lorsqu'en un ombrage total défaut. **68**

Figure (3.19). La puissance secondaire lorsqu'en un ombrage total défaut..... **69**

Figure (3.20). Puissance consommée par la charge lorsqu'en un défaut **70**

Figure (3.21). La puissance de batterie lorsqu'en un défaut **72**

Figure (3.22). Battery_SOC..... **74**

Figure (3.23). Tension primaire et secondaire de réseau…… **75**

Figure (3.24). Courant primaire et secondaire de réseau…… **75**

Figure (3.25). Courant de la batterie…… **76**

Chapitre I

Tableau (1.1) : Différentes technologies de cellule…… 13

Chapitre II

Tableau. (2.1) : Etat des Switch pour les déférentes modes…… 45

Chapitre III

Tableau (3.1) : Données de profile de charge…… 50
Tableau (3.2) : Puissance consommée par la charge…… 51
Tableau (3.3) : La puissance Produite par les panneaux Solaire…… 54
Tableau (3.4) : La puissance secondaire…… 55
Tableau (3.5) : La puissance de batterie…… 57
Tableau (3.6) : Battery_SOC…… 58
Tableau (3.7) : La puissance Produite par les panneaux Solaire lorsqu'en a un ombrage partiel…… 60
Tableau (3.8) : La puissance secondaire lorsqu'en a un ombrage partiel…… 61
Tableau (3.9) : Puissance consommée par la charge lorsqu'en a un ombrage partiel…… 63
Tableau (3.10) : La puissance de batterie lorsqu'en a un ombrage partiel…… 64
Tableau (3.11) : : Battery_SOC…… 66
Tableau (3.12) : La puissance Produite par les panneaux Solaire lorsqu'en un ombrage total défaut…… 68
Tableau (3.13) : La puissance secondaire lorsqu'en un ombrage total défaut…… 69
Tableau (3.14) : Puissance consommée par la charge lorsqu'en un défaut……..... 71
Tableau (3.15) : La puissance de batterie lorsqu'en un défaut……..... 73
Tableau (3.16) : Battery_SOC…… 74
Tableau (3.17) : Courant de la batterie**…**…… 76

Symbole	Désignation	Unités
Φ	Le flux ´énergétique	[Wb]
α	Le coefficient d'absorption du matériau	/
θ	Angle d'incidence pour le rayonnement solaire	[°]
Vco	Tension du circuit ouvert	[V]
ICC	Courant de court-circuit	[A]
Ns	Cellules en série	/
ICCP	La somme des courants de cout circuit de (NP) cellule en parallèle	/
V CONS	La somme des tensions en circuit ouvert de Ns cellules en série	/
C	La capacité	/
AC	Alternatif	[A]
DC	Continu	[A]
I	Courant	[A]
I_0	Courant de saturation inverse de la diode	[A]
R_{sh}	Résistance shunt d'un module	[Ω]
Tc,ref	Température du module aux conditions de référence	[K]
T_a q	Constante de charge d'un électron	/
Eg	Gap [eV]	[eV]
$I_{L,ref}$	Photo-courant du module aux conditions de référence	[A]

α_{Isc}	Coefficient de température du courant de court-circuit	/
$R_{s,ref}$	Résistance série d'un module aux conditions de référence	[Ω]
R_s	Résistance série d'un module	[Ω]
T_a	Température ambiante	[K]
θ_r	Angle de réfraction	[°]
$T_{a,NOCT}$	Température du module aux conditions NOCT	[K]
$G_{T,NOCT}$	Rayonnement incident aux conditions NOCT	[W.m-1]
β_{voc}	Coefficient de température de la tension en circuit ouvert	[v.k-1]
$\tau\alpha$	Produit du module de transmission absorption	/
$E_{g,Tref}$	Gap à la température de référence (1,121 eV pour le silicium)	[eV]
$V_{oc,ref}$	Tension de court-circuit aux conditions de référence	[V]
$V_{mp,ref}$	Tension au point de puissance maximum de la courbe caractéristique IV aux conditions de référence	[V]
V_{mp}	Tension au point de puissance maximum de la courbe caractéristique IV [V]	/
Soc	State of charge	/
M	La masse d'air	[Kg/m^3]
Mref	La masse d'air que la radiation du rayon solaire	[Kg/m^3]

Remerciements.....

Dédicace .....

Résumés.....

Liste de figures.....

Liste de tableaux.....

Liste de abréviations est symbole

Introduction Générale 1

CHAPITRE I

Généralité sur les systèmes photovoltaïque

1.1. Introduction..... 3

1.2. Cellule photovoltaïque …… 3

1.2.1. Définition de le solaire photovoltaïque…… 3

1.2.2. Historique..... 4

1.2.3. L'effet photovoltaïque …… 5

1.2.4. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque…... …… 6

1.2.4.1. Le dopage des semi-conducteur……. …… 6

1.2.5. Description du fonctionnement d'une cellule photovoltaïque. 9

1.3. Différentes technologies de cellules solaires…… 9

1.3.1Technologiesde la première génération à base de silicium cristallin…… 10

1.3.2. Technologie de la deuxième génération à base de couche-mince…… 11

1.3.3. Technologie de la troisième génération « Les cellules organiques » …… 12

1.4. Caractéristique de la cellule photovoltaïque…… 14

1.4.1. Rayonnement solaire…… 14

1.4.2. Absorption…… 14

1.4.3. Caractéristique courant-tension…… 14

1.4.4. Circuit ´électrique ´équivalent…… 15

1.5. Regroupement des cellules…… 16

1.5.1. Regroupement des cellules en série…… 16

1.5.2. Regroupement des cellules en parallèle…… 16

1.5.3 Regroupement des cellules en série- parallèle…… 17

1.6. Potentiel Solaire…… 17

1.7. Potentiel en monde …… 18

1.8. Programme national de développement des énergies renouvelables 18

1.9. Les accumulateurs électriques (batteries)…… 19

1.10. Propriétés électriques pour caractériser une batterie…… 20

1.10.1. Capacité de batterie……. 20

1.10.2. Tension de batterie …… 21

1.10.3. La recharge de batterie……..... 21

1.10.4. L'auto décharge…… 22

1.10.5. La durée de vie de la batterie……. 22

1.11. Différents types d'accumulateurs …… 22

1.11.1. Batterie plomb-acide…… 22

1.11.1.1 Batterie en plomb ouvert…… 22

1.11.1.2 La batterie étanche "VRLA"…… 23

1.11.2. Batterie Ni-CD (Nickel-Cadmium) ……... 23

1.11.3. Batterie Ni-MH (Nickel-Métal-Hydrure) …… 24

1.11.4 Batterie Li-ion (Lithium-ion) ……... 24

1.12. Entretien des batteries…… 24

1.13. Avantages et inconvénients de la photovoltaïques…… 25

1.14. Conclusion ……. 26

CHAPITRE II

Modélisation et contrôle des micro-réseau

2.1. Introduction..... 27

2.2 L'étude de micro-réseau…… 27

2.2.1 Définition de micro-réseau…… 27

2.2.2 Configuration d'un micro-réseau…… 28

2.2.3 Principe de fonctionnement d'un micro-réseau…… 29

2.2.4 Les défis technico-économiques du micro grids …… 29

2.3 Catégorie de micro-réseau…… 30

2.3.1 Micro réseaux connecté au grids (réseau principale) …… 30

2.3.2 Micro réseaux isolés du grids …… 30

2.4 Modes de fonctionnement de micro-réseaux…… 31

2.4.1 Mode iloté ……..... 31

2.4.2 Mode réseau connecté…… 31

2.4.3 Réseaux connecté en mode iloté…… 31

2.5 Les capacités du micro-réseau de Clarke Energy…… 32

2.6 Les convertisseurs statiques…… 32

2.6.1 Convertisseurs AC/DC…… 33

2.6.2 Convertisseur DC/AC…… 34

2.6.3 Convertisseur DC/DC…… 34

2.6.4 Convertisseur AC/AC…… 35

2.7 Modélisation d'un micro réseau …… 35

2.7.1Modélisation de la charge …… 35

2.7.2 Modélisation de la production décentralisée…… 35

2. 7.2.1Modélisation des panneaux photovoltaïques……. 36

2.8 Gestions des systèmes énergétiques hybrides…… 42

2.8.1 Différents scénarios pour la gestion d'énergie ……..... 43

2.8.2 Algorithme de gestion…… 44

2.8.3 Différents commutations des interrupteurs pour la gestion d'énergie … 45

2.9 Stratégie de gestion des ressources énergétique…… 45

2.9.1 Production décentralisée sans système de stockage…… 45

2.9.2 production décentralisée avec système de stockage……. 46

2.10 Avantages et inconvénients des micro-réseaux…… 47

2.11 Conclusion…… 48

CHAPITRE III

3.1. Introduction…… 49

3.2. Description du Micro grids…… 49

3.3. Simulation et analyse des résultats…….. 52

3.4. Objectif des scenarios…… 53

3.5. Scénarios proposés …… 54

3.5.1 Scénarios 1 : sans ombrage sans défaut…… 54

3.5.2. Scénarios 2 : avec ombrage partielle …… 59

3.5.3. Scénarios 3 : avec ombrage et défaut …… 67

3.6. Conclusion…….. 77

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale :

L'énergie est la base de toute activité humaine, de nos jours, une grande partie de la demande mondiale en énergie est assurée à partir de ressources fossiles. Cependant, les réserves de combustibles fossiles sont limitées. En effet, la croissance de la demande énergétique mondiale, l'épuisement inévitable des ressources fossiles et le réchauffement climatique causé par l'émission des gaz à effet de serre imposent le recours aux énergies propres. Certains pays développés se sont orientés vers l'énergie nucléaire qui présente des risques d'accidents graves. C'est pourquoi on s'intéresse actuellement aux énergies renouvelables.

Les énergies renouvelables se manifestent comme une solution potentielle à la réduction de la pollution. Parmi les moyens de production prometteurs le photovoltaïque (PV) apparait aujourd'hui comme le plus approprié et le plus abouti à la production renouvelable et propre l'électricité.

L'avantage principal de cette énergie renouvelable est que son utilisation ne pollue pas l'atmosphère et elle ne produit pas de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et les oxydes d'azote qui sont responsables du réchauffement de la terre. Notre étude est réservée à l'installation d'un système solaire qui alimente un bâtiment d'équipement électrique. Avant, L'énergie solaire photovoltaïque était limité aux applications rurales pour l'alimentation des sites isolés en électricité comme cela a été le cas en Algérie. Mais depuis quelques années, le solaire photovoltaïque a fait son entrée dans les agglomérations, ce qui a pour effet l'augmentation sensible de la demande en modules photovoltaïques.

Afin de mieux exploiter cette énergie, il est nécessaire de connaître la distribution de l'irradiation solaire sur le lieu de l'implantation prévu pour l'installation photovoltaïque, pour différentes orientations et inclinaisons.

L'objectif de ce travail est un étude et simulation d'un micro-grid intégré PV-batterie avec une production d'énergie et une charge variable en utilisant un modèle de contrôle prédictif à travers logiciel Matlab.

Le travail présenté dans ce mémoire a porté sur l'intégration des panneaux solaires dans le micro-réseau. Pour se faire, nous avons décomposé ce manuscrit de la façon suivante :

- Dans le premier chapitre, nous allons présenter des généralités sur les panneaux photovoltaïques, leurs fonctionnements, leurs caractéristiques ainsi que leurs modélisations.
- Dans le deuxième chapitre, nous allons étudier le micro-réseau, sa définition, sa configuration, ses avantages et ses inconvénients.
- Le troisième chapitre sera consacré à la modélisation et la simulation du micro-réseau au complet.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉ SUR LES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

1.1 Introduction

Habituellement, la recherche et le développement des technologies photovoltaïques ont été axés sur l'analyse des rayonnements, les stratégies d'exploitation efficaces, la conception et le dimensionnement de ces systèmes ; oubliant certains aspects critiques et les conditions externes qui pourraient affecter le fonctionnement du système photovoltaïque. Le vieillissement des modules photovoltaïques est un processus qui évolue naturellement avec les années de fonctionnement du module, ces effets comprennent principalement là décoloration de l'encapsulant, généralement l'éthylène-acétate de vinyle (EVA), la dégradation du revêtement anti-réfléchissant (AR), la formation de points chauds, l'intrusion d'humidité, la délamination, la corrosion et les fissures. Cependant, en raison de la nature compliquée par laquelle ces effets de vieillissement apparaissent, progressent, se transforment et provoquent d'autres effets de dégradation, la prédiction de la progressionexacte du vieillissement peut être difficile. Compte tenu du temps que le vieillissement prendpour apparaitre, les fabricants des modules ainsi que les chercheurs des laboratoires ont travaillé avec diligence afin de trouver une alternative permettant d'anticiper les mécanismesde défaillance et d'établir des normes de qualité pour les modules photovoltaïques.

Ce chapitre présente une généralité sur les systèmesphotovoltaïque et les batteries.

1.2 Cellule photovoltaïque :

1.2.1 Définition de le solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables et la plus utilisée. Elle est transmise à la terre à travers l'espace sous forme de photons et de rayonnement électromagnétique. Elle consiste à convertir directement le rayonnement solaire en électricité. Ont utilisant des convertisseurs photovoltaïques ou cellules photovoltaïques qui représentent l'élément de base dans la conversion photovoltaïque. [1]

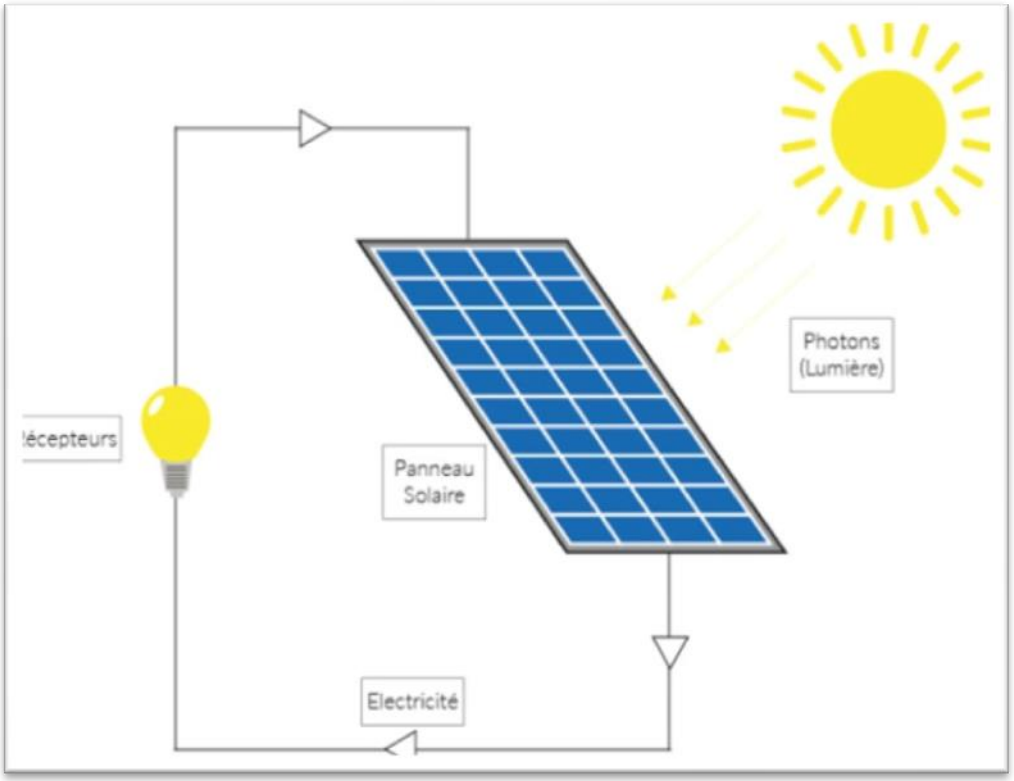


Figure (1 .1). L'énergie solaire photovoltaïque [1]

1.2.2 Historique

Le terme « photovoltaïque » vient du mot « photo » (du grec « phots » qui signifie« Lumière ») et du mot « volt » (patronyme du physicien Alessandro Volta qui a contribué de Manière très importante à la recherche en électricité) [2], appelé aussi module photovoltaïque Ou PV il permet la transformation directe de la lumière solaire en électricité par un procèsAppelé « l'effet photovoltaïque » au moyen de cellules généralement à base de silicium.Le développement des cellules photovoltaïque a commencé en 1839 lorsque Henri Becquerel a observé le comportementNt électrique d'électrodes immergées dans un liquide conducteur exposé à la lumière [3]. En 1883, Charles Fritts met au point la première cellule fonctionnelle. Elle est à base de sélénium et d'or, elle présente un rendement d'environ 1% [4]. En 1905, Albert Einstein explique l'effet photoélectrique. L'application directe de cette découverte majeure en physique n'a eu lieu qu'au milieu du 20ème siècle avec la mise au point de la première cellule solaire à base de silicium cristallin avec un rendement énergétique de 6% au laboratoire Bel (Etats Unis d'Amérique) en 1954[5]. Toutefois, la commercialisation des cellules photovoltaïques a échoué en raison de leurs coûts prohibitifs. Quelques années plus tard commence la conquête de l'espace, ce qui permet aux cellules

solaires à base de semi-conducteurs comme le silicium de voir le jour en tant qu'applications Commerciales. En 1958 une cellule avec un rendement de conversion de 9% est mise au point et les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace. Cependant, jusqu'au milieu des années 70, les photopiles étaient vraiment trop chères pour être économiquement utilisées sur terre ce qui a retardé cette nouvelle source d'énergie de s'imposer en dehors du domaine spatial.

Aujourd'hui la technologie du silicium domine le marché de la conversion photovoltaïque avec autour de 90% de la production des panneaux solaires [6]. La plupart des modules commerciaux actuellement ont un rendement crête compris entre 13 et 16%, alors que les rendements record dans les laboratoires sont compris entre 20 et 25% pour les différents types de matériaux cristallins [7]. Néanmoins la purification du silicium et l'utilisation de produits hautement toxiques constituent aujourd'hui un obstacle majeur au développement de l'énergie Photovoltaïque [8]. Dans ce contexte de nouvelles filière prometteuse en cours de Développement ont vu le jour comme le photovoltaïque à concentration, les pérovskites mais N'ont pas encore fait leurs preuves dans le domaine industriel. [9]

1.2.3 L'effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau Composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), dénommé comme jonction p-n (Ou n-p). Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de Manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent). Quand un Photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie (hv)à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ. Électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure, ainsi se crée un courant électrique. [10]

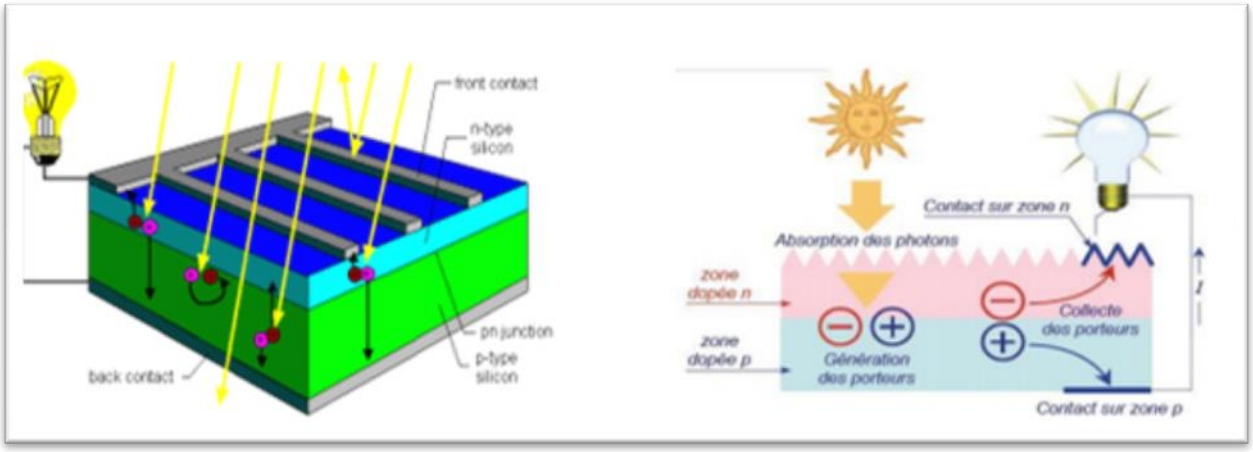


Figure (1.2) : Excitation des électrons de valence par les photons et la jonction (P-N) [10]

1.2.4 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

1.2.4.1 Le dopage des semi-conducteurs

Un matériau semi-conducteur est un matériau dont la conductibilité électrique peut varier en fonction des conditions dans lesquelles il se trouve. Afin d'améliorer la conduction de ce dernier, les fabricants injectent dans une plaquette semi-conductrice des matériaux étrangers (Impuretés), qui possèdent un nombre d'électrons périphériques juste inférieur ou juste supérieur aux 4 électrons du semi-conducteur (silicium)

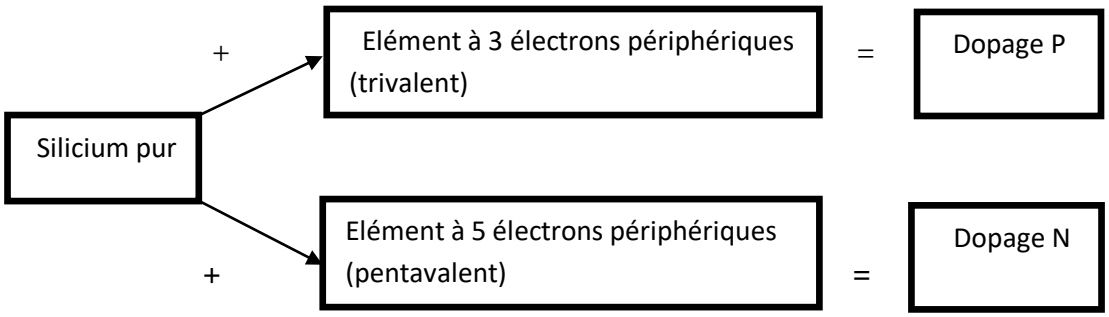


Figure (1.3) : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [11]

❖ Dopage N

Le dopage N consiste à ajouter au semi-conducteur des atomes possédant 5 électronsPériphériques (pentavalentes) tel que le Phosphore. Quatre de ces électrons vont participer à la structure cristalline, et un électron supplémentaire va se retrouver libre et pouvoir sedéplacer dans le cristal. Le semi-conducteur devient de type N, c'est-à-dire que les porteurs Majoritairement présents dans la maille cristalline sont des électrons. Nous parlons de charges

Mobiles. Les ions + sont fixes car ils font partie de la structure atomique cristalline de la Plaquette de silicium

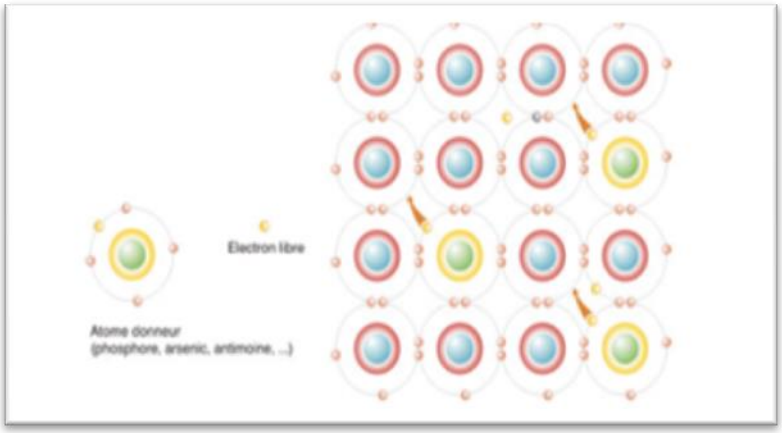


Figure (1.4) : Semi-conducteur de type N [11]

❖ Dopage P

Le dopage P consiste à ajouter au semi-conducteur des atomes possédant 3 électrons Périphériques (trivalentes) tel que le Bore. Ces trois électrons participent à la structure Cristalline, mais un "trou" est créé par chaque atome étranger puisqu'il lui manque un électron périphérique. C'est-à-dire que les charges mobiles majoritaires sont des trous (positifs) dans cette région du silicium.Les "porteurs de charges électriques" mobiles sont responsables de la conduction d'unePlaquette de silicium dopée.

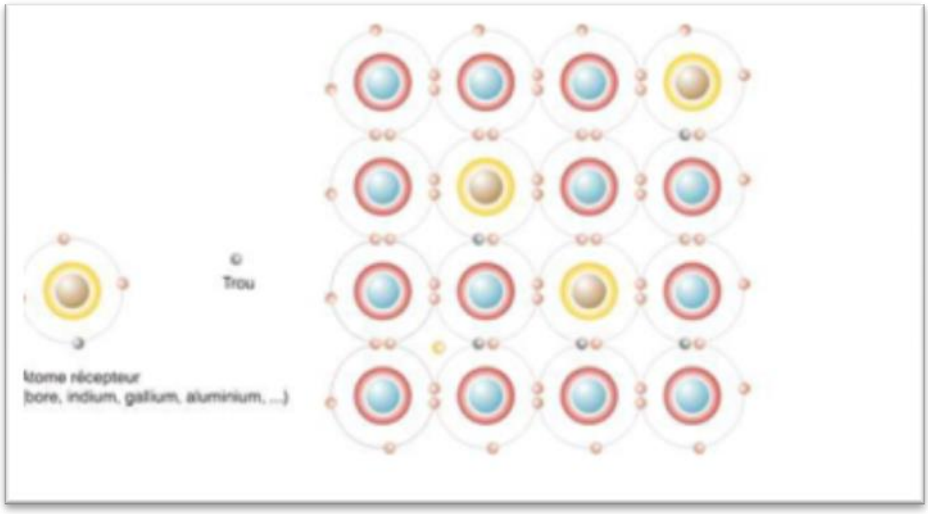


Figure (1.5) : Semi-conducteur de type P [11]

❖ **La jonction P-N**

Lorsque les deux zones sont misées en contact, certains électrons de semi-conducteur deType N passent vers le matériau de type P tandis que les trous du semi-conducteur de type P Sedéplacent au même moment dans la direction opposée. Le mouvement de ces charges Majoritairesforme des paires électron-trou neutre, nous obtenons alors une région appeléeJonction PN dans laquelle la conductibilité passe progressivement du type P au type N. [11]

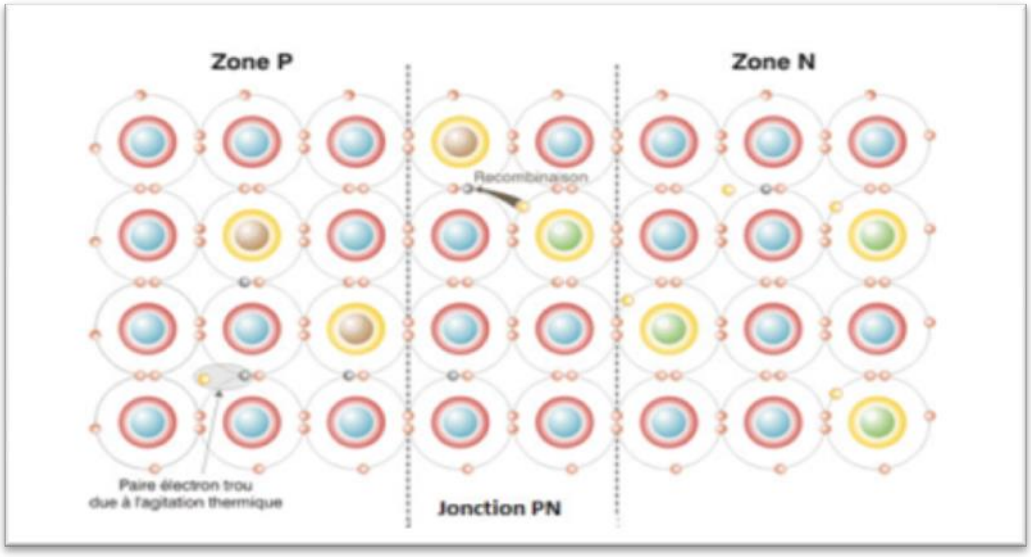


Figure (1.6) : Jonction PN à l'équilibre [11]

1.2.5 Description du fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Lorsque le soleil frappe une cellule photovoltaïque, les photons de la lumière Transmettent leurs énergies aux électrons qui sont arrachés des atomes dans lesquelles ils Laissent des trous. Les électrons et les trous ainsi formés vont avoir tendance à se recombiner,Mais lorsque le phénomène a lieu dans ou au voisinage de la jonction PN le champ électriqueVa au contraire contribuer à séparer les charges positives et négatives, les électrons sont Repoussés vers la couche N et les trous vers la couche P.Les électrons cherchant à se Recombiner avec les trous sont alors obligés de passer par un circuit extérieur pour rejoindre les trous créant ainsi un courant électrique continu qu'on Appellela photo courante. Les électrons sont délivrés sous la tension crée dans la jonction PNque l'on appelle la photo tension. Le produit des deux correspond à la puissance électrique Délivrée par la cellule qui convertie directement une partie de l'énergie lumineuse en énergie Électrique. [12]

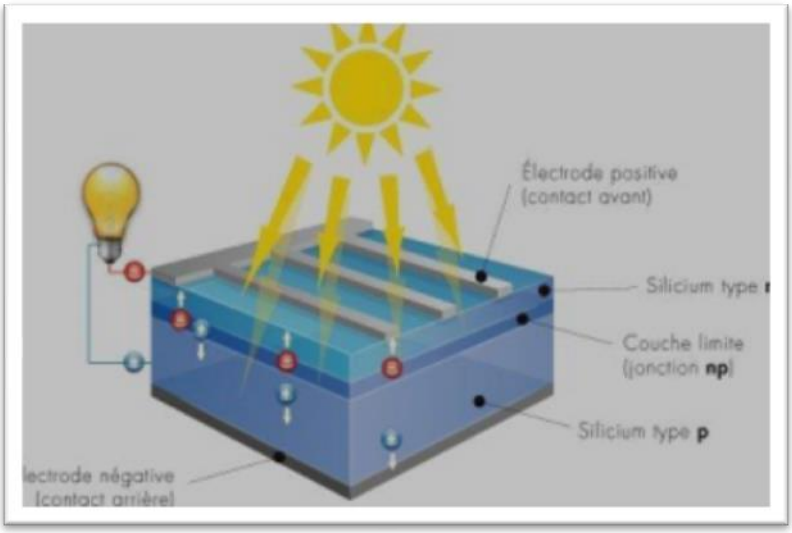


Figure (1.7) : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [12]

1.3 Différentes technologies de cellules solaires

Une grande variété de cellules photovoltaïques existe et peut être partagée en trois Grandes familles selon les technologies utilisées. La première génération existe depuisplusieurs dizaines d'années, elle offre de loin le meilleur rendement pour un rapport qualité/prix assez satisfaisant. La deuxième génération, récemment apparue regroupe les technologies dites « Couches minces », leur rendement est encore inférieur à celui des cellules cristallines mais tend à s'améliorer pour un coût inférieur. La dernière et troisième génération,

celle des Cellules organiques est en cours de développement et vise de hauts rendements avec des coûts
De productions de plus en plus basses.

1.3.1 Technologies de la première génération à base de silicium cristallin

Considérée comme la technologie photovoltaïque la plus efficace et la plus dominantela première génération comprend le monocristallin et le poly cristallin. Le silicium Monocristallin reste encore plus cher que le silicium poly cristallin mais permet d'obtenir un Rendement plus élevé, avec près de 19.8% contre 24.7% de rendement en laboratoire [13]-[14].

- **Cellule monocristalline**

La cellule monocristalline est celle qui s'approche le plus du modèle théorique. Lors Du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grandeDimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules.Cependant pour arriver à ce résultat la fabrication est complexe et coûteuse en énergie, les Rendements de conversion obtenue varient entre 14 et 16% [15].

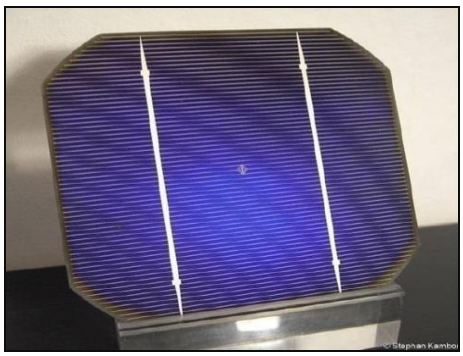


Figure (1.8) : Silicium Monocristallin

- **Cellule poly cristalline**

Contrairement à la cellule monocristalline, la cellule poly cristalline n'a pas besoin D'un silicium aussi pur et ordonné. Pour fabriquer ce matériau, on refond tous les déchets Provenant du tirage des monocristaux, on obtient des lingots qu'il faut ensuite scier en Plaquettes. Les rendements de conversion industrielle qui étaient de l'ordre de 8 à 10% avant 1980 sont actuellement de 16 à 17%. Il s'agit de la technologie la plus représentée sur leMarché du photovoltaïque car elle allie à la fois des rendements de conversion élevés avec un coût de production faible par rapport à la filière silicium monocristallin [15].

Figure (1.9) : Silicium Poly cristalline [15]

1.3.2 Technologie de la deuxième génération à base de couche-mince

Les premiers essais de couches minces remontent au milieu du XXème siècle avec de Fins dépôts sur cristaux massifs puis finalement des structures complètement à base de Couches minces [16]. Ces technologies reposent sur des matériaux possédant un fort coefficientD'absorption du spectre solaire, et promettent un avenir prometteur vu leur croissanceImportante ces dernières années.

- **Les cellules amorphes**

Les cellules amorphes sont à base d'un matériau composé de silicium hydrogéné (état non cristallin) déposé sur un substrat de verre, elles se caractérisent par un fort coefficient D'absorption, et sont souvent utilisées dans de petits produits de consommation tel que des Calculatrices solaires ou encore des montres. L'avantage de ces derniers est le fonctionnement Avec un éclairement faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment). Leurs Rendement est assez faible de 5% à 8% voir jusqu'à 13% en laboratoire, mais ne nécessite que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé [16].

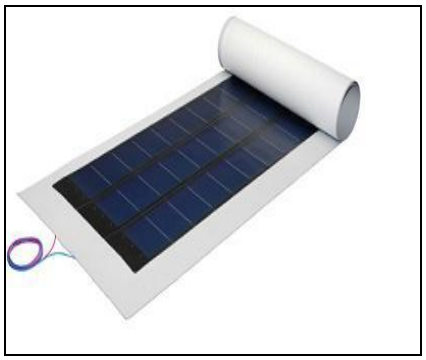


Figure (1.10) : Cellule au silicium amorphe [16]

- **Le tellurure de Cadmium (CdTe)**

Il s'agit d'une technologie extrêmement prometteuse, permettant d'obtenir des rendements tout à fait convenables (16,5% en laboratoire). De part une bande interdite de1,45eV parfaitement adaptée au spectre solaire et un très fort coefficient d'absorption, seule une couche de 2 µm est nécessaire pour obtenir un matériau trèsopaque et absorbant une grande partie du spectre solaire [17]. Cependant la limite principale au déploiement de grande ampleur de cette technologie reste la toxicité du cadmium.

- **Cuivre indium sélénium (CIS) / Cuivre indium Gallium sélénium (CIGS)**

Cette filière présente un fort potentiel de développement dans le futur (jusqu'à 20% de Rendement en laboratoire). Cependant, les matériaux nécessaires à la fabrication de ce type de Cellule ne sont pas disponibles en grandes quantités [18].

1.3.3 Technologie de la troisième génération « Les cellules organiques »

Apparues dans les années 1990, les cellules organiques font aujourd'hui l'objet d'un Sujet d'étude très active en laboratoire, ce sont des cellules photovoltaïques dont, au moins, la Couche active est constituée de molécules organiques. Il en existe principalement deux types : les cellules photovoltaïques organiques moléculaires et les cellules photovoltaïques organiques en polymères. Les progrès de ces technologies sont très rapides, des records de Rendement sont très fréquemment annoncés (actuellement près de 6%). Le principal frein à Ces technologies est actuellement la stabilité de leurs performances ainsi que leur durée de vie (actuellement environ 1000 heures d'exposition). Les nanosciences ouvrent cependant de

Nouvelles voies à leurs améliorations. Leur avenir industriel n'est pas encore établi mais ces technologies ouvriraient la voie à des modules à très bas coût, biodégradables et pouvant être intégrés à toutes formes de surface. Pratiquement, ces technologies ne sont utilisées commercialement aujourd'hui que dans le secteur de l'électronique de consommation (chargeur de GSM/ baladeur MP3) où la durée de Vie de la cellule et du produit associé sont approximativement égales (2 ans). En améliorant la durée de vie ou en réduisant les coûts de production, d'autres applications devront voir le jour dans les années à venir. [19]

Tableau 1.1 : Différents technologie de cellule [13]

	Technologies	Rendement	Avantages	Inconvénients	Durée de vie
1ére Génération	Silicium Monocristallin	14-17 %	Bon rendement Pour une cellule	Coût élevé, perte de matière première en cours de fabrication	35 ans
	Silicium Polycristallin	12-15%	Bon rendement Pour un module	Cout élevé, perte de matière première en cours de fabrication	35 ans
2 -ème Génération	Silicium Amorphe	6-10 %	Facile à Fabriquer	Mauvais Rendement	< 10 ans
	Cdte	8-11 %	Absorbe 90% Des photons incidents	Cadmium très polluant	Nan évaluée
	CIS/CIGS	10-12 %	Energie de gap ajustable 99 %des photons absorbés	Manque de matière première	5 ans
3 -ème Génération	Cellules Organiques	10 %	Faible coût De fabrication, Flexible	Rendement Enc are trop Bas	Faible Actuellement

1.4 Caractéristique de la cellule photovoltaïque

1.4.1 Rayonnement solaire

Pour ´étudier les cellules photovoltaïques, il est n´nécessaire de connaitre le spectre du rayonnement solaire reçu au sol Ce spectre est modifié par l'atmosphère `à travers trois m´mécanismes principaux : - l'absorption par les différents gaz de l'atmosphère, chacun ayant des raies caractéristiques ; La diffusion moléculaire de Rayleigh ; - la diffusion par les aérosols, les poussières et les nuages [20]

1.4.2 Absorption

Le flux ´énergétique traversant une ´épaisseur x du film organique est donne par loi de BDans les cellules photovoltaïques organiques, le matériau doit absorberlemaximum de lumière sur une ´épaisseur assez faible. Considérons un matériau organique d'une ´épaisseur e, traverse par un flux ´énergétique monochromatique éer-Lambert :

$$\varphi(x) = \varphi 0 \cdot \ell(-\alpha x) \qquad (1.1)$$

α est le coefficient d'absorption du matériau, exprime généralement en cm−1. On d´esbigne la densité optique DO par la valeur log (φ0/φ). Pour un matériau organique solide, elle est donnée donc par la relation [20] :

$$DO = 0,43 \cdot \alpha \cdot e \qquad (2.1)$$

1.4.3 Caractéristique courant-tension

Les performances d'une cellule photovoltaïque sont caractérisées par un certain nombre de paramètres, extraits de la caractéristique courant-tension - la tension de circuit ouvert (Voc) exprimée en Volts, est la tension mesurée lorsque aucun courant ne circule dans la cellule. Elle d´pend de la différence des travaux de sortie des ´électrodes et aussi de la différence entre le niveau HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) du donneur et le niveau LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital) de l'accepteur. Elle varie peu avec l'´éclairement ; - le courant de court-circuit (Isc) exprime en mA, est le courant qui circule dans la cellule sous ´éclairement sans application de tension. Il est proportionnel

`àl'´éclairement et d´pend principalement de la mobilité des porteurs de charges ; - les valeurs V-MAX et Imax sont d´finies de telle sorte que le produit | V-MAX · Imax | soit maximal Ce produit correspond `a la puissance maximale P max pouvant ˆêtre d´ livrée par la cellule photovoltaïque. [21]

1.4.4 Circuit ´électrique ´équivalent

Sous ´éclairement, la cellule photovoltaïque peut ˆêtre représentée par un circuit ´électrique ´équivalent schématise par la figure

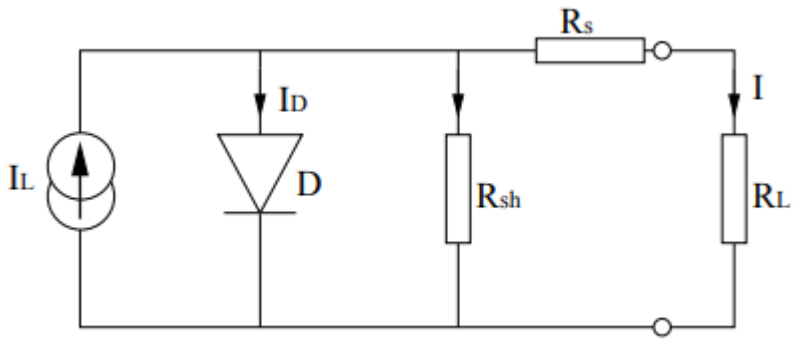


Figure (1.11) : Schéma ´équivalent d'une cellule photovoltaïque [21].

- La source de courant IL produit un courant résultant de la dissociation des excitons. Ce courant ne tient pas compte des recombinaisons des charges ;
- La résistance Shunt Rash est associée `a la recombinaison des charges (´électrons et trous) près des sites de dissociation des excitons ;
-La résistance s´Erie Rs tient compte de la mobilité des porteurs de charges dans le matériau, qui est régie par les impuretés et les barrières telles que la charge d'espace elle d´pend donc de l'´épaisseur du matériau, le risque de ralentissement des porteurs de charge augmentant avec le parcours vers les ´électrodes ; Dans le cas idéal, Rs est ´égale `à zéro et Rsh tend vers l'infini ;
- La diode D représente la conductivité asymétrique dans la cellule solaire. Elle est due au contact bloquant `a l'interface semi-conducteur/´électrode ou au champ induit `a l'interface donneur-accepteur ;
-La résistance RL représente la résistance de charge quand la cellule est connectée `a un circuit externe. [21]

1.5 Regroupement des cellules :

1.5.1 Regroupement des cellules en série

Une association de (Ns) cellule en série figure permet d'augmenter la tension duGénérateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la Caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. L'équation résume les caractéristiques électriques d'une association série de (Ns) cellules [22].

VCONS=NS*VCO (3.1)

I=IC, I CC = I C (4.1)

VCONS :la somme des tensions en circuit ouvert de Ns cellules en série.

ICC : Courant de court-circuit de Ns cellules en série.

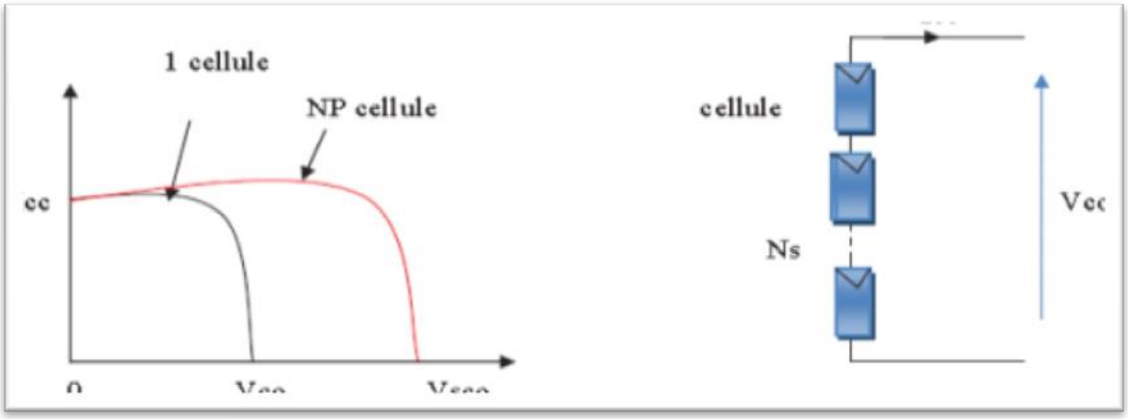


Figure (1.12) : Caractéristique courant tension de Ns cellule en série [22].

1.5.2 Regroupement des cellules en parallèle

Une association parallèle de (NP) cellule figure (1.13) est possible et permet d'accroitre leCourant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques Connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants. [22]

ICCP = NP *ICC (5.1)

VCO = VCONP (6.1)

ICCP : la somme des courants de cout circuit de (NP) cellule en parallèle.

VCO : tension du circuit ouvert de (NP) cellules en parallèle.

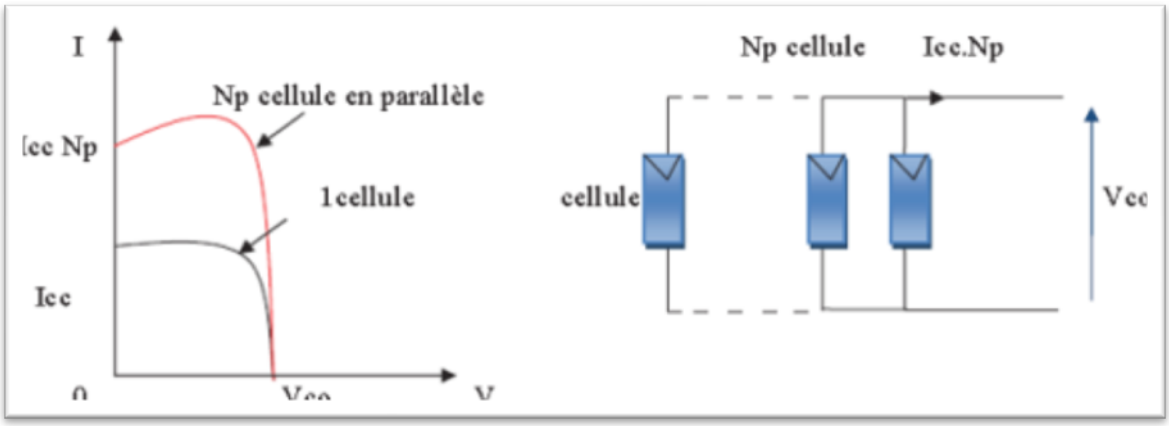


Figure (1.13) : Caractéristique courant tension de Np cellule en parallèle [22]

1.5.3 Regroupement des cellules en série- parallèle :

La connexion en série de plusieurs cellules forme une branche de cellules où on a une augmentation de tension pour même courant, un assemblage de plusieurs branches de cellules en parallèle forme un module où on a un accroissement du courant et une conservation de tension [23].

1.6. Potentiel Solaire :

Vue de sa localisation 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 annuellement sur une surface horizontale de 1m² soit près de 3 KWh/m² au nord et dépasse 5,6 KWh/m au Grand Sud.

- ❖ L'Algérie est parmi les pays les mieux dotés en ressources solaires au monde.
- L'Algérie reçoit près de 3000 heures d'ensoleillement par an et une irradiation variante entre 4 et 7 kWh/m2/jour.[24]

1.7 Potentiel en monde :

L'histoire nous apprend qu'aucun pays au monde ne s'est développé sans développement agricole. L'industrialisation de l'Europe vers la fin du XVIIIe siècle fut financé par les surplus agricoles et par les excédents de main-d'œuvre paysanne, permis par l'accroissement de la productivité agricoleCeux qui réclament l'industrialisation sans passer par la case du développement agricole se trompent. Ils se trompent d'autant plus que l'Afrique dispose de 60 % du potentiel de terres arables encore disponibles dans le monde et que la productivité agricole y est plus que quatre fois moindre que dans les pays à forts rendements. Le continent dispose en outre de plus du quart de la forêt mondiale (le plus grand réservoir de séquestration du carbone), tandis que l'urbanisation galope et gagne sur cette forêt, ainsi que sur les terres agricoles.[25]

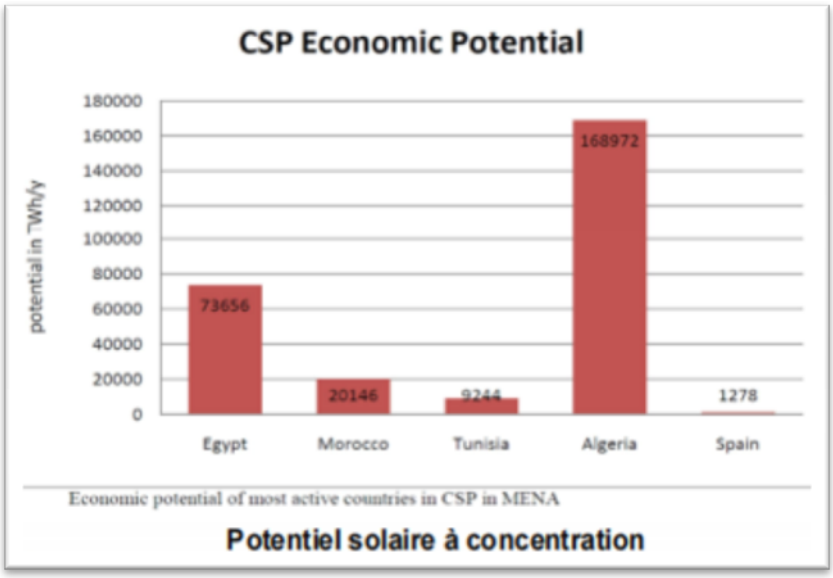


Figure (1.14) : Potentiel en monde [25]

1.8 Programme national de développement des énergies renouvelables

A travers ce programme d'énergies renouvelables, l'Algérie compte se positionner comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir des filières photovoltaïque et éolienne en intégrant la biomasse, la cogénération, la géothermie et au-delà de 2021, le solaire thermique. Ces filières énergétiques seront les moteurs d'un développement économique durable à même d'impulser un nouveau modèle de croissance économique.37 % de la capacité installée d'ici 2030 et 27 % de la production d'électricité destinée à

laconsommation nationale, seront d'originerenouvelable.Le potentiel national en énergies renouvelables étant fortement dominé par le solaire, l'Algérie considère cette énergie comme une opportunité et un levier dedéveloppement économique et social, notamment à travers l'implantation d'industries créatrices de richesse et d'emplois.La stratégie de l'Algérie en la matière vise à développer une véritable industrie des énergies renouvelables associée à un programme de formation et de capitalisation des connaissances, qui permettra à terme, d'employer le génie local algérien, notamment en matière d'engineering et de management de projets. Le programme Energie, pour les besoins d'électricité du marché national, permettra la création de plusieurs milliers d'emplois directs et indirects.[26]

1.9 Les accumulateurs électriques (batteries)

Un accumulateur électrique (électrochimique) est un système capable de restituer de l'énergie électrique à partir d'une réaction chimique. Les accumulateurs peuvent être primaires (non-rechargeables) ou secondaires (rechargeables). Lorsqu'un accumulateur est rechargeable, son fonctionnement est réversible : de l'énergie électrique peut être absorbée pour être stockée à nouveau sous forme chimique. Les batteries sont des accumulateurs formés par l'association de plusieurs éléments nommés cellules électrochimiques. Une cellule électrochimique est le composant le plus simple qui peut constituer un accumulateur électrique, elle est composée principalement de deux électrodes immergées dans un électrolyte. Deux autres composants nécessaires au fonctionnement d'une cellule électrochimique sont le séparateur et les collecteurs de courant. Les deux électrodes peuvent réagir par une réaction d'oxydoréduction, mais elles sont séparées et seulement les ions peuvent circuler à travers l'électrolyte. Pour que la réaction chimique puisse avoir lieu, les électrodes sont donc connectées par l'extérieur de la cellule à un circuit électrique. [27]

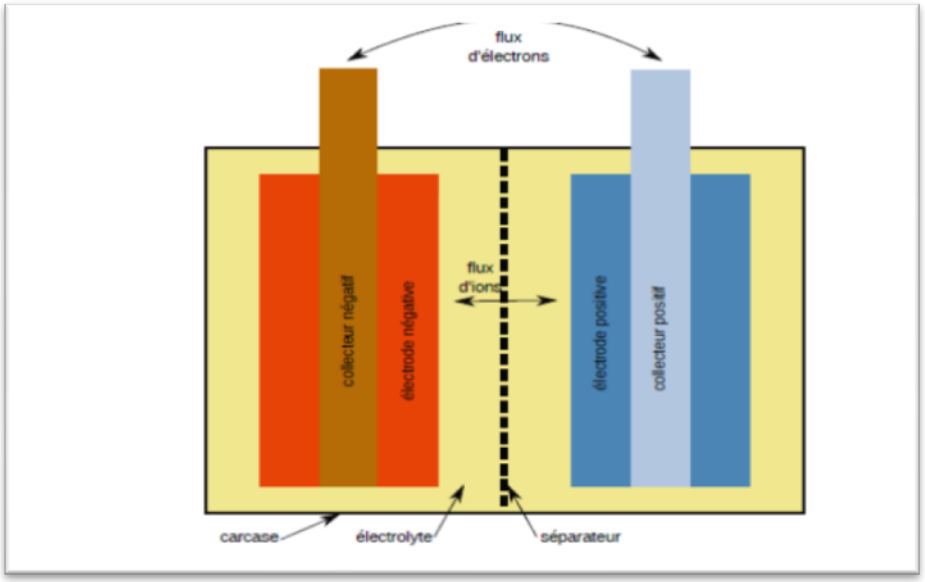


Figure (1.15) : Schéma de la cellule électrochimique [27]

1.10 Propriétés électriques pour caractériser une batterie

Parmi les caractéristiques de la batterie sont suivante :

- Sa capacité ;
- Sa tension ;
- La charge et le courant maximum qu'elle peut supporter ;
- La conservation de la charge (donc sans autodécharge) ;
- Sa durée de vie, en nombre de cycles ou en années [28].

1.10.1 Capacité de batterie :

La capacité d'une batterie représente la quantité de courant qui peut être extraite d'une électrode via l'électrolyte et matériaux actifs des électrodes sur une charge. Elle est exprimée en Ampère heure (1Ah=3600 Coulomb) ou en Wattheure Wh (1Wh = 3600 J). La capacité de batterie dépend de plusieurs facteurs. Elle est déterminée sous des conditions de décharge fixée, habituellement à courant constant (C=I.t) avec t : le temps de décharge au bout de laquelle la tension atteint une certaine valeur prédéfinie [27]-[28].

1.10.2 Tension de batterie :

La figure (1.16) reprend l'évolution de la tension durant la charge d'une cellule de batterie plombacide. La charge théorique d'une batterie au plomb s'effectue donc en trois phases.

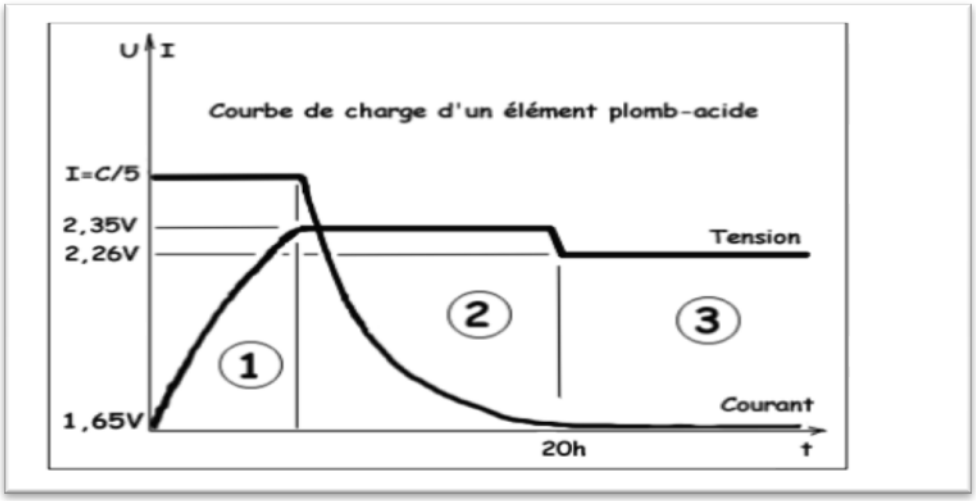


Figure (1.16): Evolution de la tension et du courant avec le temps durant la charge d'un élément plomb acide.

- **Phase 1 :** Le courant est limité à un taux d'environ 1/5 de la capacité nominale. La tension augmente petit à petit jusqu'à atteindre son seuil maximum régulé à 2,35V/élément.
- **Phase 2 :** La tension de charge est régulée à 2,35V/élément, le courant de charge diminue alors jusqu'à devenir inférieur à C/100. La tension ne doit pas rester au-dessus de 2,26V plus longtemps. La batterie est chargée à l'issue de cette phase.
- **Phase 3 :** Une fois la batterie chargée, on passe en mode charge d'entretien (floating) pour la maintenir à 100% de charge. La tension alors appliquée à la batterie sera autour de 2,26V/élément.[27]-[28].

1.10.3 La recharge de batterie

La recharge appropriée d'une batterie (dans le cas de batterie plomb acide) devient prépondérante pour obtenir une durée de vie et des performances optimales quelque en soit les conditions d'utilisation de cette batterie. De plus, il existe des exigences techniques telles que la fiabilité et la longévité. Plusieurs méthodes de charge existent, nous pouvons citer : charge à courant constant, charge à tension constante, et charge rapide.

1.10.4 L'auto décharge

Même lorsque la batterie ne débite pas, sa capacité a tendance à diminuer lentement. Cet effet est connu sous le nom d'auto décharge. Celle-ci peut résulter de plusieurs causes. En premier lieu, la densité d'acide diminue au cours du temps pour des batteries non hermétiques. Elle est principalement due à la présence de petites impuretés métalliques sur les électrodes, conduisant à la formation de micro piles et la génération d'un faible courant interne. [29].

1.10.5 La durée de vie de la batterie

La durée de vie d'une batterie solaire s'évalue en nombre de cycles de charge/décharge qu'elle est capable de supporter. La durée de vie moyenne des batteries de tous types a considérablement augmenté lors des deux dernières décennies grâce à l'utilisation de nouvelles technologies de fabrication et à l'emploi de nouveaux matériaux : utilisation du polypropylène pour les enveloppes externes, meilleure étanchéité de l'enceinte, alliages plus résistants à la corrosion, meilleure gestion de la batterie et bien d'autres encore. [30].

1.11 Différents types d'accumulateurs :

1.11.1 Batterie plomb-acide :

Facile à trouver, à entretenir et disposant d'un bon circuit de recyclage, la batterie au plomb domine le marché. Le plomb est toxique mais il est stocké de façon totalement étanche. C'est le meilleur rapport qualité/prix, aussi bien à court qu'à long terme. Ses seuls défauts sontle poids et le volume, mais dans la majorité des cas elle reste le meilleur choix [31]

Deux grands types de batteries au plomb sont disponibles :

1.11.1.1 Batterie en plomb ouvert :

Sont ainsi nommés car l'électrolyte est liquide et doit être renouvelé. Les batteries ouvertes sont les plus connues, le plus ancien et le plus utilisé puisque l'exemple type en est la batterie "Auto" : la solution d'acide sulfurique est présente Sos forme liquide.

Les batteries ouvertes présentent pour principaux avantages leur prix relativement économique et leur facilité d'entretien (possibilité de rajout d'eau). De plus, avant leur première utilisation, l'électrolyte peut être stocké séparément de la batterie qui est alors vendue "sèche". [32].

1.11.1.2 La batterie étanche "VRLA" :

Est une batterie rechargeable équipée d'une soupape de sécurité qui permet à lapression interne de se libérer en cas de surcharge accidentelle. Ces batteries sont sans entretien car il n'y a aucune nécessité de rajouter de l'eau durant leur durée de vie. [32].

Il existe deux grands types de batteries VRLA :

- **type AGM (Absorbed Glass Mat):**

Une fine feuille de fibre, imbibée d'électrolyte (70% d'eau et 30 % d'acide) est placée entre les plaques de plomb de labatterie. Cette batterie peut fournir un courant élevé, de courte durée.

- **Type GEL :**

Électrolyte est figé par l'addition de gel de silice. Ces batteriessont étanches et peuvent être placées dans n'importe quelle position

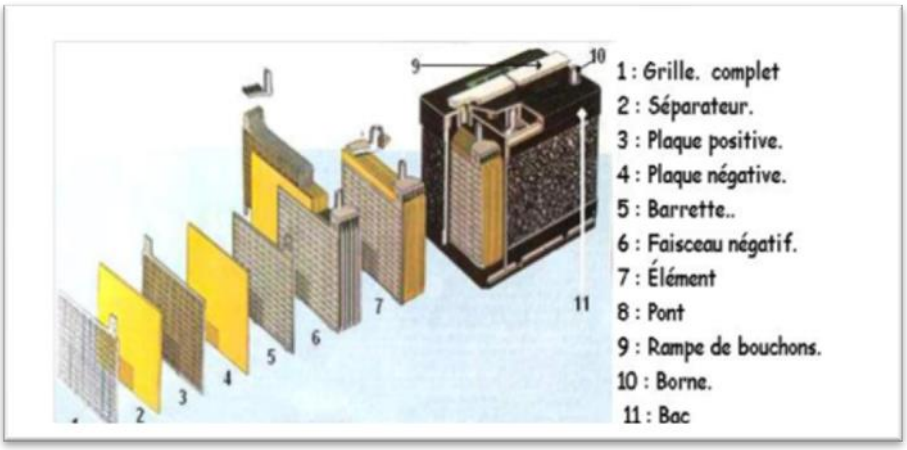


Figure (1.17) : Composition d'une batterie solaire plomb- Acide [32].

1.11.2 Batterie Ni-CD (Nickel-Cadmium) :

De moins en moins utilisée à cause de son prix et de la toxicité du cadmium, elle a été remplacée par les batteries Ni-MH. Elle souffre d'un effet mémoire, c'est-à-dire qu'il faut complètement la décharger avant de la recharger, car dans le cas contraire sa capacité diminue définitivement. Une réglementation Européenne, visant à interdire l'usage du cadmium par les particuliers, a été mise en place. La réaction de base est la même pour tous les types de construction de batteries. [33].

$$NiCd\ :\ 2NiOOH\ +\ 2H2O\ +\ Cd <==> 2Ni(OH)2\ +\ Cd(OH)2. \qquad (7.1)$$

1.11.3 Batterie Ni-MH (Nickel-Métal-Hydrure) :

Ces batteries remplacent les Ni-CD car elles sont moins toxiques. Elles sontcependant assez chères et sont utilisées dans les installations haut de gamme. Leur durée de vie est beaucoup plus grande que celle des batteries au plomb (50% de plus) mais leur capacité est extrêmement faible (quelques Ah au maximum) et leur autodécharge très forte. Leur utilisation commerciale se fait davantage autour des batteries de téléphones et d'ordinateurs portables que dans des installations solaires. [34].

La réaction pour le processus de charge / décharge réversible est indiquée ci-dessous

$$NiOOH\ +\ MH\ <==>\ Ni(OH)2\ +\ M$$

$$NiOOH\ +\ MH\ <==>\ Ni(OH)2\ +\ M \qquad (8.1)$$

$$NiOOH\ +\ MH\ <==>\ Ni(OH)2\ +\ M$$

1.11.4 Batterie Li-ion (Lithium-ion) :

Son énergie massique est très importante ce qui fait de la batterie Li-ion une desmoins lourdes et des moins volumineuses. Son rendement est excellent et sonautodécharge relativement faible. Le gaspillage est donc réduit. Un système desécurité supplémentaire y est intégré car cette batterie présente des risquesd'explosion lorsqu'elle est surchargée, trop déchargée ou court-circuitée... Sa durée de vie est d'environ 3 ans. [35]

1.12 Entretien des batteries :

Parmi les entretiens des batteries sont suivants :

- Ne pas les surchargées.
- Ne pas les laisser déchargées.
- Combattre ou éviter la sulfatation.
- Avoir toujours suffisamment d'électrolyse [36].

1.13 Avantages et inconvénients de la photovoltaïques

a) Avantages

➢ D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.

➢ Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.

➢ Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.

➢ Enfin, la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions [37].

b) Inconvénients

➢ La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.

➢ Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % (soit entre 10 et 15 MW/km² par an pour le BENELUX) avec une limite théorique pour une cellule de 28%. · Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.

➢ Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.

➢ Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes. Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement même des

cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur [37].

1.14 Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre les différents éléments qui entrent dans la constitution d'un système PV tels que la cellule et module PV et leurs différents branchements, les différents types de systèmes PV comme le système autonome, raccordés au réseau et hybride. Finalement nous avons cité les avantages et les inconvénients des systèmes PV en général.

CHAPITRE II

MODÉLISATION ET CONTRÔLE DES MICRO RÉSEAU

2.1 Introduction :

Les micro-réseaux électriques sont en très forte croissance dans le monde, comme en témoigne la décision du gestionnaire de réseau californien PG&E (Pacific Gas & Electric) de lancer en novembre 2019 un important marché pour l'installation de 20 nouveaux micro-réseaux sur sa zone de desserte. Cette augmentation s'explique principalement par la volonté de rapprocher la production d'électricité de sa consommation, de limiter les investissements dans les réseaux de transport et de distribution et de réduire les pertes. Cela est aujourd'hui rendu possible par la multiplication des installations de production d'énergie décentralisées, solaires ou éoliennes et le développement des dispositifs de stockage. D'autres raisons contribuent également à cet essor des projets demicro-réseaux, notamment aux États-Unis et en Asie, leaders en nombre de projets dans le monde, comme la volonté d'augmenter la résilience du système électrique en faisant appel à la capacité d'îlotage qu'offrent lesmicro-réseaux. Ces micro-réseaux constituent un modèle d'optimisation pour le réseau électrique [38].

2.2 L'étude de micro-réseau :

2.2.1 Définitions :

Les micro grids, ou micro-réseaux, sont des réseaux électriques de petite taille, conçus pour fournir un approvisionnement électrique fiable à un petit nombre de consommateurs. Ils agrègent de multiples installations de production locales et diffuses (micro-turbines, piles à combustible, petits générateurs diesel, panneaux photovoltaïques, mini-éoliennes, petite hydraulique), des installations de consommation, des installations de stockage et des outils de supervision et de gestion de la demande. Ils peuvent être raccordés directement à un réseau de distribution ou fonctionner déconnectés du réseau (îlotage). Ce concept, susceptible de concerner différentes échelles du territoire (bâtiment, quartier, zone industrielle ou artisanales, village, etc.) est en train de s'élargir aux réseaux de chaleur et de gaz naturel, et peut ainsi être pensé de manière multi-fluides.Le concept demicro-réseaux n'est pas nouveau, puisque les premiers réseaux, datant de la fin du 19ème siècle, étaient isolés puis se sont progressivement agrégés jusqu'à créer les réseaux nationaux actuels, en profitant des économies d'échelle liées aux grands réseaux. Lesmicro-réseaux ont su évoluer et le déploiement des Smart grids a

élargi leur champ d'application. La mission première des micro-réseaux est une mission d'électrification, et c'est à ce titre qu'ils sont considérés comme une opportunité pour le développement de certains pays émergents, en Afrique, notamment. S'ils continuent de remplir ce rôle aujourd'hui, la transition énergétique en a aussi fait un vecteur de développement de la production décentralisée d'énergie [39].

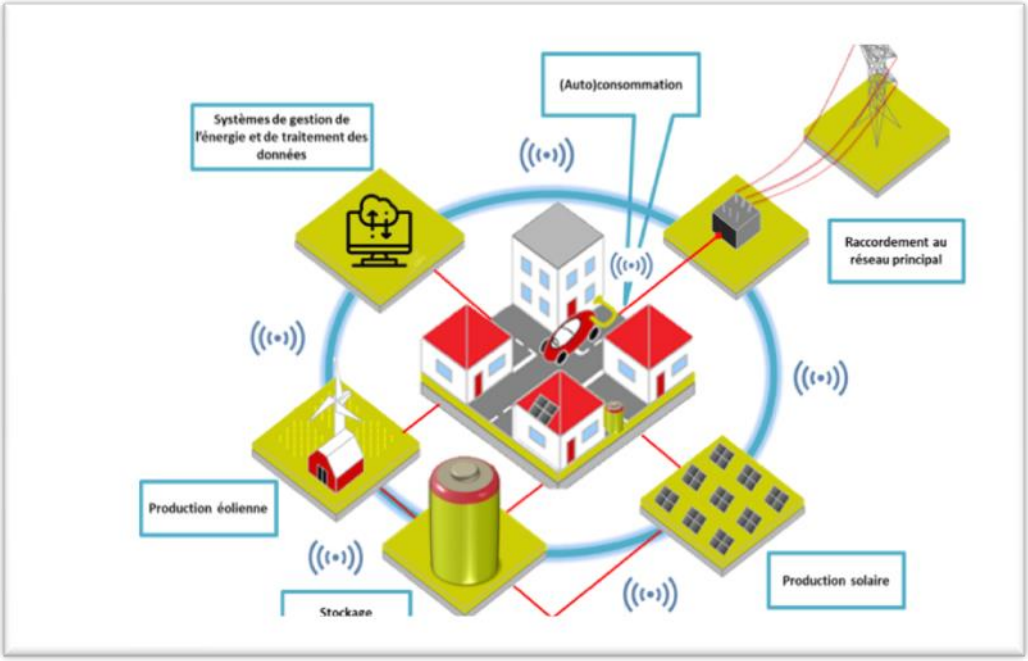


Figure (2.1) : L'étude de micro-réseau [39].

2.2.2 Configuration d'un micro-réseau :

Les micro-réseaux peuvent être définis comme des sous réseaux de basse tensionincluant des consommateurs, des générateurs décentralisés et des systèmes de stockagelocaux. Les micro-réseaux sont destinés à alimenter des charges électriques pour une petitecommunauté tel que les cités universitaire, les sites industriels et commerciaux, les villages, etc. Les générateurs ou micro-source employés dans un micro-réseau sont généralementrenouvelables. Ils englobent un large éventail de technologies telles que : les panneauxphotovoltaïques, la biomasse ou encore l'énergie éolienne. L'énergie solaire n'étant pas disponible à tout moment (par exemple la nuit, les joursnuageux) il est donc nécessaire d'équiper notre réseau par des batteries d'accumulateurs pourstocker l'énergie en surplus. Les micro-réseaux peuvent fonctionner en deux modes : autonome et raccordé au réseau.

- En mode autonome, ils apparaissent comme une solution pour alimenter en énergie électrique les sites isolés.
- En mode raccordé au réseau, ils sont normalement connectés au réseau principal de distribution, mais sont capables de s'isoler de ce dernier en cas de perturbation dans le réseau principal [40].

2.2.3 Principe de fonctionnement d'un micro-réseau :

Pour pouvoir fonctionner, un micro-réseau doit comporter 3 éléments indispensables :

1. Une installation de production d'énergie locale pour assurer son autonomie en cas de déconnexion du réseau public (panneaux photovoltaïques, éoliennes, cogénération, pompe à chaleur, centrale biomasse, turbine hydro-électrique) et, en plus, un système de production de secours (groupe électrogène). En théorie, les microgrids peuvent être complètement déconnectés du réseau. Toutefois, en pratique, ce n'est pas (encore) le cas ;
2. Un système de stockage : batteries, réserve d'eau pour pompage-turbinage et dans l'avenir, super condensateurs et stockage chimique de chaleur latente ;
3. Un système de gestion intelligente pour assurer l'équilibre constant entre production et demande d'électricité [41].

2.2.4 défis technico-économiques du micro-réseau :

Cependant, les défis technico-économiques associés au déploiement de ces micro-réseaux sont aujourd'hui encore très nombreux. La gestion des micro-réseaux et leur raccordement au réseau public de distribution est complexe :

- En mode d'îlotage, comment maintenir la stabilité du réseau (tension et fréquence) au sein du micro-réseaux et comment maintenir la stabilité du réseau public de distribution lors de la resynchronisation du micro-réseaux avec le réseau public de distribution ? Pour que l'électricité produite puisse être distribuée sur le réseau, les caractéristiques de tension, de fréquence et de puissance doivent être contrôlées. De même, l'infrastructure du micro-réseaux doit être compatible avec les standards existants pour que l'équilibre sur le réseau soit maintenu ;

- Comment envisager le modèle économique des micro-réseaux alliant autoproduction et autoconsommation
- Comment faire face aux capacités et au prix des technologies de stockage actuelles ? La plupart des micro-réseaux en projet ne seront pas capables de produire et de stocker durablement suffisamment d'énergie pour pouvoir se passer d'un raccordement au réseau électrique ;
- Le micro-réseau est-il un réseau privé ou répond-t-il à une mission de service public ? micro-réseaux entraîne une certaine privatisation des réseaux, et pose la question de la péréquation nationale des tarifs fixés pour l'utilisation de ces réseaux qui est un des fondements du système électrique français développé selon le principe de la solidarité nationale.
- D'un point de vue environnemental : les micro-réseaux facilitent l'intégration des énergies de sources renouvelables sur les réseaux, ce qui permet d'éviter l'installation de centrales thermiques en zones « fragiles ».

En outre, les infrastructures nécessaires aux réseaux électriques intelligents étant complexes à mettre en place et pouvant prendre plusieurs années, les micro-réseaux peuvent être considérés comme une alternative plus simple à mettre en œuvre. En reproduisant à petite échelle un grand nombre d'enjeux liés au déploiement des Smart grids et à l'intégration sur le réseau des énergies renouvelables, ils sont des démonstrateurs de ce que pourraient être de plus grands déploiements de Smart grids [42].

2.3 Catégorie de micro-réseau :

On distingue deux grandes catégories de micro-réseaux : les micro-réseaux connectés au «grids » (réseau principal), et les micro-réseaux isolés du « grids ». Dans les deux cas, l'introduction d'énergies renouvelables est une priorité. Pour les micro-réseaux connectés, il est impératif de développer la flexibilité, qui permet de gérer localement la variabilité des énergies renouvelables, optimiser la facture et contribuer à une plus grande autonomie des territoires. Cette flexibilité peut être mise à contribution à plus grande échelle pour aider les réseaux de distribution à gérer l'intermittence, l'Europe incitant les gestionnaires de réseaux à exploiter la flexibilité disponible auprès des « prosumers ». Les micro-réseaux isolés concernent tant les systèmes insulaires que l'électrification « rurale ». Ici encore,

Les renouvelables ont une place importante pour produire une énergie propre et accessible, en réduisant la dépendance aux énergies fossiles. Ces micro-réseaux constituent un enjeu sociétal majeur avec des opportunités à l'export pour les technologies promues par le pôle [43].

2.4 Modes de fonctionnement des micro-réseaux :

2.4.1 Mode îloté :

Les micro-réseaux en mode îlot sont des micro-réseaux isolés des autres réseaux de production d'électricité capables d'alimenter une seule installation ou plusieurs utilisateurs. Ils sont autosuffisants pour la production d'électricité mais ne peuvent pas fournir d'énergie excédentaire et, en cas de déficit, ne peuvent pas prendre l'électricité du réseau. Ces systèmes peuvent se trouver dans des régions éloignées, dans des zones où le réseau électrique local est très instable ou dans des endroits où l'autosuffisance en électricité est essentielle [44].

2.4.2 Mode réseau connecté :

Les micro-réseaux connectés sont directement reliés au réseau local de distribution d'électricité du pays. Ils ont l'avantage de pouvoir produire de l'électricité sur le réseau mais également de pouvoir recevoir l'électricité du réseau électrique local. L'un des défis potentiels des micro-réseaux connectés au réseau local est qu'en cas de défaillance du réseau électrique local, le micro-réseau peut également tomber en panne. Pour écarter ce risque, Clarke Energy apporte des considérations supplémentaires au dispositif pour faciliter le passage automatique d'un fonctionnement à l'autre et pour garantir le délestage afin que les charges connectées ne dépassent pas les capacités de production du micro-réseau [44].

2.4.3 Réseau connecté en mode îloté :

Certains micro-réseaux, tout en fonctionnant normalement en parallèle avec le réseau local, peuvent déconnecter l'alimentation entrante du réseau et fournir l'infrastructure électrique nécessaire, indépendamment du réseau. Pour ce faire, vous avez besoin de sources de production d'électricité qui peuvent fonctionner indépendamment du réseau et Indépendamment des profils climatiques. Les moteurs à gaz INNIO Jenbacher, distribués et installés par Clarke Energy ont l'avantage de fonctionner avec tous types de gaz et de

répondre aux exigences de démarrage rapide du site du client. En fonction du projet, un démarrage rapide et une montée en charge peuvent être réalisés en moins de 2 minutes [44].

2.5 Les capacités du micro-réseau de Clarke Energy :

Clarke Energy peut fournir des solutions de production d'énergie hybrides et de « micro-réseau », comprenant des moteurs à gaz associés à des technologies renouvelables et des technologies de stockage d'énergie. Nos solutions autonomes de production d'énergie intégrant différents types de production et solutions de stockage d'énergie peuvent être proposées partiellement ou en projet clé en main. Nous pouvons fournir des solutions d'ingénierie, d'approvisionnement et de construction, soutenues par un contrat de maintenance à long terme pour nos clients [45].

2.6 Les convertisseurs statiques :

Les convertisseurs statiquesSont des circuits électriques utilisant des semi-conducteurs de puissance (diodes, thyristors, transistors …) utilisés comme des interrupteurs, dans le but de transformer le spectre du signal (amplitudes, fréquences, phases) pour adapter la source à la charge. L'étude et la conception de ces dispositifs est souvent appelée électronique de puissance [46]. On distingue les différents convertisseurs suivants :

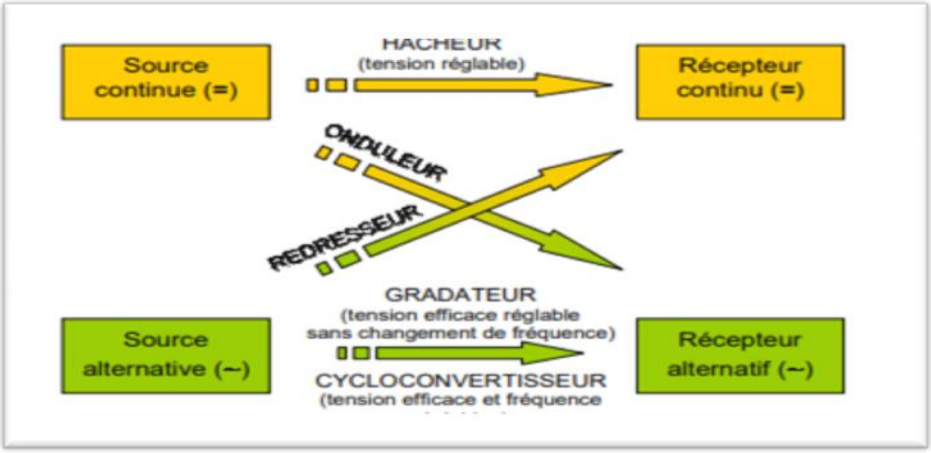


Figure (2.2) : Convertisseurs statiques [46]

2.6.1 Les redresseurs :

Est un convertisseur alternatif-continu. La tension de sortie est non alternative (valeur moyenne non nulle). Cette valeur moyenne peut être réglée dans le cas d'un redresseur commandé. Ils sont utilisés principalement pour alimenter des charges fonctionnant avec une tension continue ou pour recharger des batteries (en effet, un redresseur est toujours intégré dans les chargeurs de vos PC ou vos téléphones portables) [47]

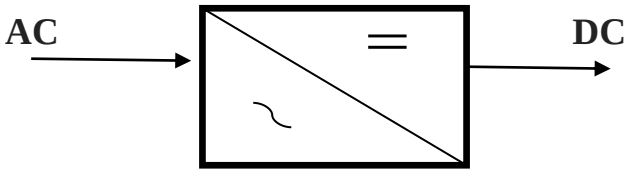


Figure (2.3) : schéma bloc de redresseur [47]

2.6.2Les onduleurs :

L'onduleur est un convertisseur continu-alternatif, utilisé principalement pour alimenter les Charges fonctionnant avec une tension alternative lorsqu'on dispose d'une source continue (batteries par exemple) ou pour injecter l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques dans le réseau. On distingue 2 types :

- Un onduleur autonome délivre une tension avec une fréquence soit fixe, soit ajustable par l'utilisateur. Il n'a pas toujours besoin de réseau électrique pour fonctionner ; par exemple un convertisseur de voyage que l'on branche sur la prise allume-cigare d'une voiture utilise le 12 V continu du véhicule pour générer du 120 ou 230 V, alternatif en 50 ou 60 Hz ;

-Un onduleur non autonome est un montage redresseur tout thyristors (pont de Graetz) qui, en commutation naturelle assistée par le réseau, auquel il est raccordé, permet un fonctionnement en onduleur (par exemple par récupération de l'énergie lors des périodes de freinage dans les motrices électriques) [48].

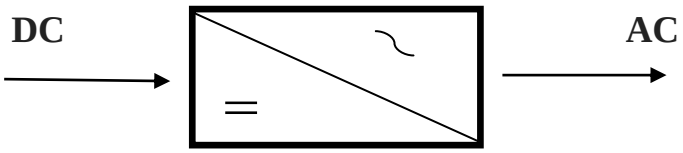


Figure (2.4) : schéma bloc d'onduleur [48]

2.6.3 Les hacheurs :

Ce sont des convertisseurs continu-continu, permettant la variation d'une tension continue pour l'adapter à la care ou pour varier la vitesse d'un moteur à courant continu ou pour régler le degré de luminosité d'une lampe. Le découpage se fait à une fréquence élevée. C'est l'analogue, pour les sources de tensions continues, du gradateur utilisé en régime alternatif. Si la tension délivrée en sortie est inférieure à la tension appliquée en entrée, le hacheur est dit dévolteur (ou abaisseur ou Buck). Dans le cas contraire, il est dit survolteur (ou élévateur ou Boost). Il existe des hacheurs capables de travailler des deux manières (Boost-Buck) [49].

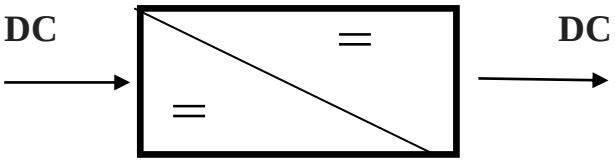


Figure (2.5) : schéma bloc d'hacheur [49]

2.6.4 Les gradateurs :

C'est un convertisseur alternatif-alternatif, qui donne en sortie une tension alternative de même fréquence que la tension d'entrée et dont on peut réduire la valeur efficace de façon continue. Ce convertisseur est essentiellement utilisé pour la varier la vitesse des moteurs alternatifs comme les moteurs asynchrones ou synchrones en variant leur tension d'alimentation [50].

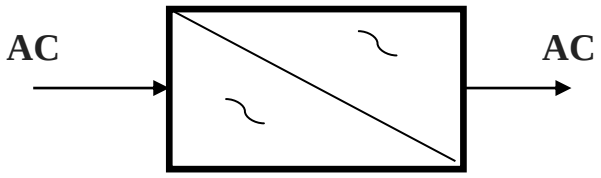


Figure (2.6) : schéma bloc de gradateur [50]

2.7 Modélisation d'un micro réseau :

L'étude portant sur la gestion des ressources énergétiques au sein d'un micro-réseau nécessite la modélisation des systèmes de production et de stockage ainsi que le développement de modèles d'habitat et de scénarios d'occupation [51].

2.7.1 Modélisation de la charge :

La modélisation thermique et la simulation dynamique du comportement énergétique d'un bâtiment (et des différents systèmes qui l'équipent) en fonction, notamment, de sa structure, des matériaux utilisés et de sa situation géographique ont été réalisées grâce au logiciel [38], sur la base du modèle type 56. S'appuie sur des modèles numériques. Il permet de prendre en considération un certain nombre de contraintes et intègre le type d'habitat, son niveau d'isolation ainsi que la localisation et l'orientation du bâtiment et des systèmes de production d'énergie. Les contraintes climatiques sont également prises en compte via le logiciel Métronome [52]. En effet, ce dernier permet de disposer de données climatiques fiables pour plus de 100 localisations en France, au pas horaire et sur une année moyenne.

2.7.2 Modélisation de la production décentralisée :

Les systèmes de production locaux pris en considération dans cette étude sont des panneaux solaires photovoltaïques et des éoliennes.

2. 7.2.1. Modélisation des panneaux photovoltaïques :

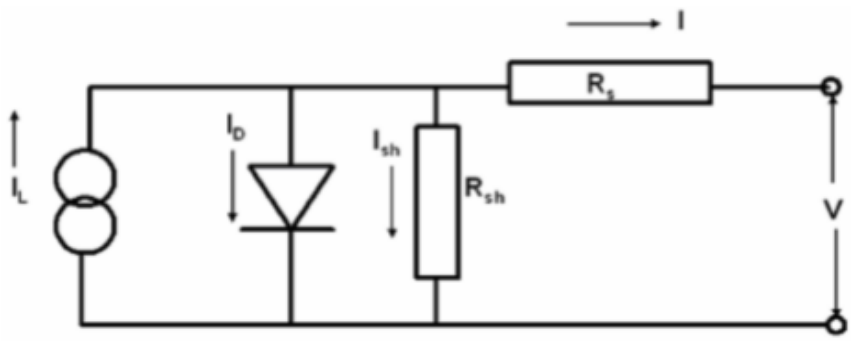


Figure (2.7) : schéma électrique équivalent pour le modèle PV.

La modélisation des panneaux solaires photovoltaïques est réalisée sous par le modèle type 194. Elle s'appuie sur la méthode de calcul présentée par de Sotoce modèle utilise le modèle du circuit équivalent à cinq paramètres présentés par Duffie et Beckman. Cependant, la méthode de détermination des paramètres diffère de ce qui estprésenté par Ruffié et Beckmann. Le principal objectif de ce modèle est d'extrapoler de manière fiable le rendement fourni par le fabricant dans des conditions nominales standards (1000 W/m², 25°C) à d'autres conditions opératoires. Le modèle tel que décrit par DeSoto et al. Est fondé sur le schéma équivalent illustré par la Figure (2.1). Les caractéristiques courant-tension d'un panneau photovoltaïque dépendent de l'irradiation solaire et de la température du PV. Le modèle PV détermine la courbe courant-tension en fonction de ces conditions environnementales en utilisant cinq matrices déduites des informations d'évaluation fournies par le fabricant [51]-[52]. La relation courant-tension pour le circuit décrit par la Figure (2.2) est donnée par les équations

$$\mathrm{I} = \mathrm{I}_L - \mathrm{I}_0 \left[\ell \frac{r + I_{Rs}}{a} \right] - \frac{V + I_{Rs}}{R_{sh}} \tag{2.1}$$

Avec

$$a = \frac{N_S n_l k T_c}{q} \tag{2.2}$$

Cinq paramètres doivent être connus afin de déterminer le courant et la tension, et donc la puissance délivrée à la charge :

- La photo courante ;
- Le courant inverse de saturation de la diode ;
- La résistance série ;
- La résistance de shunt ;
- La modification du facteur d'idéalité définit à l'équation.

En général, ces cinq paramètres sont des fonctions de l'irradiation solaire incidente et de la température du PV. Les valeurs de référence de ces paramètres sont déterminées pour une condition nominale standard, qui est presque toujours 1000 W/m² à 25 °C. Trois paires de courant-tension sont normalement disponibles auprès du fabricant à la condition nominale standard : (i) le courant de court-circuit, (ii) la tension à vide et (iii) le courant et la tension au point de puissance maximale. Autre information : la dérivée de la puissance au point de puissance maximale est nulle. Bien que le coefficient de température de la tension en circuit ouvert (βvoc) et le coefficient de température du courant de court-circuit (αIsc) soient connus, seul βvoc est utilisé pour trouver les cinq paramètres de référence. Est utilisé lorsque la cellule est en fonctionnement dans des conditions autres que les conditions de référence.

- **Paramètres de référence :**

Pour déterminer les valeurs de ces paramètres, les trois paires courant-tension aux conditions nominales standards sont utilisées. D'où les équations (2.3) et (2.4) :

Pour le courant de court-circuit : $\mathrm{I} = \mathrm{I}_{sc,ref}$, V=0

$$I_{sc,ref} = I_{L,ref}\left[\ell\frac{I_{sc,ref}R_{s,ref}}{a_{ref}} - 1\right]\frac{I_{sc,ref}R_{sc,ref}}{R_{sh,ref}} \tag{2.3}$$

Pour la tension de circuit ouvert : I=0, $V = V_{oc,ref}$

$$0 = I_{l,ref} - I_{o,ref}\left[\ell\frac{V_{oc,ref}}{a_{ref}} - 1\right] - \frac{V_{oc,ref}}{R_{sh,ref}} \tag{2.4}$$

Au point de puissance maximale : $I = I_{mp,ref}, V = V_{mp,ref}$

$$I_{mp,ref} = I_{l,ref} - I_{o,ref}\left[\ell \frac{V_{mp,ref} I_{mp,ref} R_{S,ref}}{a_{ref}} - 1\right] - \frac{v_{mp,ref}\ \mathrm{I}_{mp,ref}\ R_{s,ref}}{R_{sh,ref}} \tag{2.5}$$

La dérivée au point de puissance maximale est égale à zéro :

$$\frac{\delta(IV)}{\delta V_{mp}} = \mathrm{I}_{mp} - V_{mp}\frac{dI}{dV_{mp}} = 0 \tag{2.6}$$

Ou $\frac{dI}{dV_{mp}}$ est défini par :

$$\frac{dI}{dV_{mp}} = \frac{\frac{I_o}{a}\ell\frac{V_{mp} + \mathrm{I}_{mp} R_s}{a} - \frac{1}{R_{sh}}}{1 + \frac{I_0 R_s}{a}\ell\frac{V_{mp} + \mathrm{I}_{mp} R_s}{a} + \frac{R_s}{R_{sh}}} \tag{2.7}$$

Le coefficient de température de la tension en circuit ouvert est donné par :

$$\mu_{Voc} = \frac{\partial V}{\partial T_{I=0}} \approx \frac{V_{oc,ref} - V_{oc,Tc}}{T_{ref} - T_c} \tag{2.8}$$

Pour évaluer μ_{voc} μ_{voc} numériquement, il est nécessaire de connaitre, la tension en circuit ouvert à une certaine température proche de la température de référence de la cellule. La température de la cellule utilisée à cette fin n'est pas critique puisque les valeurs d'allant de 1 à 10 K au-dessus ou en-dessous de T_{ref} produisent le même résultat. V_{ocTc} Peut être trouvée à partir de l'équation (2.4) si les dépendances en température des paramètres I_o, I_L , a et sont connues. La résistance shunt R_{sh} est supposée indépendante de la température. Par conséquent, afin d'appliquer l'équation (2.8), il est nécessaire de disposer de la dépendance en température des trois paramètres I_o, I_L et a . La dépendance de tous les paramètres du modèle aux conditions de fonctionnement est considérée ensuite.

- **Dépendance des paramètres du modèle aux conditions de fonctionnement :**

À partir de la définition de a, le facteur d'idéalité de modification est une fonction linéaire de la température de la cellule (en supposant que η_l est indépendant de la température), de sorte que :

$$\frac{a}{a_{ref}} = \frac{T_c}{T_{c,ref}} \tag{2.9}$$

Où Tc,ref et $aref$ sont la température de la cellule et le facteur d'idéalité modifié pour les conditions de référence, tandis que Tc et a sont la température de la cellule et le facteur d'idéalité modifié pour les nouvelles conditions de fonctionnement. Le courant de saturation inverse de la diode est lié à la température et aux conditions de référence par :

$$\frac{Io}{Io,ref} = \left[\frac{Tc}{Tc,ref}\right]^3 \ell^{\frac{1}{k}\left(\frac{Eg}{T}_{Tref} - \frac{Eg}{T_{TC}}\right)} \tag{2.10}$$

Où K est la constante de Boltzmann et Eg la bande de gap du matériau. Eg Présente une petite dépendance à la températurequi, pour le silicium, peut être définie comme indiqué par l'équation (2.11), avec $Eg,_{Tref} = 1{,}121$ et V pour les cellules en silicium :

$$\frac{E_g}{E_{g,Tref}} = 1 - 0{,}0002677\left(T - T_{ref}\right) \tag{2.11}$$

La photo courante I_L est supposée être une fonction linéaire du rayonnement solaire incident. Il dépend de l'irradiation solaire absorbée (S), de la température de la cellule (T_c), du coefficient de température du courant de court-circuit (α_{Isc}) et de la modification de la masse d'air (M). La photo courante I_L, quelles que soient les conditions de fonctionnement, est lié aux photos courant aux conditions de référence par la relation suivante :

$$I_L = \frac{S}{S_{ref}}\frac{M}{M_{ref}}\left[I_{Lref} + a_{l,sc}\left(T_c - T_{c,ref}\right)\right] \tag{2.12}$$

Où S_{ref} , M_{ref} , $I_{L,ref}$ $I_{L,ref}$ et $T_{c,ref}$ sont les paramètres aux conditions de référence, tandis que S, M, I_L et T_c sont les valeurs pour les conditions de fonctionnement spécifiées. En utilisant l'équation (2.12) pour trouver les paramètres de référence, $S = S_{ref}$ $S = S_{ref}$ et $M = M_{ref}$. Le modificateur de masse d'air est supposé être une fonction de l'angle zénithal local et est présenté ci-après. La résistance (R_s) est supposée constante à sa valeur de référence $R_{s,ref}$ $R_{s,ref}$. La résistance de shunt (R_{sh} R_{sh}) commande la pente de la courbe courant-tension aux conditions de court-circuit, une grande résistance de shunt entrainant une pente horizontale. DeSoto et al proposent l'équation (2.13) pour décrire empiriquement l'effet observé du rayonnement solaire sur la résistance de shunt :

$$\frac{R_{sh}}{R_{sh,ref}} = \frac{S_{ref}}{S} \tag{2.13}$$

- **Modification de l'angle d'incidence,** $K_{\tau\alpha}$ **.** $K_{\tau\alpha}$

L'angle d'incidence θ est directement impliqué dans la détermination du rayonnement incident sur la surface du dispositif photovoltaïque. De plus, l'angle d'incidence influe sur la quantité de rayonnement solaire transmise par l'intermédiaire de la couverture de protection et convertie en électricité par-là celle. Avec l'augmentation de l'angle d'incidence, l'intensité du rayonnement réfléchi par la couverture augmente. Des effets significatifs de l'inclinaison ont lieu à des angles d'incidence supérieurs à 65°. L'effet de la réflexion et de l'absorption en fonction del'angle d'incidence est exprimé en termes de modification de cet angle d'incidence, $K_{\tau\alpha}(\theta)$, défini comme le rapport de la radiation absorbée par la cellule à un certain angle d'incidence θ et du rayonnement absorbé par la cellule à incidence normale.

L'angle d'incidence pour un panneau photovoltaïque diffère quelque peu de celui d'un collecteur solaire à plaque plane dans lequel le vitrage est collé sur la surface de la cellule, éliminant ainsi l'interface air-vitre, la surface du vitrage pouvant être traitée afin de limiter les pertes par réflexion. Les équations (2.14) et (2.15), définies à partir des lois de Snell et Bougher, permettent de calculer l'angle d'incidence pour une interface air-verre. L'angle de réfraction (θ_r) est déterminé à partir de la loi de Snell :

$$\theta_r = \arcsin\left(n \sin\theta\right) \tag{2.14}$$

Où θ est l'angle d'incidence et un indice de réfraction effectif de la surface de la cellule. Une bonne approximation du coefficient de transmission de la surface du système, considérant tant les pertes de réflexion à l'interface qu'à l'absorption dans le vitrage, est :

$$\tau\left(\theta\right) = \ell\left(\frac{kL}{\cos\theta_r}\right)\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{\sin^2\left(\theta_r - \theta\right)}{\sin^2\left(\theta_r + \theta\right)} + \frac{\tan^2\left(\theta_r - \theta\right)}{\tan^2\left(\theta_r + \theta\right)}\right)\right] \tag{2.15}$$

Où K est le coefficient d'extinction du vitrage et l'épaisseur du vitrage. Le produit de K et L est un paramètre du modèle. Pour obtenir l'angle d'incidence $K_{\tau\alpha}$, l'équation (2.16) a besoin d'être évaluée pour des angles d'incidence égaux à 0° et à θ . Le rapport de ces deux facteurs de transmission donne le modificateur d'angle d'incidence :

$$K_{\tau a}\left(\theta\right) = \frac{\tau\left(\theta\right)}{\tau\left(0\right)} \tag{2.16}$$

- **Modification de la masse d'air :**

La masse d'air est le rapport entre la masse d'air que la radiation du rayon solaire doit traverser à un instant donné et l'emplacement de la masse d'air que la radiation du rayon traverserait si le soleil était directement au-dessus. L'absorption sélective par espèce dans l'atmosphère impacte le contenu du rayonnement spectral, en modifiant la répartition spectrale de la radiation incidente sur le panneau photovoltaïque. D'après King et al, une relation empirique est utilisée pour tenir compte des effets de masse d'air :

$$\frac{M}{M_{ref}} = \sum_{0}^{4} a_i \left(AM\right)^i \quad \frac{M}{M_{ref}} = \sum_{0}^{4} a_i \left(AM\right)^i \tag{2.17}$$

Où :

$$AM = \frac{1}{\cos\left(\theta_z\right) + 0,5057 \cdot \left(96.080 - \theta_z\right) - 1,634} \tag{2.18}$$

$$a_0 = 0.,918093; a_1 = 0,086257; a_2 = -0,024459; a_3 = 0,002816; a_4 = 0,000126 \qquad (2.19)$$

- **Température de fonctionnement du module :**

Le modèle utilise les données de température standard NOCT (Température Nominale des Cellules Exploitées) pour calculer la température du module T_c à chaque pas de temps. La température NOCT ($T_{a,NOCT}$) est la température de fonctionnement du module avec une vitesse de vent de 1 m/s, sans charge électrique, à un certain ensoleillement et à une température ambiante spécifiée. Les valeurs pour l'insolation $G_{T,NOCT}$ et la température ambiante $T_{a,NOCT}$ sont généralement 800 W/m² et 20 °C. Le modèle utilise les données NOCT pour déterminer le rapport du produit de transmission-réflexion du module et du coefficient de perte de ce module :

$$\frac{\tau\alpha}{U_L} = \frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{G_{T,NOCT}} \qquad (2.20)$$

En supposant que ce rapport est constant, la température du module à n'importe quel pas de temps est la suivante :

$$T_c = T_a + \frac{1 - \frac{\eta ref}{\tau\alpha}}{\frac{G_{T\tau\alpha}}{U_L}} \qquad (2.21)$$

Est le rendement électrique du module à des conditions de référence. Peut-être soit une constante, soit la valeur de corrélation calculée à partir d'un angle d'incidence, tel que décrit précédemment.

2.8 gestions des systèmes énergétiques hybrides :

Nous avons choisi la gestion de l'énergie d'un système hybride constitué d'une chaine de conversion photovoltaïque et une pile à combustible alimentent une chargevariable et le surplus d'énergie produite par le GPV sert à charger. La batterie qui constitue notre système

de stockage. L'énergie emmagasinée dans la batterie va servir à compenser le manque au niveau de la charge dans le cas où le GPV et la pile ne satisfait pas cette dernière [53].

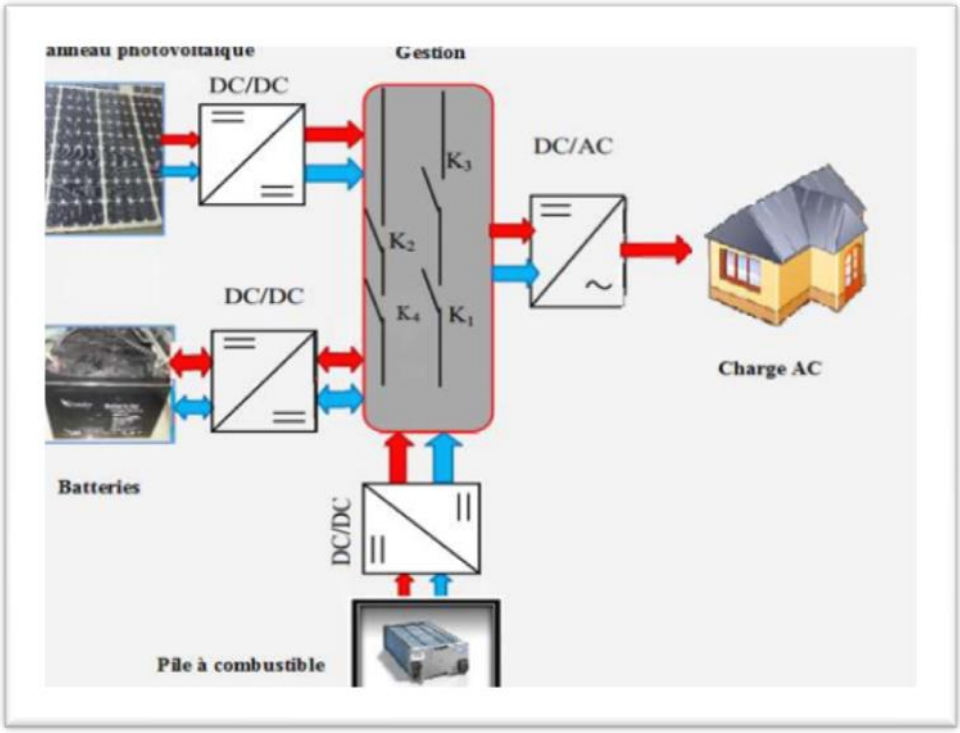


Figure (2.8) : Schéma du système global étudié. [53]

2.8.1 Différents scénarios pour la gestion d'énergie :

- Mode 1: L'énergie générée par le GPV est supérieure à la demande de

Charge ($P_{pv} > P_{ch}$ $P_{pv} > P_{ch}$), et la batterie est complètement chargée ($Soc > soc\ max$). "M1".

- Mode 2: L'énergie générée par le GPV est supérieure à la demande decharge

($P_{pv} > P_{ch}$), et la batterie n'est pas chargée ($Soc < soc\ min$). "M2".

- Mode 3: L'énergie générée par le GPV est inférieure à la demande de charge

($P_{pv} > P_{ch}$) avec ($P_{pv} > 0$ $P_{pv} > 0$), et la batterie est complètement chargé (Soc > soc max). "M3".

- Mode 4 : L'énergie générée par le GPV est inférieure à la demande de charge

($P_{pv} > P_{ch}$), avec ($P_{pv} > 0$), et la batterie n'est pas chargée ($Soc < soc\ min$), et la pile à combustibleest disponible "M4".

- Mode 5 : L'énergie générée par le GPV est inférieure à la demande de charge ($Ppv < Pch\ Ppv < Pch$), avec ($Ppv < 0$), et la batterie est complètement chargé (($Soc > soc\ max$) et la pile à combustible est disponible "M5".
- Mode 6: L'énergie générée par le GPV est inférieur à la demande de charge ($Ppv < Pch$) avec ($Ppv < 0$), et la batterie n'est pas chargée ($Soc < soc\ min$), et la pile à combustible est disponible "M6"[53].

Avec :

- P_{pv} Soc ma = 80 % ; Soc min = 20 %.

2.8.2 Algorithme de gestion :

Avec les scénarios suivants

M1= fonction le panneau solaire $P_{pv} \rightarrow$ charge P_{ch} .

M2 = fonction le Panneau solaire $P_{pv} \rightarrow$ batterie P_{batt} + charge P_{ch} .

M3 = fonction le Panneau solaire P_{pv} + fonction La batterie $P_{batt} \rightarrow$ charge P_{ch} .

M4 = fonction PEM + fonction le Panneau solaire $P_{pv} \rightarrow$ charge P_{ch} + charge la batterie $Soc < soc\ min$

M5 = fonction PEM + fonction La batterie $P_{batt} \rightarrow$ charge de batterie $Soc < soc\ min$

M6 = fonction PEM $\rightarrow$ charge P_{ch} : $P_{pv} = 0\ Pbatt = 0$. P_{ch} : $P_{pv} = 0\ Pbatt = 0$.

2.8.3 Différentes commutations des interrupteurs pour la gestion d'énergie :

Nous utilisons la gestion de l'énergie entre ces sources par les interrupteurs (Switch)

Tableau. (2.1) : Etat des Switch pour les déférentes modes [53]

Mode	K1	K2	K3	K4
M1	1	0	0	1
M2	1	1	0	1
M3	1	1	0	1
M4	1	1	1	1
M5	0	1	1	1
M6	0	0	1	1

K1 : interrupteur d'un panneau solaire K2 : interrupteur d'une batterie

K3 : interrupteur d'une pile à combustible K4 : interrupteur d'un la charge.

2.9 Stratégie de gestion des ressources énergétique :

2.9.1 Production décentralisée sans système de stockage :

Une première stratégie de gestion des ressources énergétiques à l'échelle d'un habitat individuel intégrant des systèmes de production locaux et sans système de stockage est proposée. Elle nous servira de stratégie de référence. Avec cette dernière, la production d'origine renouvelable est autoconsommée et seul le surplus d'énergie est injecté sur le réseau électrique. Ainsi, la gestion des ressources énergétiques dépend uniquement de la production décentralisée et de la charge à chaque instant (Figure2.5) On peut alors distinguer trois modes de fonctionnement :

1. Surproduction. La production d'énergie renouvelable est supérieure à la consommation instantanée. La production Energie satisfait donc la totalité de la consommation de l'habitat et

la quantité d'énergie soutirée au réseau électrique est nulle. Le surplus d'énergie est injecté sur le réseau.

2. Équilibre entre production et demande. Toute l'énergie produite est autoconsommée et aucune interaction avec le réseau électrique n'est nécessaire.

3. Sous-production. La consommation énergétique est supérieure à la production Energie. De ce fait, l'énergie produite localement est entièrement autoconsommée. Toutefois, pour satisfaire les besoins du consommateur, la quantité d'énergie manquante est soutirée au réseau électrique [54].

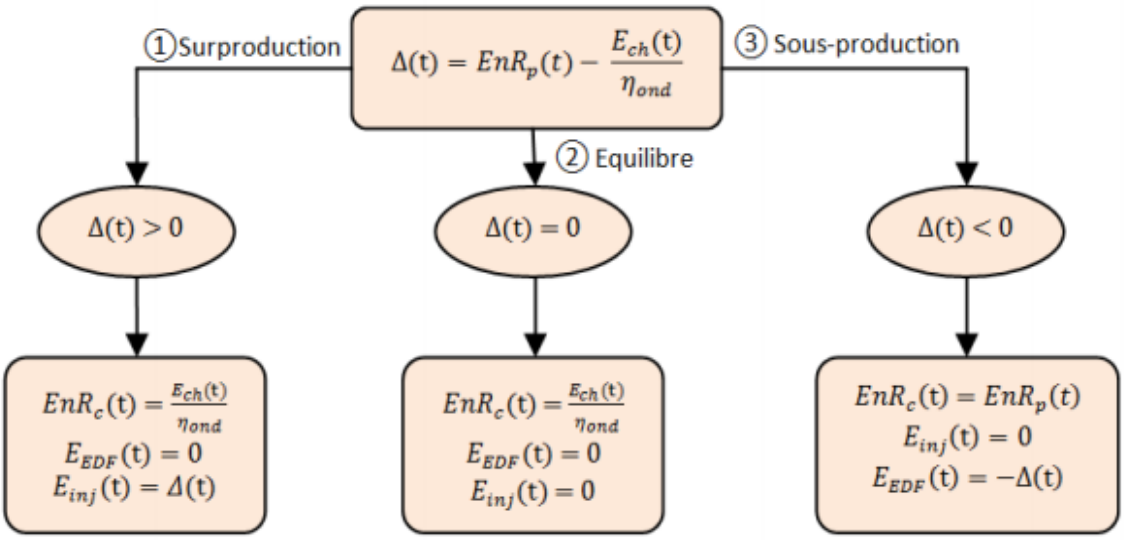


Figure (2.9) : gestion instantanée de la production décentralisée sans système de stockage [54].

2.9.2 Production décentralisée avec système de stockage :

Afin de pallier l'intermittence des ressources énergétiques renouvelables et d'optimiser l'exploitation de la production locale, un système de stockage de l'électricité est considéré : des batteries électriques. Une approche globale et multicritère de gestion des ressources énergétiques, à l'échelle d'un habitat individuel raccordé au réseau électrique et intégrant des systèmes de production et de stockage, est également proposée. L'objectif de la stratégie est de favoriser l'autoconsommation d'énergie tout en minimisant l'impact des systèmes de production locaux sur le réseau électrique (achat et vente d'électricité). Ainsi, la gestion des ressources énergétiques dépend de la production décentralisée, de la charge, de l'état de la batterie, ainsi que de l'état du réseau électrique à chaque instant [55].

2.10. Avantages et inconvénients des micro-réseaux :

Parmi les avantages et inconvénients que nous pouvons rencontrer, nous avons :

Avantage :

- D'un point de vue technique : les micros grids facilitent notamment une gestion optimisée de la production d'électricité d'origine renouvelable à l'échelle locale. Ils peuvent apporter un service auxiliaire au réseau public de distribution, en l'aidant à maintenir stable la tension et en « L'allégeant » lorsqu'il est coupé du réseau de distribution.
- D'un point de vue économique : en fonction de sa taille, le microgrids peut jouer un rôle d'agrégateur de capacités. Les microgrids permettent également de différer des investissements de réseaux, la proximité entre production et consommation permettant d'optimiser l'acheminement de l'énergie. Ils permettent aussi de réduire le volume des pertes techniques.
- D'un point de vue sociétal : un microgrids fournit des réponses à l'évolution des besoins fondamentaux d'un territoire en énergie, notamment en garantissant un réseau plus sûr et plus fiable en cas d'incident. Parce qu'il s'agit d'un projet local, il facilite également la création d'initiatives et de nouveaux partenariats entre les acteurs locaux. Le développement des micro-réseaux répond aussi à l'appétence des consommateurs pour les circuits courts, d'autant que les fonctions *Smart grids* qui peuvent y être attachées renforcent considérablement le rôle du consommateur. [56]

Inconvénients :

- Couts élevés des installations ainsi que des ressources énergétiques décentralisées ;
- Difficultés techniques liés au manque d'expérience technique ;
- Absence de normes : puisque c'est un domaine relativement nouveau, les normes ne sont pas encore disponibles pour résoudre les problèmes de fonctionnement et de protection ;
- Absence de lois ou règlement standard pour réguler le fonctionnement des micro-réseaux [56].

2.11. Conclusion :

Ce chapitre a fait l'objet d'une étude et d'une analyse d'un micro-réseau ou des Panneaux solaires sont branchés. Dans un premier temps, nous avons présenté brièvement le micro-réseau et sa constitution. Ensuite, nous avons fait le dimensionnement du système solaire étudié. Et pour terminer nous avons proposé des solutions afin de satisfaire la demande des consommateurs**.**

CHAPITRE III

SIMULATION ET RÉSULTATS

3.1. Introduction

Ces dernières années, les changements dans la demande des consommateurs et la dépendance technologique dans la société ont augmentés. Le besoin d'un réseau de distribution électrique fiable et résistant aux pannes est devenu de plus en plus important. Un micro-réseau est un réseau interconnecté de systèmes énergétiques distribués qui peuvent fonctionner qu'ils soient connectés ou indépendants du réseau principal. Le micro-réseau fournit l'utilisation maximale de l'énergie existante et la gestion de la demande. Il garantit que des sources renouvelables et propres sont incluses dans le réseau. Le micro-réseau est le reflet du smart grid du futur. Pour bien comprendre le rôle et le principe de fonctionnement d'un micro-réseau dans l'efficacité et l'échange énergétique entre la production et la demande, nous allons simuler et analysé les résultats d'un exemple de micro-réseau configuré dans l'environnement MATLAB/Simulink en prend en considération plusieurs opération pendant 24h tel que :

- La variation de la charge totale de micro-réseau.
- La variation de l'éclairement/la puissance solaire.
- L'intervention et le contrôle de la batterie.
- Le test de la robustes de micro-réseau contre l'effet de l'ombrage et les défauts.
- L'échange énergétique.

3.2. Description de modèle du micro réseau utilisé

Cet exemple montre le comportement d'un modèle d'un micro-réseau pendant 24 heures lors d'une journée typique. Le modèle utilise la solution phasor afin d'accélérer la vitesse de simulation. Le micro-réseau est un réseau a courant alternatif (CA) monophasé. Les sources d'énergie sont :

- Un réseau électrique.
- Un système de production d'énergie solaire.
- Une batterie de stockage.

La batterie de stockage est contrôlée par un contrôleur de batterie a la base. Elle absorbe le surplus d'énergie lorsqu'il y a un excédent d'énergie dans le micro-réseau, et fournit une énergie supplémentaire en cas de pénurie d'énergie dans le micro-réseau. Trois maisons ordinaires consomment de l'énergie (maximum de 2,5 kW) sous forme de charges résidentielle électriques. Le micro-réseau est relié au réseau électrique par un transformateur monté sur un support qui abaisse la tension de 6,6 kV à 200 V. La production d'énergie solaire et la batterie de stockage sont des sources de courant continu qui sont converties en courant alternatif.

Monophasé. La stratégie de contrôle suppose que le micro réseau ne dépend pas entièrement de l'énergie fournie par le réseau électrique et que l'énergie fournie par la production d'énergie solaire et le stockage est suffisante à tout moment. La figure 3.1 montre le schéma block de micro réseau modélisé. Le tableau 3.1 présentes les données de la consommation de la charge. La figure 3.1 présente le profil de consommation de micro-réseau pendant 24h.

Tableau 3.1 : Données de profile de charge

Charge	Puissance (KW)	Tension (V)
Maisons 1	2.5	200
École 2	2.5	200
Hôpital	2.5	200
Total	7.5	-------

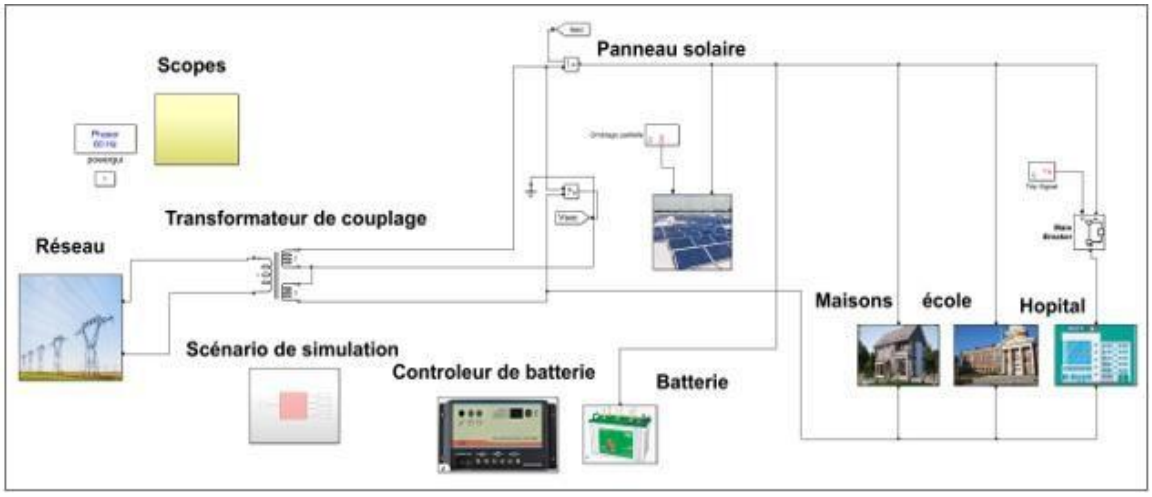


Figure (3.1). Schéma block de simulation d'un micro-réseau sur Matlab/Simulink.

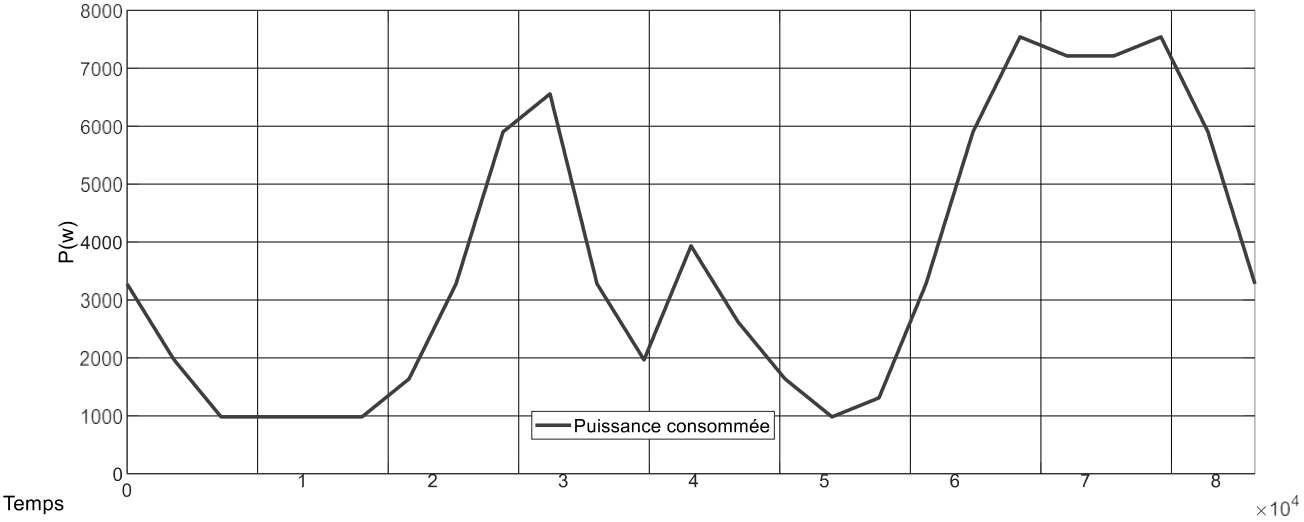


Figure (3.2). Puissance consommée par la charge**.**

Tableau 3.2 : Puissance consommée par la charge**.**

Temps de fonctionnement	**L'état de fonctionnement**
De minuit à 2 h	La consommation diminue de 3280 W à 1000 W.
[De 2 h jusqu'à5 h]	-la consommation reste constante À 1000 W.
[8h- 9h]	La consommation augmente à nouveau progressivement à une valeur de 5900W Jusqu' le pic 6500W
[11h- 12h] 12h	Nous remarquons plusieurs changements de consommation avec la valeur de la consommation vers 1970W, puis une Augmentation de la consommation, qui atteint 3940 W
[12h- 15h]	Puis une diminution de 3940 W à 1000W
[15h -19h] À Partir 22h	-Une remontée le soir un augmentation un pic de consommation de 7500 W. -Nous remarquons un troisième pic de consommation à qui atteint 7540 W.
De 22 h jusqu'à minuit	Puis une nouvelle diminution progressive De 7500 w à 3300W.

- **De minuit à 2 h :** Nous remarquons à travers la courbe une variation de consommation d'énergie au Cours de la journée.
- **[De 2 h jusqu'à 5 h] :** ce qui explique la présence d'un appareil qui a besoin d'énergie dans les 24 Heures, comme un réfrigérateur.
- **À partir de [8h- 9h] jusqu'à [12h- 15h] :** le début de la journée et l'augmentation de la consommation.
- **[15h -19h]** : la diminution de rayonnement solaire et de L'augmentation de la consommation.
- **De 22 h jusqu'à minuit :** la consumation diminue.

3.3. Simulation et analyse des résultats

La production d'énergie solaire, de 20h à 4h est de 0 W. Elle atteint son maximum (5kW) de 14h à 15h. En tant que changement de charge typique des maisons ordinaires, la charge d'énergie électrique atteint sa consommation maximale à 9h (6.500 kW), 19h et 22h (7.500 kW). De 0h à 12h et de 18h à 24h, le contrôle de la batterie est effectué par le contrôleur de batterie. Le contrôleur de la batterie effectue un contrôle de suivi du courant de sorte que la puissance active qui s'écoule dans la puissance du système à partir du côté secondaire du transformateur monté sur poteau. La batterie de stockage fournit le courant insuffisant lorsque la puissance du micro-réseau est insuffisante et absorbe le courant excédentaire du micro-réseau lorsque sa puissance est supérieure à la charge électrique. De 12h à 18h, le contrôle de la batterie n'est pas effectué. Le SOC (state of charge) de la batterie de stockage est fixé à une constante et ne change pas puisque la charge ou la décharge de la batterie de stockage n'est pas effectuée par le contrôleur de la batterie de stockage ne sont pas effectuées par le contrôleur de batterie. Lorsqu'il y a un manque de puissance dans le micro-réseau, la puissance du système fournit une puissance insuffisante. Lorsqu'il y a un surplus de puissance dans le micro-réseau, la puissance excédentaire est renvoyée à la puissance du système. A 15h les panneaux solaires ont été exposés à un ombrage partiel avec 1000s. A 8h, la charge électrique n°3 de l'hôpital est mise à une coupure causée par un court-circuit pendant 600s secondes par le disjoncteur.

Organigramme

Pour le modèle étudié,

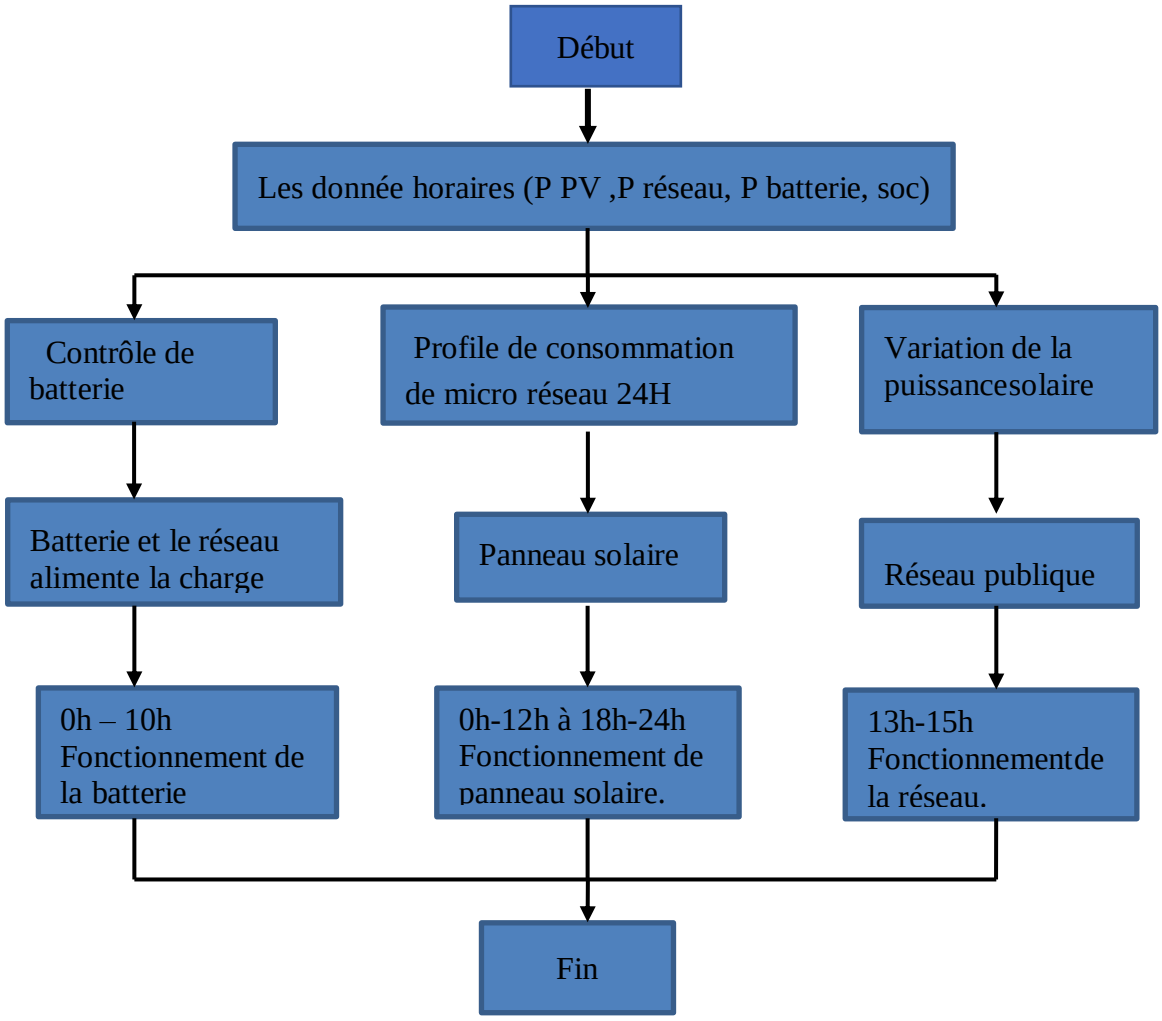


Figure (3.3) : Organigramme de la gestion de micro-réseau.

3.4. Objectif des scenarios

1. Modélisation de micro réseau.
2. Simulation de la puissance active consommé par micro réseau pondant 24h (satisfactionde profil de charge).
3. Teste de la robustes de micro réseau contre ombrage par signal et les défauts.

3.5. Scénarios proposés

Les résultats de la simulation sans présenter ci-dessus

3.5.1 Scénarios 1 : sans ombrage sans défaut

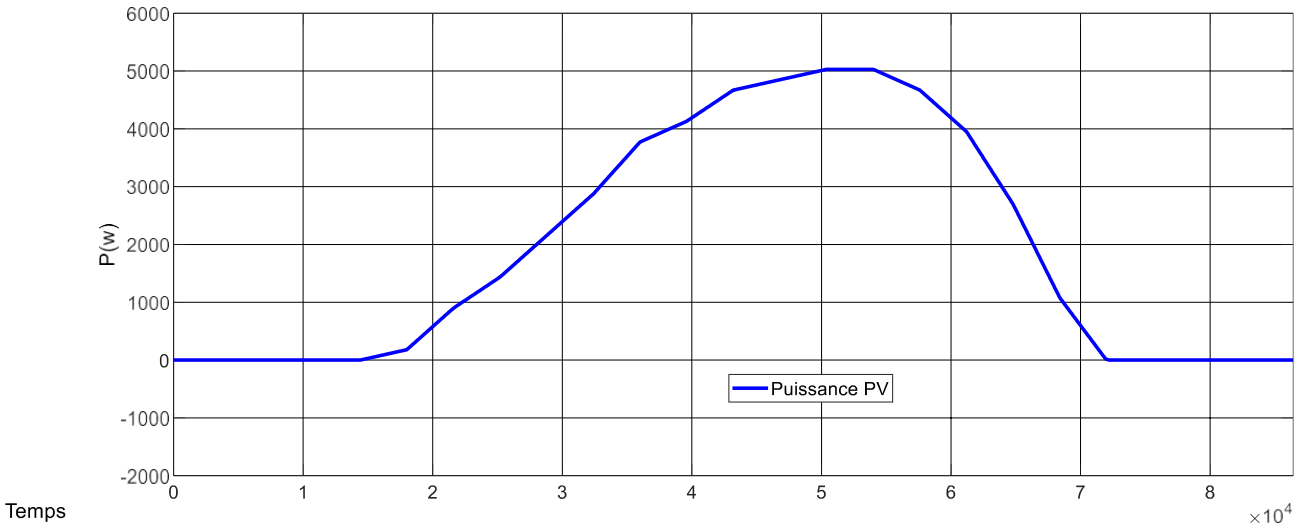


Figure (3.4) : La puissance Produite par les panneaux Solaire

Interprétation

Tableau 3.3 : La puissance Produite par les panneaux Solaire

Temps de fonctionnement	**L'état de fonctionnement**
Partir de : [4h-14h]	- l'énergie produite par les panneaux solaires À augmenter
[14h-15h]	L'augmentation du rayonnement solaire pendant cette partie de la journée : -Une puissance vers un pic de production de L'ordre de 5000 W.
A partir de [15h – 20h Jusqu'à(20h)	-Une diminution progressive de la puissance produite
Pendant les heures [20h-4h]	-la puissance des panneaux égale à zéro.

- **[4h-14h] :** C'est le temps du lever du soleil du soleil jusqu'à midi.
- **[14h-15h] :** le rayonnement solaire total.
- **[15h – 20h] :** c'est le début du coucher du soleil cette diminution du rayonnementsolaire jusqu'à la disparition complète c'est-à-dire la nuit.
- **Pendant les heures de [20h-4h] :** l'absence totale de rayonnement solaire.

- La figure (3.5) montre l'allure de la source de puissance secondaire.

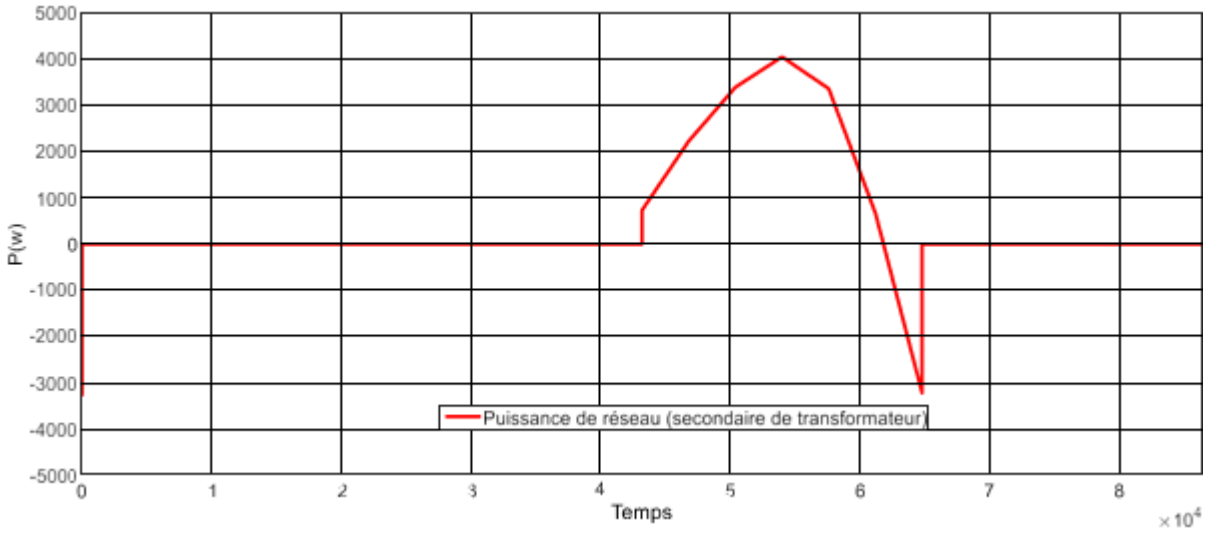


Figure (3.5). La puissance secondaire

Interprétation

Tableau 3.4 : La puissance secondaire

Temps de fonctionnement	**L'état de fonctionnement**
De 0h à 13h	Consommation de la puissance de réseau et Constant.
De 13h à 15h	Un pic de consommation de la charge surgit Provoquant l'augmentation rapide de la puissance produit jusqu' à 4000 W.
De 16h à 19h	Il y a une diminution remarquable de la Puissance de réseau.
A partir de 20h	-la puissance de réseau égale à zéro.

- **De 0h à 13h** : parce qu'il y a un le rayonnement solaire.
  La batterie fonctionne à deux modes déférents
- Le premier mode consiste à Charger la batterie et cela est dû à l'heure de la pointe.
- Le second mode est dû à l'alimentation des 3 charges.
- Dans les trois charges figure (3.5) connectées, l'énergie consommée par ces dernières à différents.
- **[15h -19h]** : la diminution de rayonnement solaire et de L'augmentation de la consommation.
- **De 22 h jusqu'à minuit :**la consumation diminue.

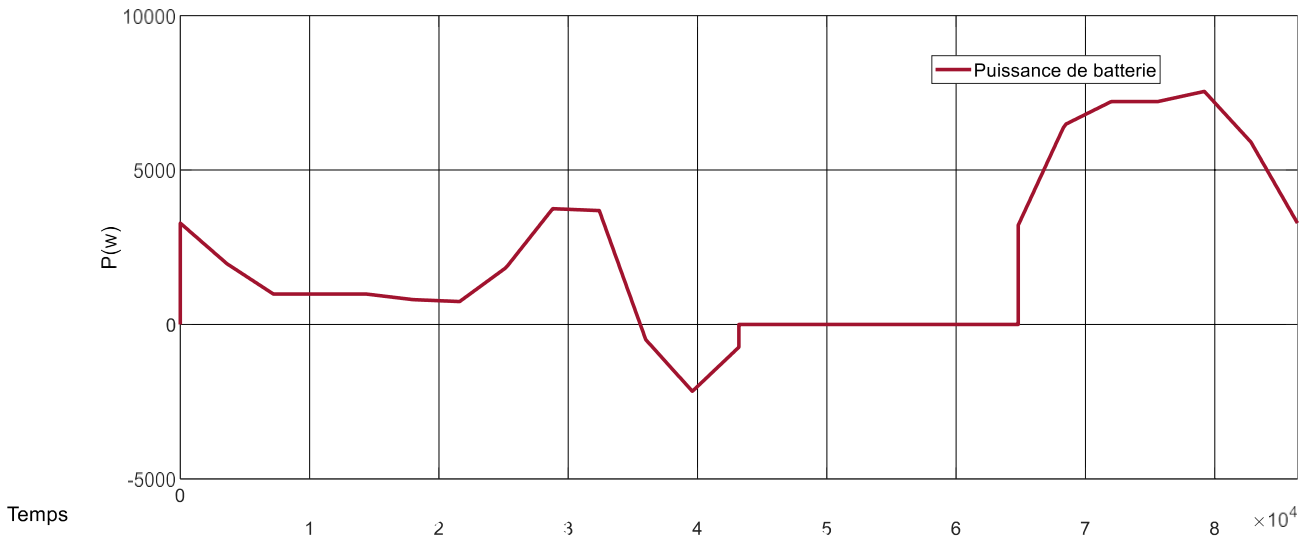


Figure (3.6). La puissance de batterie

Interprétation

Tableau 3.5 : La puissance de batterie

Temps de fonctionnement	**L'état de fonctionnement**
De 0h à 12h	Nous remarquons une plusieurs changements diminution et une consommation constante et Augmentation de puissance de batterie.
De 12h à 18h	-la puissance de la batterie est nulle.
De 18h à 24h	On remarque une augmentation de la puissance De batterie jusqu'5600 W

De 0h à 12h : La puissance de batterie varie selon la demande des charges en énergie Le système de stockage de la batterie fournit de l'énergie lorsque la production totale à Partir du micro-réseau est insuffisante pour répondre à la demande de charge. Le stockage Absorbera l'excès de puissance du micro-réseau lorsque la demande de charge est faible.

De 12h à 18h : parce que l'intensité des rayons du Soleil est maximale, la puissance générée dont le micro-réseau qu'a besoin est suffisante.

De 18h à 24h : la batterie de stockage alimente le micro-réseau car pendant cet Intervalle Le panneau solaire ne produit pas le maximum d'électricité car l'intensité des rayons solaires durant cette période est moindre voire négligeable la nuit.

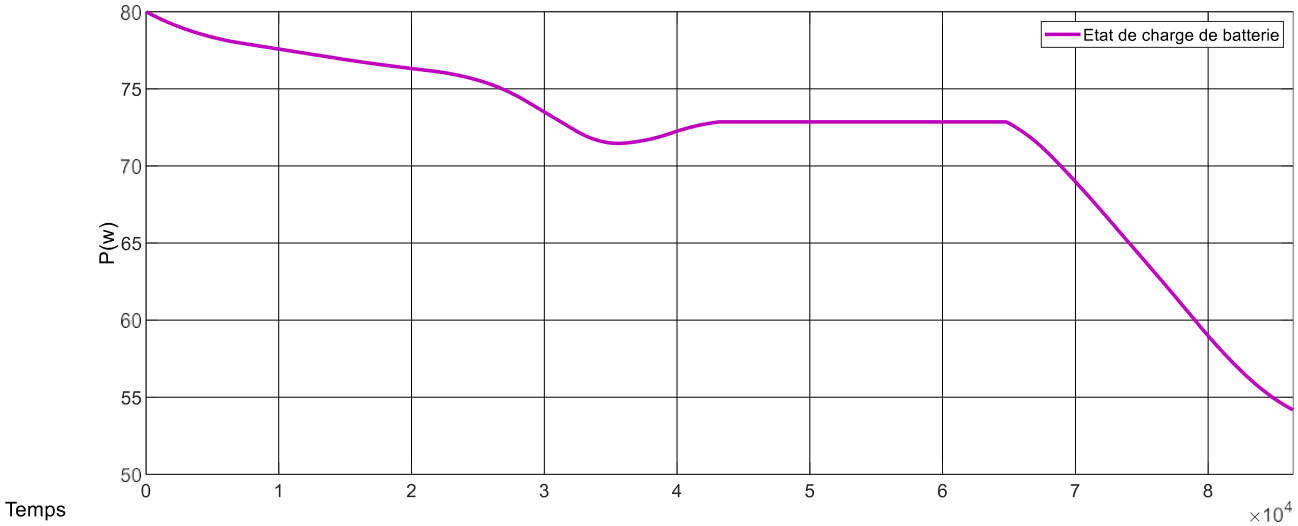


Figure (3.7). Battery_SOC

Interprétation

Tableau 3.6 : Battery_SOC

Temps de fonctionnement	**L'état de fonctionnement**
De 12h à 18h,	La batterie de stockage est fixée à une valeur constante qui ne change pas lors de la Charge ou la décharge du stockage.
De 18h à 0h	L'état de charge diminue de plus en plus Rapidement

- De 12h à 18h, le contrôle de la batterie n'est pas effectué. Le SOC (State of Charge).
- De 18h à 0h car la batterie devient l'alimentation électrique principale pour répondreaux besoins des charges.

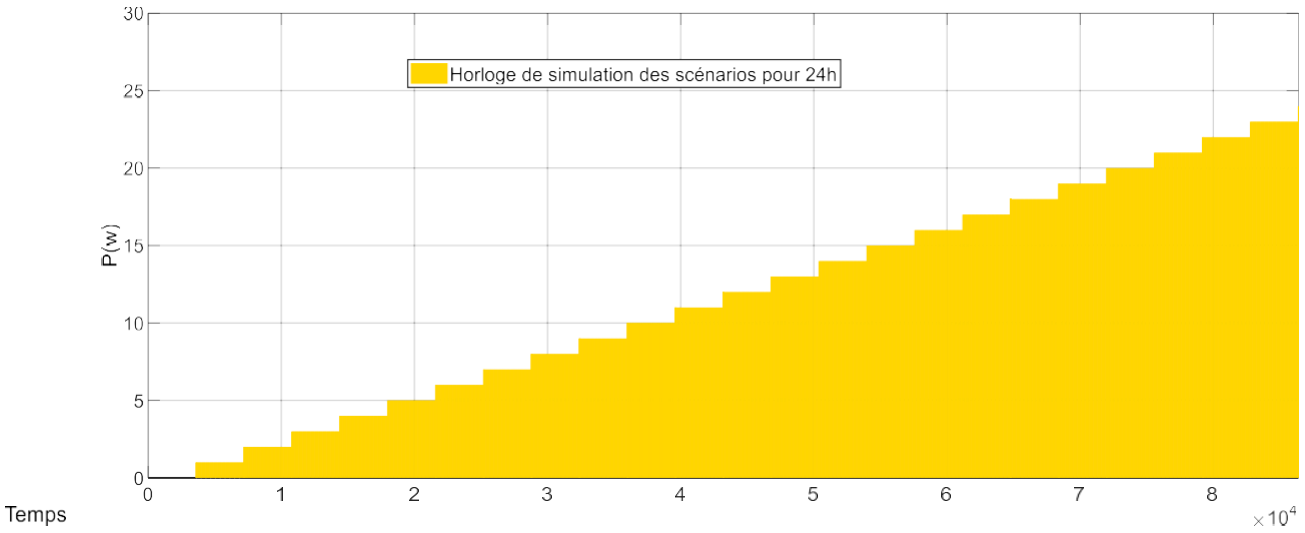


Figure (3.8). Horloge de simulation de system de temps (hour24h)

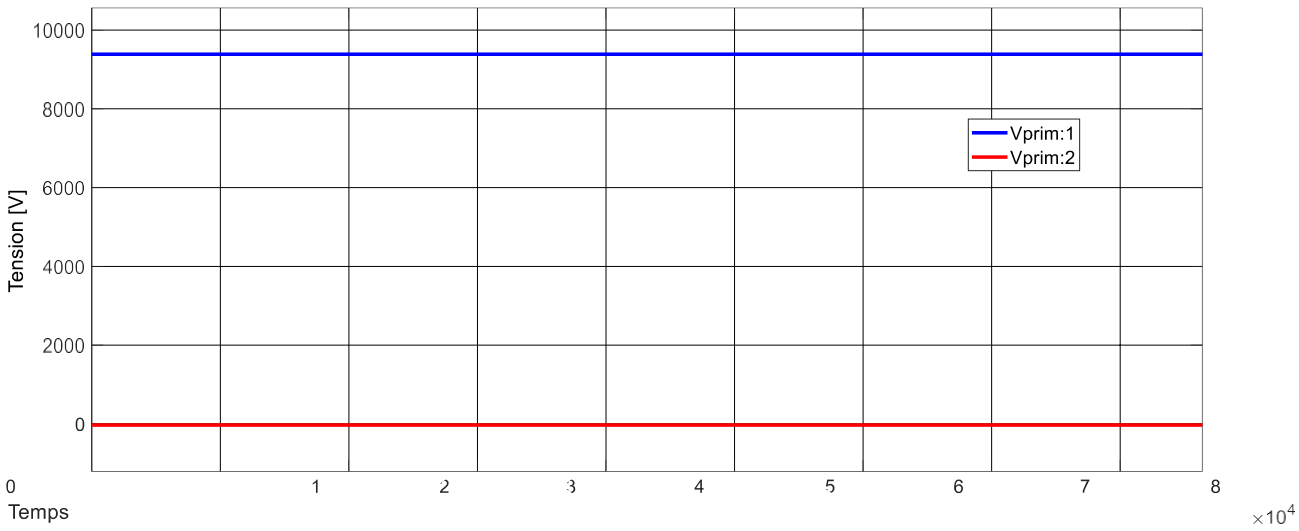


Figure (3.9) : tension primaire et secondaire de réseau

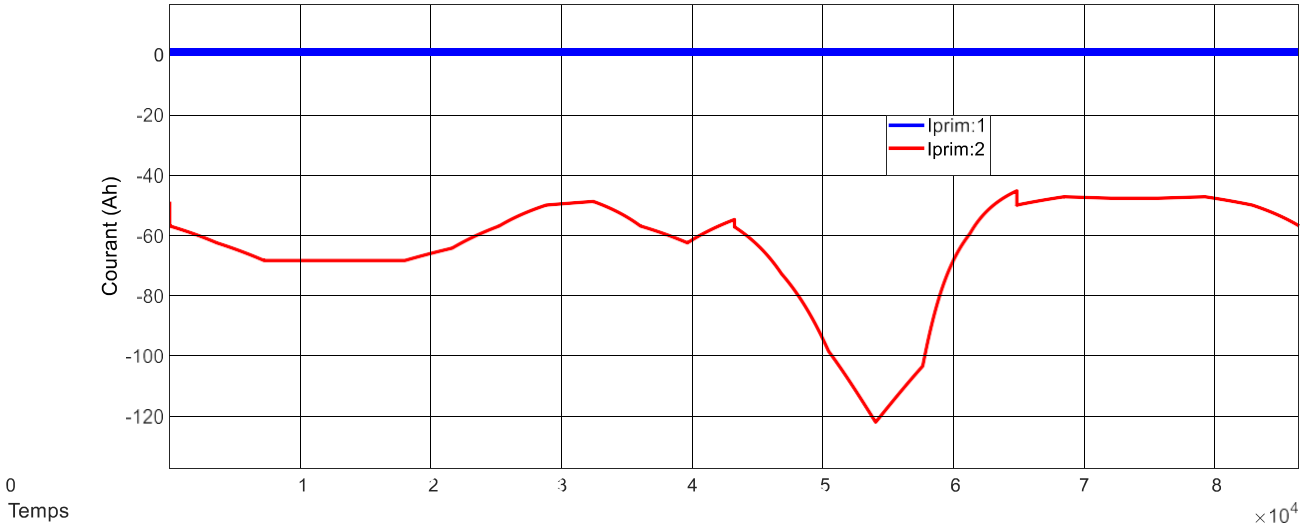


Figure (3.10) : courant primaire et secondaire de réseau

3.5.2. Scénarios 2 : avec ombrage partielle

Ombrage partielle 600 s à partir de l'heur 11.00h.

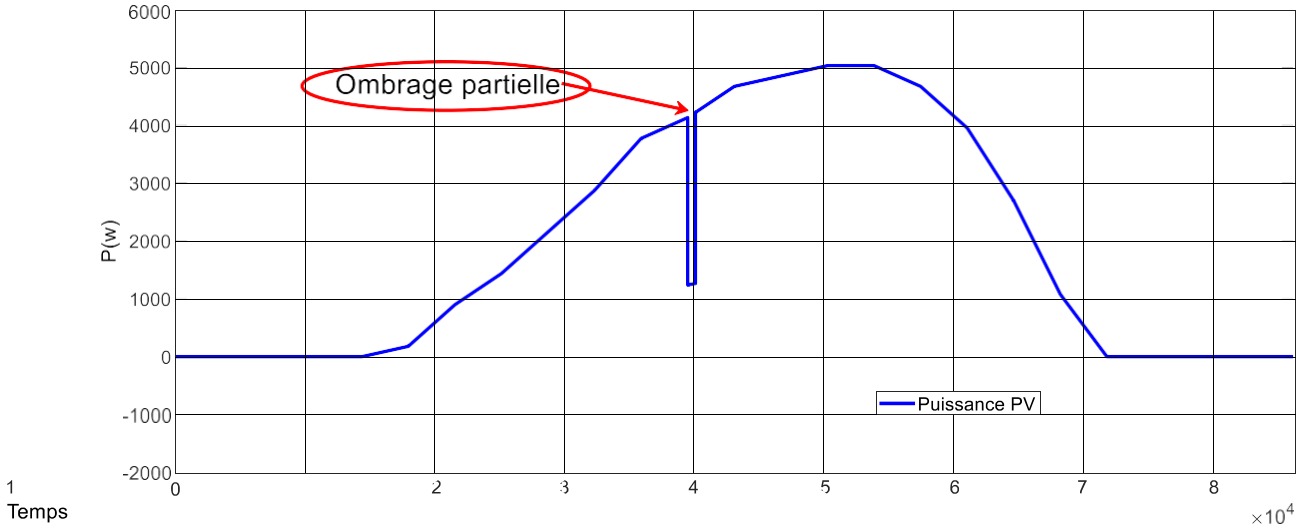


Figure (3.11). La puissance Produite par les panneaux Solaire lorsqu'en a un ombrage partiel

Interprétation

Tableau 3.7 : La puissance Produite par les panneaux Solaire lorsqu'en a un ombrage partiel

Temps de fonctionnement	**L'état de fonctionnement**
Partir de : [4h-14h]	- l'énergie produite par les panneaux solairesà augmenter.
14h	En remarque une diminution partielle de la Puissance produite.
[14h-15h]	L'augmentation du rayonnement solaire pendant cette partie de la journée : Une puissance vers un pic de production de l'ordre de 5000 W.
A partir de [15h – 20h] Jusqu' à(20h)	-Une diminution progressive de la puissance produite
Pendant les heures de [20h-4h]	-la puissance des panneaux égale à zéro.

- **[4h-14h] :** C'est le temps du lever du soleil du soleil jusqu'à midi.
- **A partir de 11h à14h :** c'est l'ombrage Partielle.
- **[14h-15h] :** car il n'y a pas un ombrage et le rayonnement solaire total.
- **[15h – 20h] :** c'est le début du coucher du soleil cette diminution du rayonnementsolaire jusqu'à la disparition complète c'est-à-dire la nuit.
- **Pendant les heures de [20h-4h] :** l'absence totale de rayonnement solaire

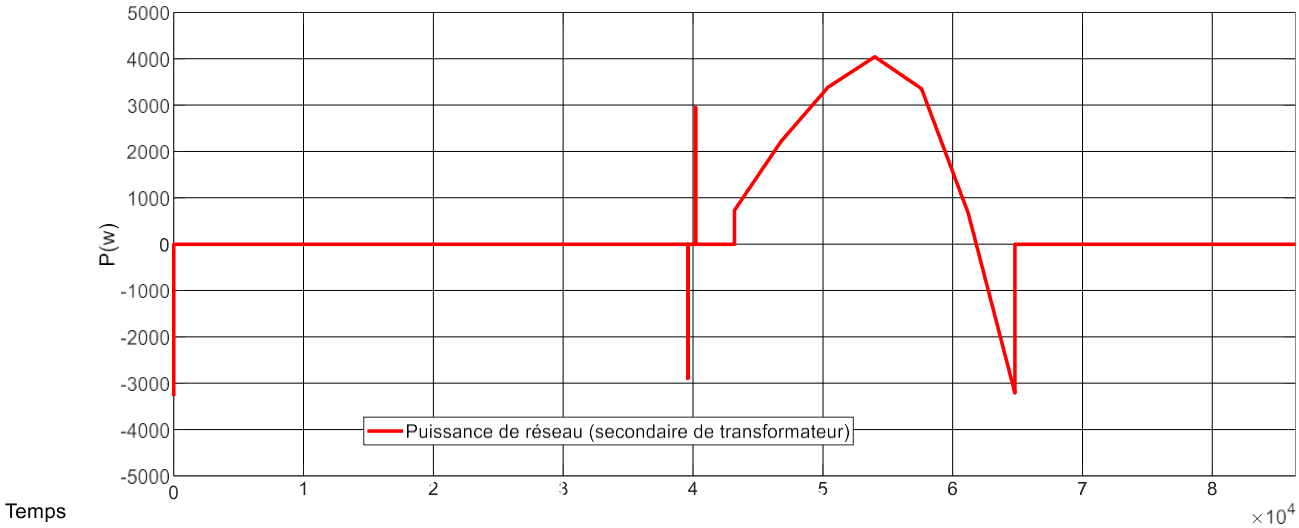


Figure (3.12). La puissance secondaire lorsqu'en a un ombrage partiel

Interprétation

Tableau 3.8 : La puissance secondaire lorsqu'en a un ombrage partiel

Temps de fonctionnement	**L'état de fonctionnement**
De 0h à 13h	Consommation de la puissance de réseau et Constant.
A14h	On remarque une diminution et augmentation Partielle en même temps de la puissance produite
De 12h à 15h	Augmentation de la puissance produit jusqu' Un pic de consommation 4000 W
De 16h à 19h	Diminution de progressive de la puissance de Réseau.

A partir de 20h	-la puissance de réseau égale à zéro.

- La batterie fonctionne selon deux modes différents.
- Le premier mode consiste à charger la batterie et cela est dû à l'heure de la pointe.
- Le second mode est dû l'alimentation des 3 charges.

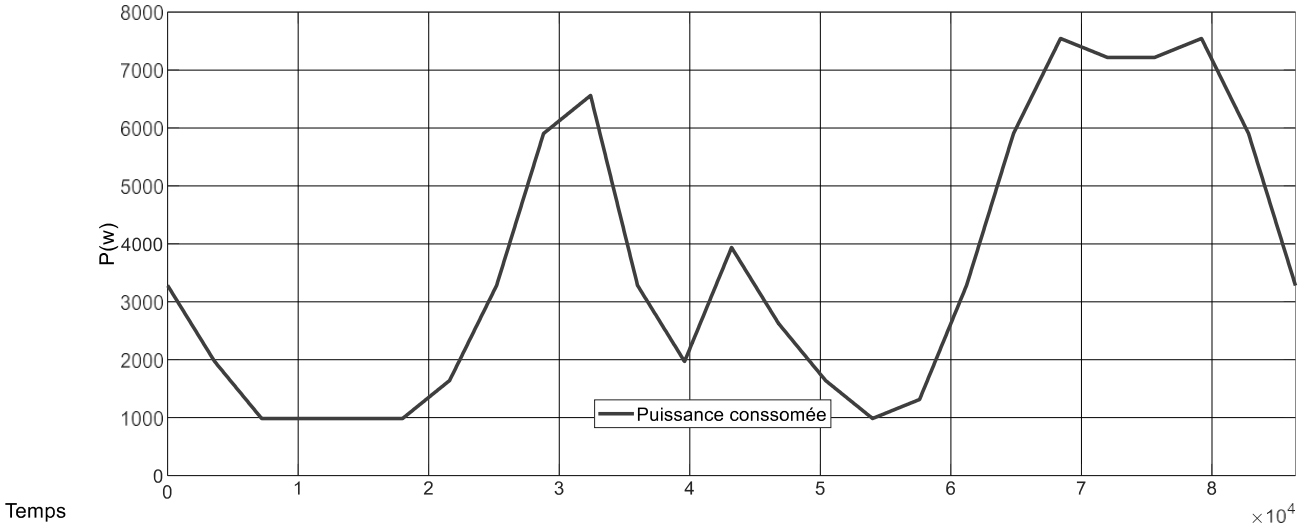


Figure (3.13). Puissance consommée par la charge lorsqu'en a un ombrage partiel

Interprétation

Dans les trois charges figure (3.13) connectées, l'énergie consommée par ces dernières à différents moments de la journée change selon l'utilisation de différents équipements à différentsMoments de la journée

Tableau 3.9 : Puissance consommée par la charge lorsqu'en a un ombrage partiel

Temps de fonctionnement	L'état de fonctionnement
De minuit à 2 h	La consommation diminue de 3280 W à 1000 W.
[De 2 h jusqu'à 5 h]	-la consommation reste constante À 1000 W.
[8h- 9h]	La consommation augmente à nouveau progressivement à une valeur de 5900W Jusqu' le pic 6500W
[11h- 12h] A 12h	Nous remarquons plusieurs changements de consommation avec la valeur de la consommation vers 1970W, puis une Augmentation de la consommation, qui atteint 3940 W
[12h- 15h]	Puis une diminution de 3940 W à 1000
[15h -19h] À Partir 22h	-Une remontée le soir un augmentation un pic de consommation de 7500 W. -Nous remarquons un troisième pic de consommation à qui atteint 7540 W.
De 22 h jusqu'à minuit	Puis une nouvelle diminution progressive De 7500 w à 3300W.

- **De minuit à 2 h :** Nous remarquons à travers la courbe une variation de consommation d'énergie au Cours de la journée.

- **[De 2 h jusqu'à 5 h] :** ce qui explique la présence d'un appareil qui a besoin d'énergiedans les 24 Heures, comme un réfrigérateur
- **À partir de [8h- 9h] jusqu'à [12h- 15h] :** le début de la journée et l'augmentation dela consommation
- **[15h -19h]** : la diminution de rayonnement solaire et de L'augmentation de la consommation
- **De 22 h jusqu'à minuit :**la consumation diminue.

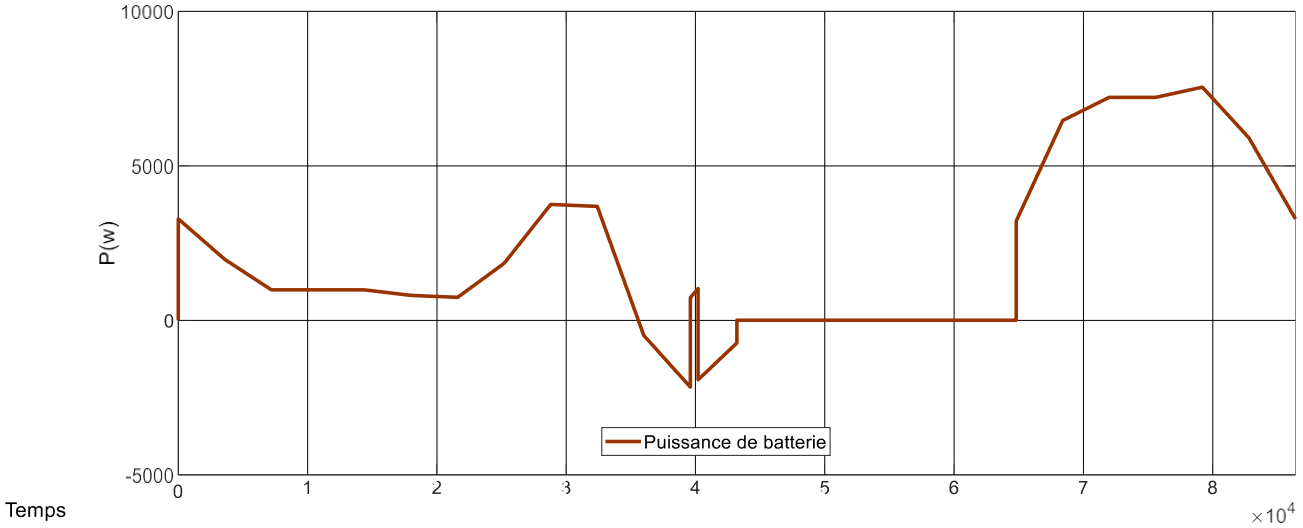


Figure (3.14). La puissance de batterie lorsqu'en a un ombrage partiel

Interprétation

Sur la figure (3.14), la puissance de la batterie à différentes heures de la journée estAffichée.

Tableau 3.10 : La puissance de batterie lorsqu'en a un ombrage partiel

Temps de fonctionnement	**L'état de fonctionnement**
De 0h à 13h	Nous remarquons une plusieurs changements diminution et un consumation constant et augmentation de puissance de batterie.

A 14h	En remarque une diminution et augmentation En même temps partielle de la puissance de batterie.
De 15h à 18h	-la puissance de la batterie est nulle.
De 18h à 24h	En remarque une augmentation de la puissance De batterie jusqu'5600 W

- **De 0h à 13h :** La puissance de batterie varie selon la demande des charges en énergie Le système de stockage de la batterie fournit de l'énergie lorsque la production totale à Partir du micro-réseau est insuffisante pour répondre à la demande de charge. Le stockage Absorbera l'excès de puissance du micro-réseau lorsque la demande de charge est faible.
- **A 14h :** il y'a un ombrage partiel
- **De 15h à 18h :** parce que l'intensité des rayons du Soleil est maximale, la puissance générée dont le micro-réseau qu'a besoin est suffisante
- **De 18h à 24h :** la batterie de stockage alimente le micro-réseau car pendant cet Intervalle Le panneau solaire ne produit pas le maximum d'électricité car l'intensité des rayons solairesdurant cette période est moindre voire négligeable la nuit.

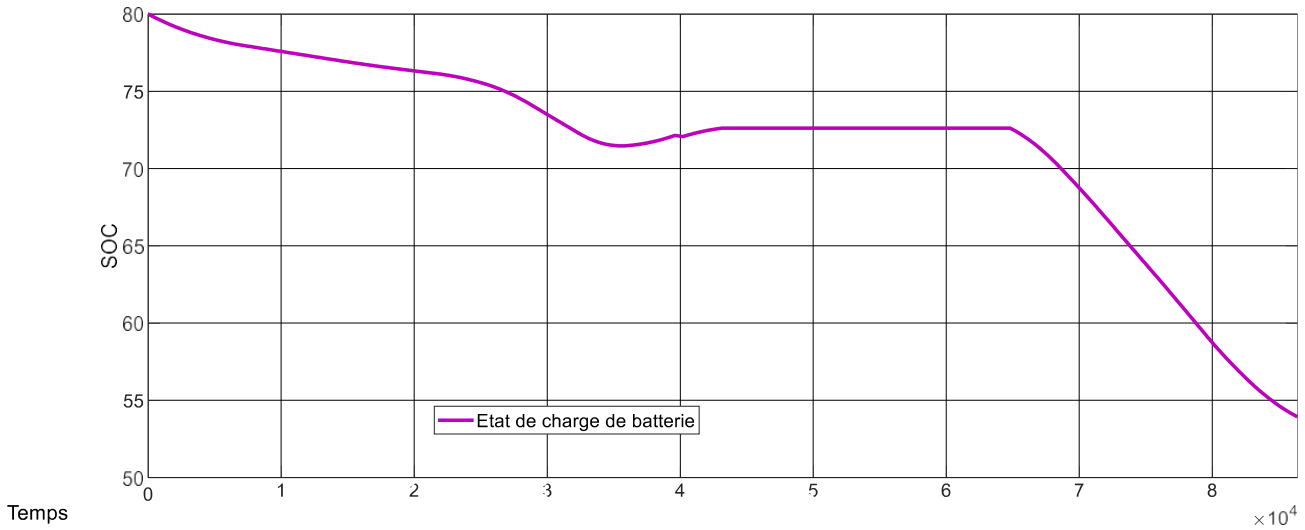


Figure (3.15). Battery_SOC

Interprétation

Tableau 3.11 : Battery_SOC

Temps de fonctionnement	**L'état de fonctionnement**
De 12h à 18h,	La batterie de stockage est fixée à une valeur constante qui ne change pas lors de la Charge ou la décharge du stockage.
De 18h à 0h	L'état de charge diminue de plus en plus Rapidement

- De 12h à 18h, le contrôle de la batterie n'est pas effectué. Le SOC (State of Charge).
- De 18h à 0h car la batterie devient l'alimentation électrique principale pour répondreaux besoins des charges.

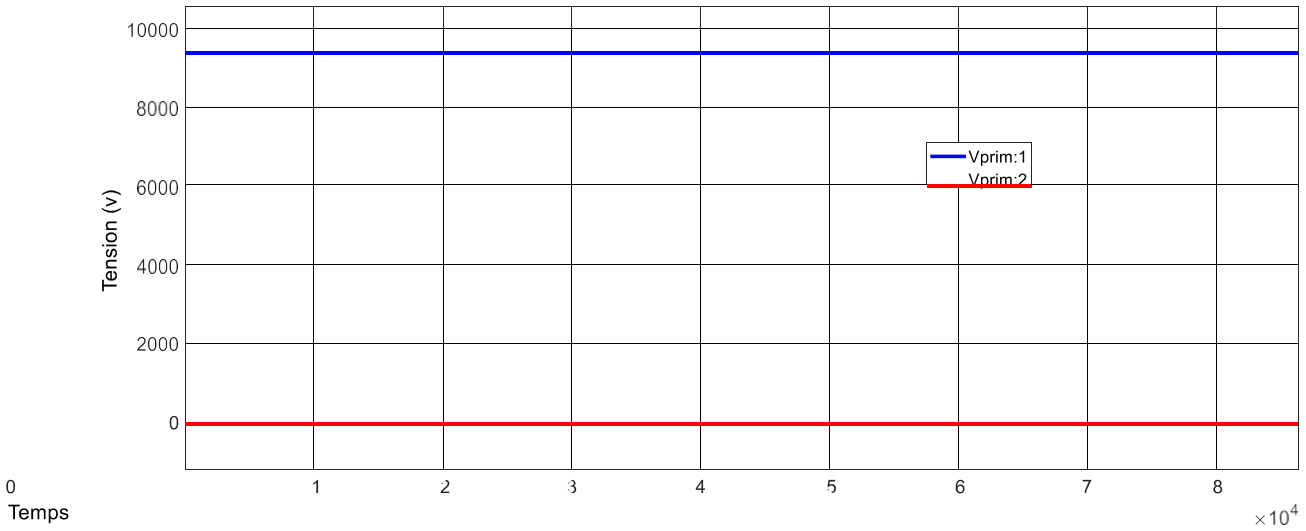


Figure (3.16) : tension primaire et secondaire de réseau

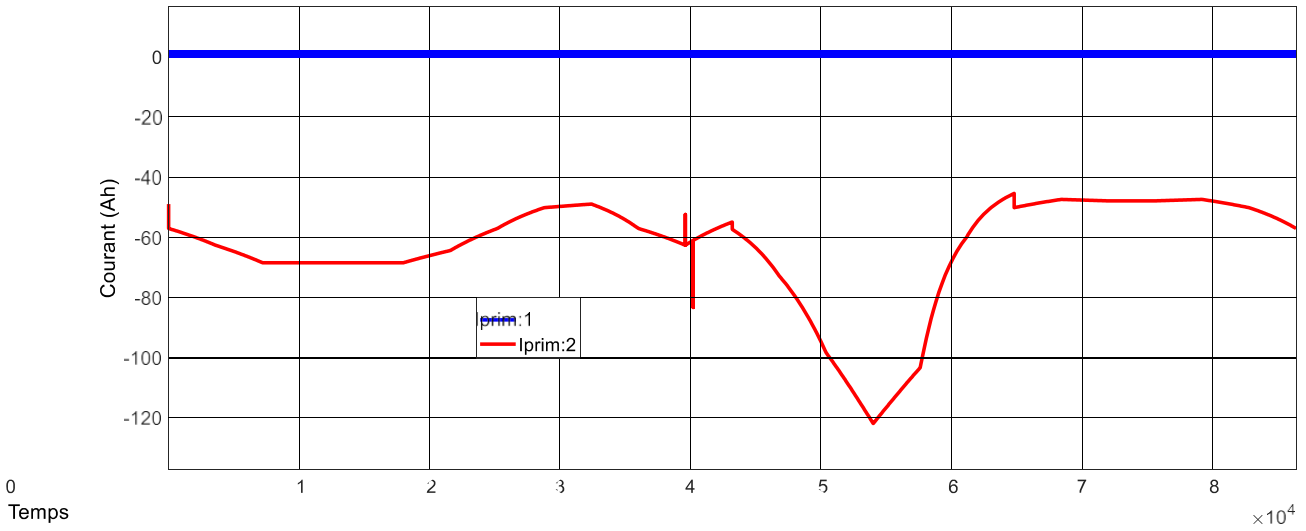


Figure (3.17) : courant primaire et secondaire de réseau

3.5.3. Scénarios 3 : avec ombrage et défaut

Ombrage partielle de 1000 s à partir de l'heur 15.00h et défaut de 600 s ce qui se passe à l'hôpital a l'heur de 20.00h à cause de la forte consommation et l'heure de pointe de la charge

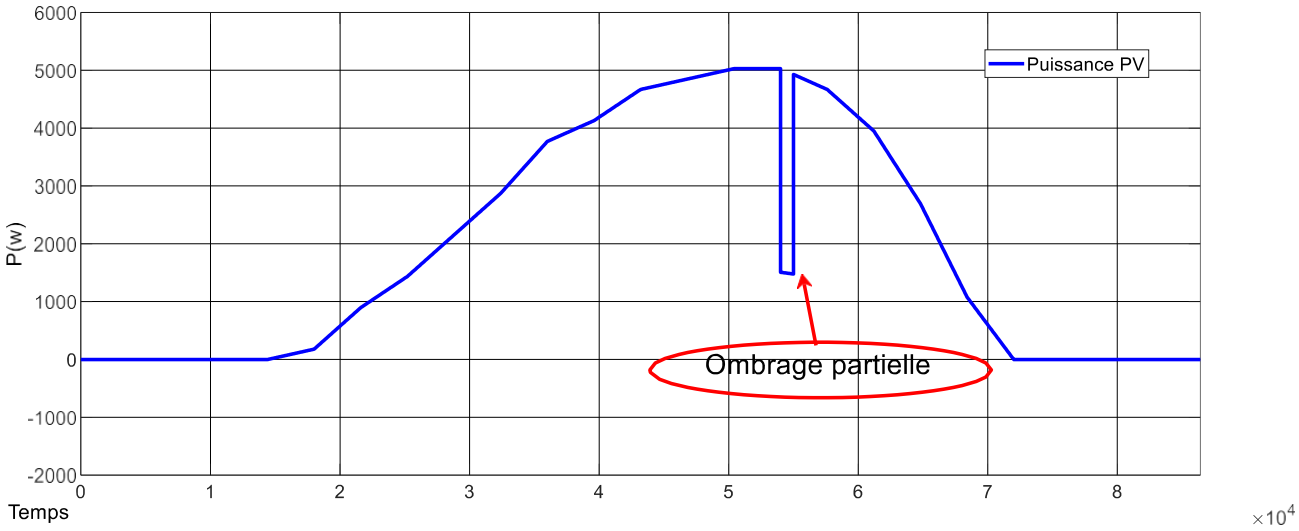


Figure (3.18). La puissance Produite par les panneaux Solaire lorsqu'en un ombrage totaldéfaut.

Interprétation

Tableau 3.12 : La puissance Produite par les panneaux Solaire lorsqu'en un ombrage total défaut.

Temps de fonctionnement	**L'état de fonctionnement**
Partir de : [4h-14h]	- l'énergie produite par les panneaux solaires À augmenter
[14h-15h]	L'augmentation du rayonnement solaire pendant cette partie de la journée : Une puissance vers un pic de production de l'ordre de 5000 W.
A 15h	En remarque une diminution et augmentation En même temps partielle de la puissance La puissance Produite par les panneaux Solaire.
A partir de [15h – 20h] Jusqu' à(20h)	-Une diminution progressive de la puissance produite
[20h-4h]	-la puissance des panneaux égale à zéro.

- **[4h-14h] :** C'est le temps du lever du soleil du soleil jusqu'à midi.
- **[14h-15h] :** le rayonnement solaire total.
- **A 15h :** car il y a un ombrage partiel.
- **[15h – 20h] :** c'est le début du coucher du soleil.

Cette diminution du rayonnement solaire jusqu'à la disparition complète c'est-à-dire la nuit.

- **Pendant les heures de [20h-4h] :** l'absence totale de rayonnement solaire.

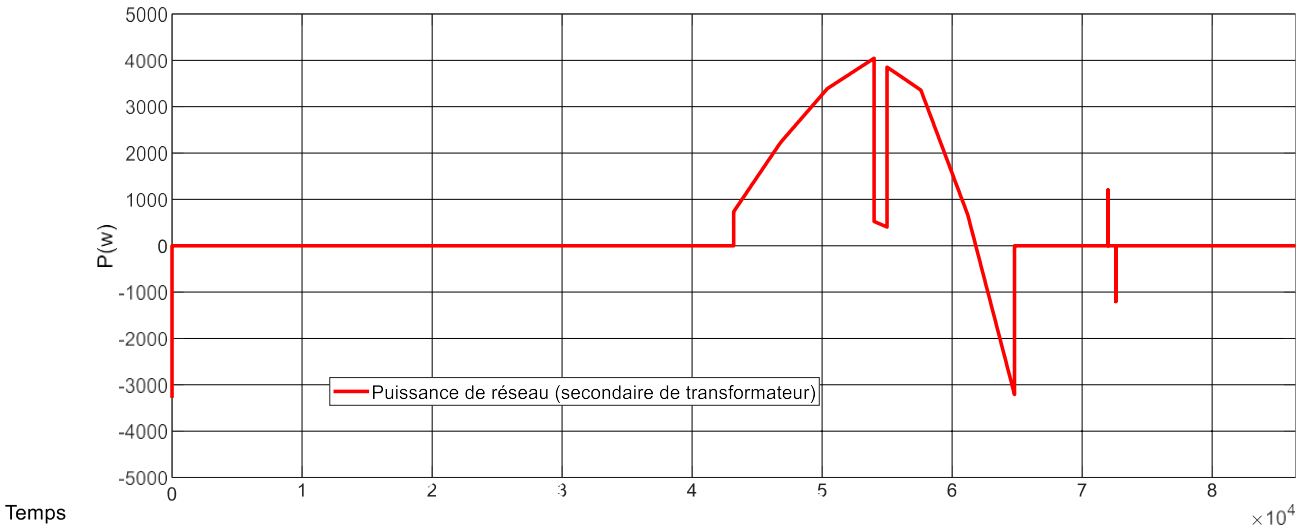


Figure (3.19). La puissance secondaire lorsqu'en un ombrage total défaut.

Interprétation

Tableau 3.13 : La puissance secondaire lorsqu'en un ombrage total défaut.

Temps de fonctionnement	**L'état de fonctionnement**
De 0h à 13h	Consumation de la puissance de réseau et Constant.
A14h	On remarque une diminution et augmentation Partielle en même temps de la puissance produite
De 12h à 15h	Augmentation de la puissance produit jusqu' Un pic de consommation 4000 W

A15h	En remarque une diminution et augmentation en même temps partielle de la puissance de Réseau.
De 16h à 19h	Diminution de progressive de la puissance de Réseau.
A partir de 20h	-la puissance de réseau égale à zéro.
A 20h	On remarque qu'il y a un défaut.

- **A15h :** car il y a un ombrage partiel.
- **A 20h** : le défaut à cause de la forte consommation et l'heure de pointe de la charge

  La batterie fonctionne selon deux modes différents.
- Le premier mode consiste à charger la batterie et cela est dû à l'heure de la pointe
- Le second mode est dû l'alimentation des 3 charges.

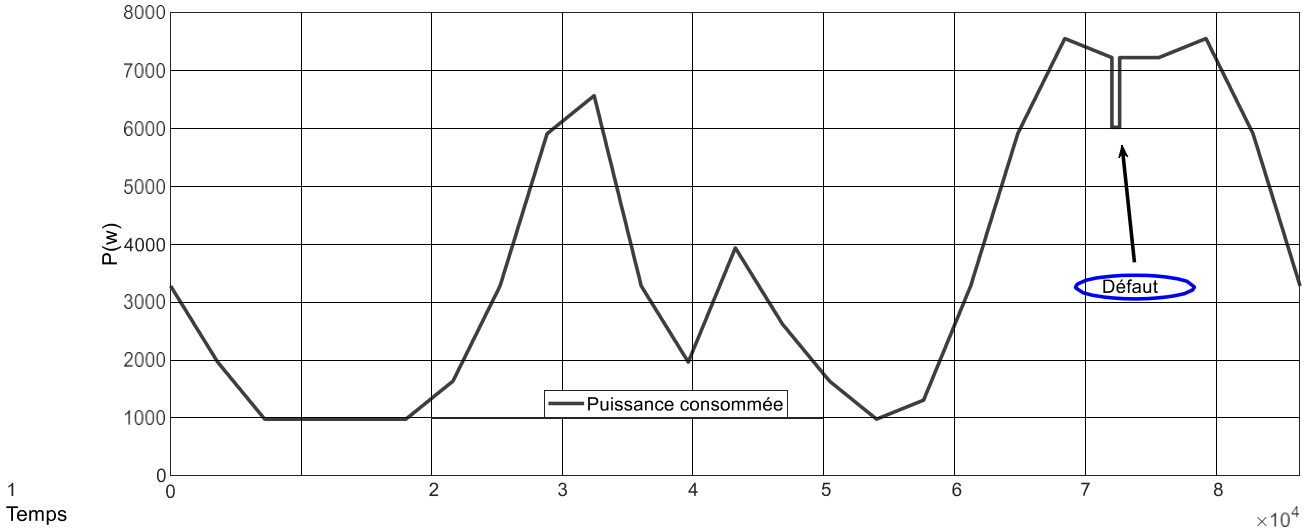


Figure (3.20). Puissance consommée par la charge lorsqu'en un défaut

Tableau 3.14 : Puissance consommée par la charge lorsqu'en un défaut

Temps de fonctionnement	**L'état de fonctionnement**
De minuit à 2 h	La consommation diminue de 3280 W à 1000 W.
[De 2 h jusqu'à5 h]	-la consommation reste constante À 1000 W.
[8h- 9h]	La consommation augmente à nouveau Progressivement à une valeur de 5900W jusqu' le pic 6500W
[11h- 12h]	Nous remarquons plusieurs changements de consommation avec la valeur de la consommation vers 1970W, puis une Augmentation de la consommation, qui atteint 3940 W
[12h- 15h]	Puis une diminution de 3940 W à 1000W
[15h -19h] À Partir 22h	-Une remontée le soir un augmentation un pic de consommation de 7500 W. -Nous remarquons un troisième pic de consommation à qui atteint 7540 W.
À 22h	On remarque qu'il y a un défaut une diminution et augmentation en même temps partielle de la puissance consommée par la Charge
De 22 h jusqu'à minuit	Puis une nouvelle diminution progressive De 7500 w à 3300W.

- **De minuit à 2 h :** Nous remarquons à travers la courbe une variation deconsommation d'énergie au Cours de la journée.
- **[De 2 h jusqu'à 5 h] :** ce qui explique la présence d'un appareil qui a besoin d'énergiedans les 24 Heures, comme un réfrigérateur.
- **À partir de [8h- 9h] jusqu'à [12h- 15h] :** le début de la journée et l'augmentation dela consommation.
- **[15h -19h]** : la diminution de rayonnement solaire et de L'augmentation de la consommation.
- **À 22h :** le défaut à cause de la forte consommation à l'heure de pointe de la charge.
- **De 22 h jusqu'à minuit** :la consumation diminue.

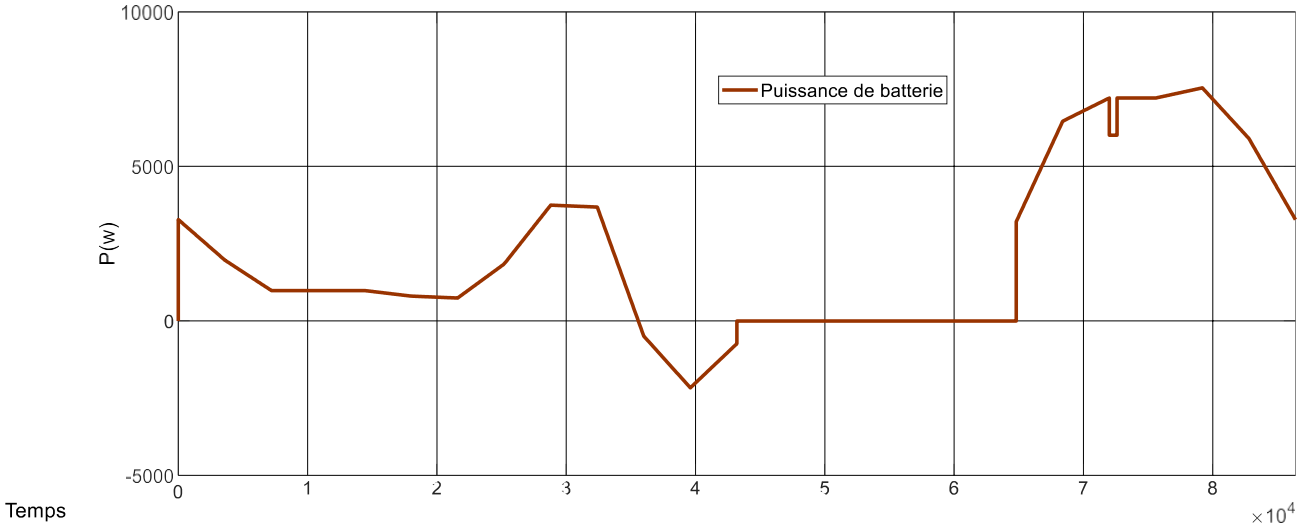


Figure (3.21). La puissance de batterie lorsqu'en un défaut

Interprétation

Tableau 3.15 : La puissance de batterie lorsqu'en un défaut

Temps de fonctionnement	**L'état de fonctionnement**
De 0h à 12h	Nous remarquons une plusieurs changements Diminution et un consumation constant et augmentation de puissance de batterie.
De 12h à 18h	-la puissance de la batterie est nulle.
De 18h à 24h	On remarque une augmentation de la puissance de batterie jusqu'5600 W On remarque qu'il y a un défaut.

De 0h à 12h : La puissance de batterie varie selon la demande des charges en énergie Le système de stockage de la batterie fournit de l'énergie lorsque la production totale à Partir du micro-réseau est insuffisante pour répondre à la demande de charge. Le stockage Absorbera l'excès de puissance du micro-réseau lorsque la demande de charge est faible.

De 12h à 18h : parce que l'intensité des rayons du Soleil est maximale, la puissance générée dont le micro-réseau qu'a besoin est suffisante

De 18h à 24h : la batterie de stockage alimente le micro-réseau car pendant cet Intervalle Le panneau solaire ne produit pas le maximum d'électricité car l'intensité des rayons solaires durant cette période est moindre voire négligeable la nuit, et le défaut à cause de la forte consommation à l'heure de pointe.

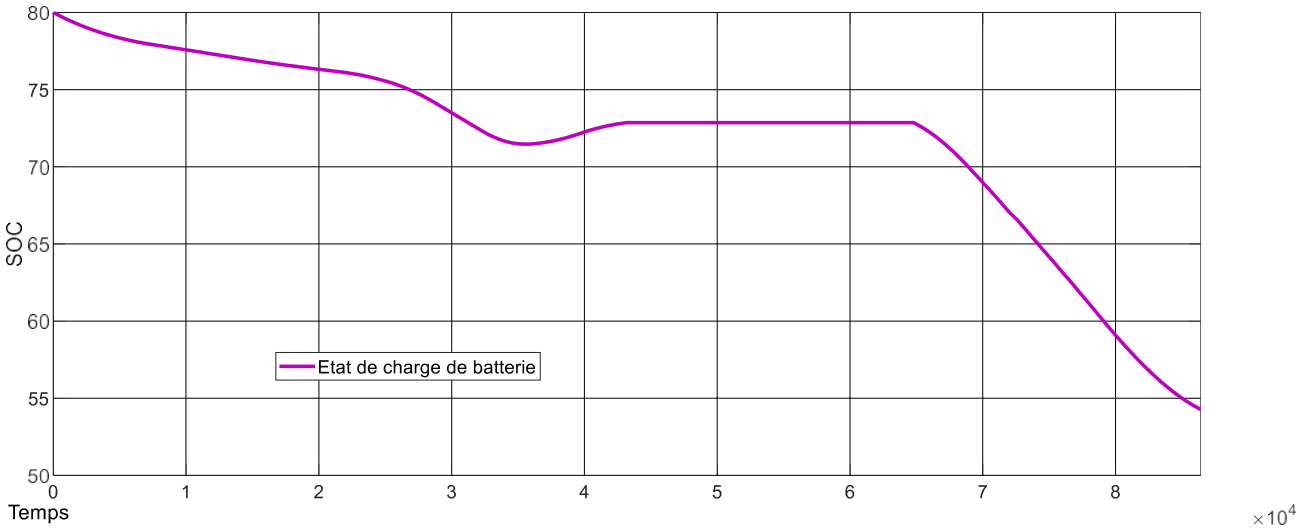


Figure (3.22). Battery_SOC

Interprétation

Tableau 3.16 : Battery_SOC

Temps de fonctionnement	**L'état de fonctionnement**
De 12h à 18h,	La batterie de stockage est fixée à une valeur constante qui ne change pas lors de la Charge ou la décharge du stockage.
De 18h à 0h	L'état de charge diminue de plus en plus Rapidement

- De 12h à 18h, le contrôle de la batterie n'est pas effectué. Le SOC (State of Charge).
- De 18h à 0h car la batterie devient l'alimentation électrique principale pour répondre auxbesoins des charges.

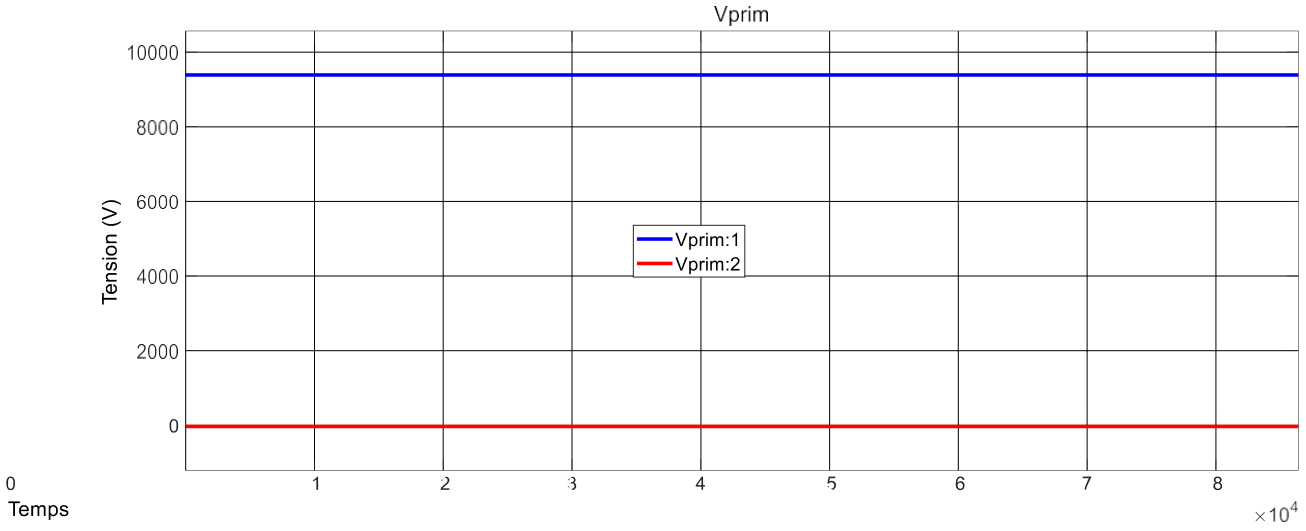


Figure (3.23) : Tension primaire et secondaire de réseau

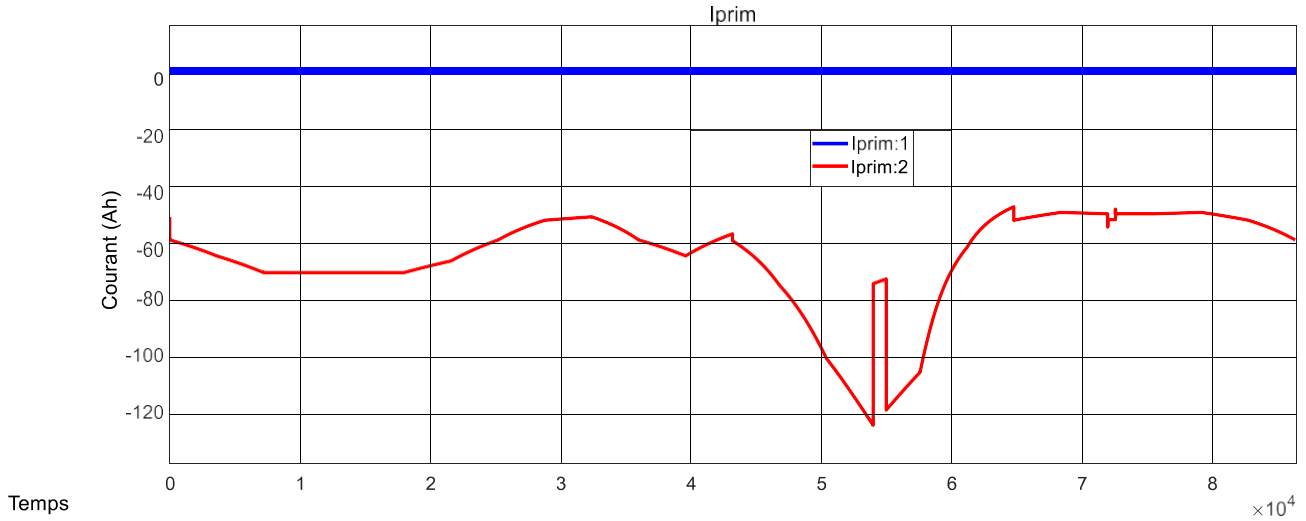


Figure (3.24) : courant primaire et secondaire de réseau

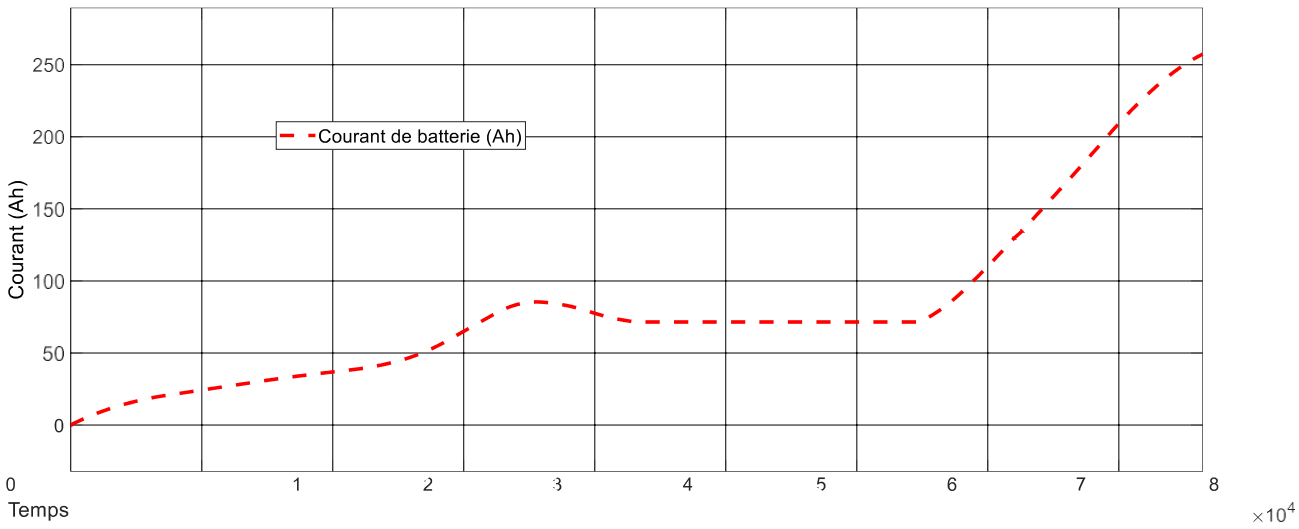


Figure (3.25). Courant de la batterie**.**

Interprétation

Tableau 3.17 : Courant de la batterie**.**

Temps de fonctionnement	**L'état de fonctionnement**
De 0h à 12h	On remarque une augmentation de courant de La batterie
De 12h à 18h	Le courant reste constante 70 Ah.
De 18h à 24 h	On remarque une augmentation de courant de Batterie

- **De 0h à 12h :** La puissance de batterie varie selon la demande des charges en énergie Le système de stockage de la batterie fournit de l'énergie lorsque la production totale à Partir du micro-réseau est insuffisante pour répondre à la demande de charge. Le stockage Absorbera l'excès de puissance du micro-réseau lorsque la demande de charge est faible.

- **De 12h à 18h :** parce que l'intensité des rayons du Soleil est maximale, la puissance générée dont le micro-réseau qu'a besoin est suffisante

- **De 18h à 24h :** la batterie de stockage alimente le micro-réseau car pendant cet Intervalle Le panneau solaire ne produit pas le maximum d'électricité car l'intensité des rayons solaires durant cette période est moindre voire négligeable la nuit, et le défaut à cause de la forte consommation à l'heure de pointe.

3.6. Conclusion

Ce chapitre, il explique le fonctionnement d'un micro-réseau se composant de plusieurs sources d'énergies renouvelables associe au réseau principal.

❖ Nous avons montrés le fonctionnement direct d'un micro-réseau constitué de trois charge (maison, hôpital, école) avec une source renouvelable qui est l'énergie photovoltaïque PV et un système de stockage par batterie connecté.

❖ Nous avons simulé et visualisés plusieurs résultats, pour but de montrer que le micro réseau peut produire de l'énergie afin de couvrir tout ou une partie de la demande localeen énergie par le biais de ses systèmes de production propre et de batterie.

❖ Le micro-réseau a prouvé son efficacité d'assurer l'échange énergétique entre la production et la consommation d'énergie avec un contrôle de la batterie lors plusieurs cas incidents comme l'ombrage ou le défaut, ce qui sera un élément essentiel dans les villes intelligentes du futur.

❖ En perspective ce micro-réseau peut être développé par l'intégration d'autre source énergétique tels que le parc éolien, le générateur hydroélectrique, les véhicule électrique et plus de régulateur.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Au cours de notre travail nous nous sommes intéressés à Etude et simulation d'un micro-grid intégré PV Batterie. Au début nous avons donné des généralités sur les systèmes photovoltaïques. L'étude bibliographique sur ces générateurs photovoltaïques leurs fonctionnements, leurs caractéristiques, leurs Potentiel Solaire, et les accumulateurs électriques (batteries) entretien de batterie et leurs avantage et inconvénient.

Dans la deuxième partie, nous avons étudié des micro réseau, à savoir la configuration, et le Principe de fonctionnement d'un micro-réseau, leurs catégorie, et les convertisseurs statiques et la modélisation d'un micro réseau, afin La simulation et résultats du micro-réseau raccordé aux trois charges (maison, hôpital, école) a été effectuée en détails à trois scénario le premier scénarios 1 (sans ombrage sans défaut)et le deuxième scénarios 2 (avec ombrage partielle) et le scénarios 3 (avec ombrage et défaut).nous avons simulé et visualisés plusieurs résultats, pour but de montrer que le micro réseau peut produire de l'énergie afin de couvrir tout ou une partie de la demande locale en énergie par le biais de ses systèmes de production propre et de batterie.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Salaheddine Ben Salem, « Effets de la température sur les paramètres et caractéristiques.

[2] Serge Poignant : « L'ENERGIE PHOTOVOLTAIQUE », Rapport D'information, 2009, Assemblée Nationale Constitution du 4 Octobre 1958 Treizième Législature.

[3] A. Labouret, M. Viloz : « Energie solaire photovoltaïque ». Edition le Moniteur, Dunod, 2éme Edition, 2005.

[4] Fritts. On a new form of selenium photocell. American Journal of Science, 97, 1883.

[5] G, Gomard. Cristaux photoniques pour le contrôle de l'absorption dans les cellules Solaires photovoltaïques silicium ultramince. Thèse de Doctorat. Université de Lyon 2012.

[6] M, Urien. Cellules photovoltaïques organiques à base copolymères à blocs de type Rigide-flexible Thèse de Doctorat. Université de Bordeaux 1.2008

[7] M.A. Green, K. Emery, D.L. King, S. Igari and W. Warta, Progress in Photovoltaïques, 13, 1 (2005) 49.

[8] P. Destruel, I. Séguy, Techniques de l'Ingénieur 2004, RE25.

[9] https://lejournal.cnrs.fr/articles/quel-futur-pour-lenergie-solaire

[10] A. Zerga. "Optimisation du rendement d'une cellule solaire à base de silicium Monocristallin de type n+p". Mémoire de Magister. Université de Tlemcen, 1998.

[12] Z. Ben djellouli. "Contribution à la modélisation d'une cellule solaire". Mémoire de Magister. Université de Becher, 2009.

[13] Zhao J., Wang A., Altermatt P.P., Wenham S.R., Green M.A. "24% efficient silicon solar cells». Photovoltaic Energy Conversion. Conference Record of the Twenty Fourth.IEEE Photovoltaic Specialists Conference - IEEE First World Conference, Volume 2,5-9 Dec. 1994 Page(s):1477 - 1480 vol.2

[14] Zhao J., Wang A., Campbell P., Green M.A. "A 19.8% efficient honeycomb multicrystalline silicon solar cell with improved light trapping". Electron Devices, IEEE Transactions, Volume 46, Issue10, Oct.1999, Page(s):1978–1983.

[15] Géotzberger A, Luther J, Willeke G. solar cells: past, present, future, solar energy materials & solar cells.

[16] Luque, S. Hegedus. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering (2nd edition). John Wiley and Sons, 2011.

[17] J.-C. Muller, Techniques de l'Ingénieur, dossier BE8579.

[18] http://www.solar-frontier.com/eng/news/2015/C051171.html

[19] J. Xue, S. Uchida, B.P. Rand and S.R. Forrest. Applied Physics Letters, 84, 16, 3013- 3015 (2004).

[20] G. Yu, J. Gao, J. C. Hummelen, F. Wudl, A. J. Heeger, Science, 270, 1789 (1995).

[21] G. Yu, A. J. Heeger, J. Appl. Phys., 78, 4510 (1995).

[22] Othmane Benseddik, Fathi Djaloud, « Etude et optimisation du fonctionnement d'un Système photovoltaïque », mémoire de master, université Kasdi Marbah- Ouargla, 2012

[23] Salaheddine Ben Salem, « Effets de la température sur les paramètres et caractéristique Des cellules solaire », université Farhat Abbas- Sétif, mémoire de magister, 2011.

[24] Dr. El Amin KOUADRI BOUDJELTHIA CDER Energies Renouvelables : un moteur principal du développement durable en Algérie

[25] https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/53734/filename/these_amel_Finale.pdf

[26] http://www.meer.gov.dz/a/?page_id=2086

[27] Fabien Mestrallet. Architectures intégrées pour la gestion et la labialisation du stockage électrochimique _à grande échelle. Autre. Université Grenoble Alpes, 2013. Français. <NNT : 2013GRENT093>. <Tel-00917065v2>.

[28] Linden. D. & Reddy, Thomas B. Handbook of Batteries. 3"^ Edition. McGraw-Hill, 1200p.

[29] J. Pluchet, Etat de la R&D dans le domaine des batteries pour véhicules électriques au Japon, Rapport du stage, Service pour la Science et la Technologie, Ambassade de France au Japon, 2010.

[30] IHS Global Insight, Battery electric and plug-in hybrid vehicles: the advanced energy storage report, volume 2, IHS, 2009.

[31] Rachid Maria, paris,1998,2001, cellules solaires, les bases de l'énergie photovoltaïque ,5eme édition.

[32] J. Xue, S. Uchida, B.P. Rand and S.R. Forrest. Applied Physics Letters, 84, 16, 3013- 3015 (2004).

[33] https://www.urban-elec.com/conseils-pratiques/les-differents-types-de-batteries-et-leurs-avantages/.

[34] https://ni-cd.net/wpnicd/.

[35] Larminie, T. & Lowry, L.2003. Electric Vehicle Technology Explained, Jolin 'Wiley & Sons Inc, 314p.

[36] Larminie, T. & Lowry, L.2003. Electric Vehicle Technology Explained, Joline 'Wiley & Sons Inc, 314 p.

[37] Abdelkader Mekemeche, « Modélisation à deux dimensions des propriétés physiques de cellules solaires au silicium à base de substrat de type n, Étude de quelques cas particuliers de cellules innovantes », Thèse de Doctorat, L'Université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem, 2017.

[38] S. FERAHTIA, Contrôle de la mise en parallèle des batteries dans un micro réseau, Msila: Thèse de doctorat., 2018.

[39] https://www.smartgrids-cre.fr/encyclopedie/les-microgrids/le-concept-de-microreseau

[40] Hassan, R. and Redman, G. (2010). Survey on smart grid. In IEEE SoutheastCon 2010 (SoutheastCon), Proceedings of the.

[41] Clement-Nyns, K., Hassen, E., and Driessen, J. (2011). The impact of vehicle-to-grid on the distribution grid. Electric Power Système Research.

|42] https://www.smartgrids-cre.fr/encyclopedie/les-microgrids/le-concept-de-microreseau

[43] Johnson, P. M. (2009). Human centere information integration for the smart grid. Technical Report CSDL-09-15, Collaborative Software Development Laboratory, University of Hawaii at Manoa.

[44] Lasseter, R. and Paigi, P. (2004). Microgrid: a conceptual solution. In Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004 IEEE 35th Annual, volume 6.

[45] Sullivan, M. and Schellenberg, J. (2011). Smart grid economicus: The cost-benefit analyses. Renew Grid.

[46] https://elec13.wordpress.com/2016/03/05/les-convertisseurs-statiques/.

[47] https://www.cder.dz/download/icesd2011_12.pdf.

[48] Tatsuya Kitano et Mikihiko Matsui, Power sensor less MPPT control scheme utilizing power balance at dc link "System desingn to ensure stability and response".

[49] H. B¨uhler. Convertisseurs Statiques. Presses Polytechniques et Universitaires Ro-

Mande, 1991.

[50]https://www.technologuepro.com/cours-electronique-puissance-as/chapitre-7-les-gradateurs.pdf.

[51] TRNSYS, TRANSIENT SYSTEM SIMULATION TOOL, http://www.trnsys.com.

[52] METEONORM, www.meteonorm.com.

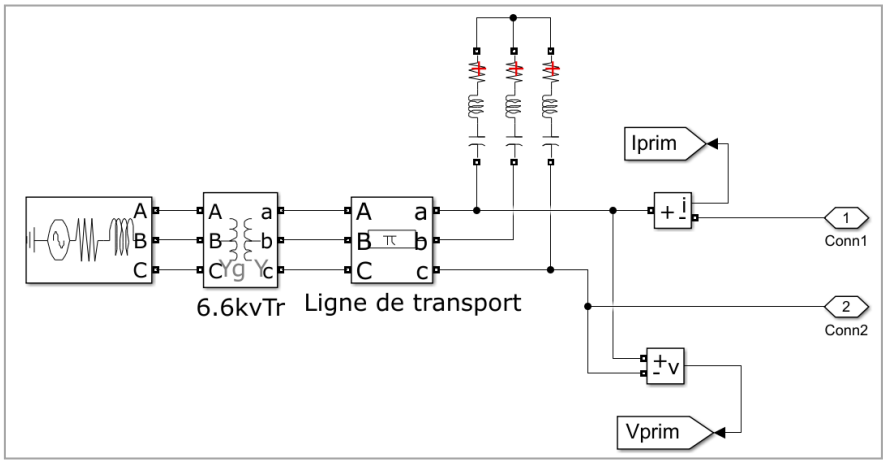
[53] Farhangi, H. (2010). The path of the smart grid. Power and Energy Magazine, IEEE.

[54] [Yokoyama et al., 2008] Yokoyama, R., Niimura, T., and Saito, N. (2008). Modelling and evaluation of supply reliability of microgrids including pv and wind power. In Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE.

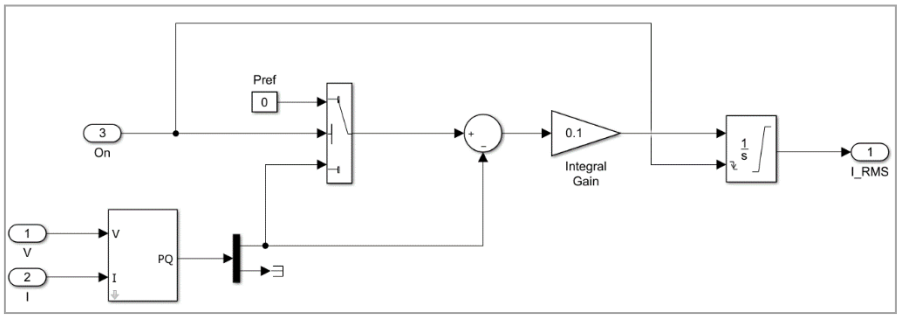
[55] https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00337724v3/document

[56] Momoh, J. (2012). Smart grid: fundamentals of design and analysis. IEEE Press Series on Power Engineering.

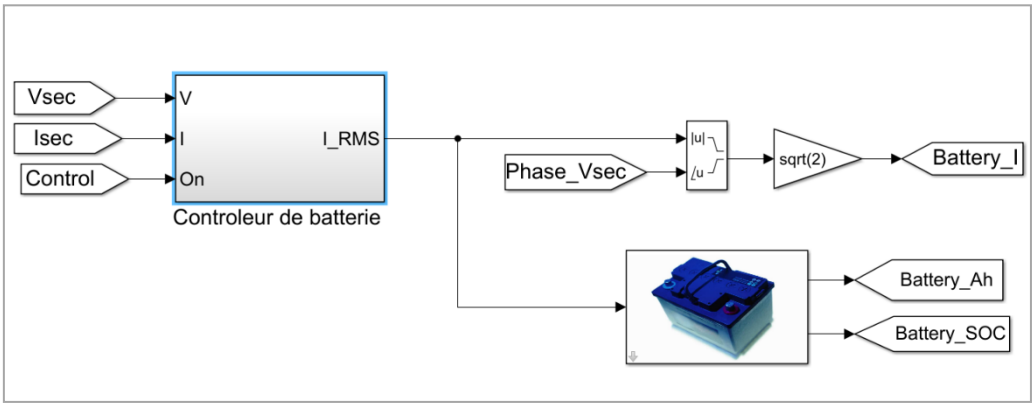
Annexe A : Schéma block de réseau publique



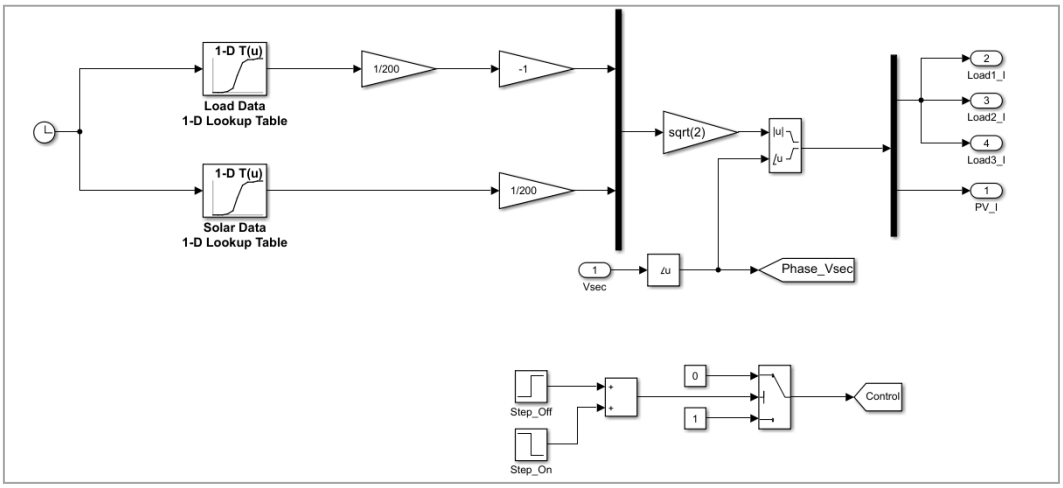
Annexe B : Schéma block contrôleur de batterie



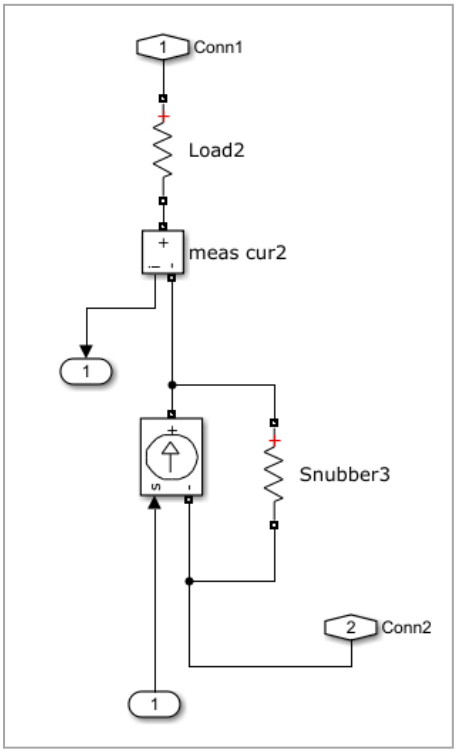
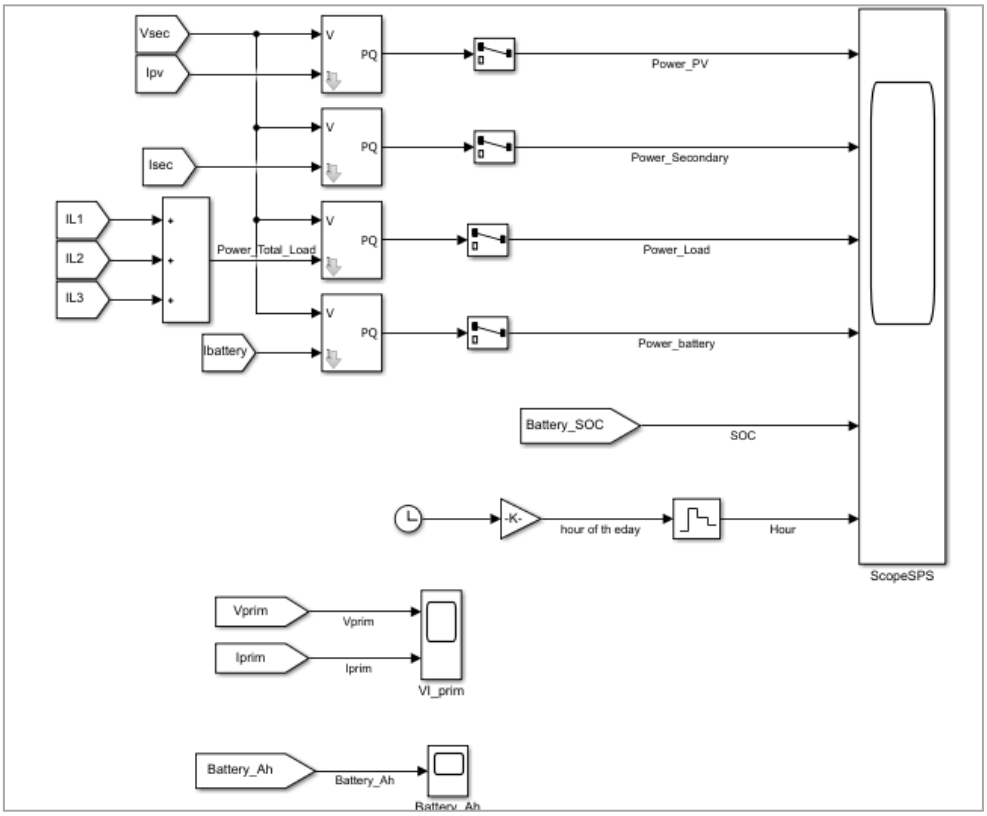
Annexe C : Systemde contrôle global de batterie



Annexe D : Systemde scénario et commande de micro-réseau



Annexe E : Model de charge continue de micro réseau



Annexe F : Scopes utilisé pour la visualisation des résultats