

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche**  
**Université A. MIRA-BEJAIA**  
**Faculté de Technologie**  
**Département de Génie Electrique**



**Mémoire de fin d'étude**  
**En vue de l'obtention du Diplôme de Master**  
**En électromécanique**

**Thème**

**Description et dimensionnement d'une station multi-sources destinée aux véhicules électriques et hybrides rechargeables**

**Réalisé par :**

REBBANI Massinissa

SABRI Abdelaali

**Encadré par :**

Mr DJERMOUNI Kamel

**Année Universitaire : 2023/2024**



## Remerciements

Nous remercions tout d'abord Dieu le tout puissant de nous avoir donné la force et la volonté pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à remercier vivement Mr DJERMOUNI Kamel, qui a accepté de nous encadrer dans ce projet passionnant et intéressant et à qui nous exprimons notre profonde gratitude pour son suivi constant, sa confiance et son encouragement.

Nous remercions vivement tous les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger notre travail.

Nous tenons à remercier tous les enseignants, qui ont assuré notre formation durant notre cycle universitaire.

Nos remerciements s'adressent à l'ensemble de nos camarades de la promotion.

Finalement, il nous est particulièrement agréable d'exprimer ici notre reconnaissance envers nos familles respectives dont le soutien a été essentiel tout au long de nos études ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.



Je dédie ce Mémoire

À tous ceux qui me sont cher

A mon cher père qui nous a quitté récemment j'ai aimé qu'il soit la près de moi afin de vivre ce moment et de le savourer, je souhaite qu'il sera fière de moi d'où il me regarde.

A la femme qui m'a tant aimé et qui m'a bercé avec sa voix d'ange : ma mère, dont l'incommensurable contribution à mon éducation, à mon instruction et à tous les instants de ma vie, ravivera jusqu'à la fin de mes jours.

Mon infinie tendresse à Mon grand frère Saadi, mes sœurs Aïcha, Ilham et Yasmine, Nada et Nadjet.

A tous mes amis Djilali, MASSI et Omar, et les trois Mohamed

Abdelaali



Je dédie ce Mémoire

À tous ceux qui me sont cher

Je dédie ce travail à mes parents qui m'ont soutenu durant mon parcours scolaire et durant toute ma vie, que Dieu leurs accorde une longue vie et une bonne santé

Mon infinie tendresse à Mon grand frère Hakim, mes sœurs Radia, Sabiha

A tous mes amis ABDELAALI et Omar, Cherif et Amine, Boubeker.

Massinissa

# Table des matières

Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Généralité sur une station multi-source destinée au véhicule rechargeable .....</b>	<b>3</b>
<b>I.1 Introduction.....</b>	<b>3</b>
<b>I.2 Evaluation des énergies renouvelables en Algérie .....</b>	<b>3</b>
<b>I.3 Energie solaire.....</b>	<b>3</b>
<b>I.3.1 Généralités sur le soleil.....</b>	<b>3</b>
<b>I.4 Energie éolienne .....</b>	<b>4</b>
<b>I.4.1 Type d'aérogénérateur .....</b>	<b>5</b>
<b>I.4.2 Principaux composants d'un aérogénérateur.....</b>	<b>5</b>
<b>I.4.3 Machines électriques dans les aérogénérateurs.....</b>	<b>6</b>
<b>I.5. Configuration du bus dans les systèmes hybrides.....</b>	<b>8</b>
<b>I.6 Avantages et inconvénients des deux sources de système hybride .....</b>	<b>9</b>
<b>I.6.1. Avantages et inconvénients des générateurs photovoltaïques.....</b>	<b>9</b>
<b>I.6.2. Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne.....</b>	<b>10</b>
<b>I.7 Définition du véhicule hybride.....</b>	<b>10</b>
<b>I.7.1 Véhicules hybrides rechargeables .....</b>	<b>10</b>
<b>I.7.2 Véhicules à prolongateur d'autonomie .....</b>	<b>11</b>
<b>I.7.3 Véhicules entièrement électriques .....</b>	<b>11</b>
<b>I.8 Avantages et inconvénients des véhicules électriques.....</b>	<b>11</b>
<b>I.9 Conclusion .....</b>	<b>12</b>
<b>Chapitre II : Description du système hybride (photovoltaïque/éolien) avec stockage .....</b>	<b>13</b>
<b>II.1 Introduction .....</b>	<b>13</b>
<b>II.2 Système multi-sources avec stockage.....</b>	<b>13</b>
<b>II.3 Description du système multi sources.....</b>	<b>13</b>
<b>II.3.1 L'énergie solaire .....</b>	<b>14</b>
<b>II.3.2 Source éolienne .....</b>	<b>23</b>
<b>II.3.3 Description du stockage .....</b>	<b>26</b>
<b>II.4 Conclusion.....</b>	<b>29</b>
<b>Chapitre III : Dimensionnement d'un système hybride photovoltaïque/éolienne avec stockage.</b>	<b>30</b>
<b>III.1 Introduction.....</b>	<b>30</b>
<b>III.2 Détermination de profile de charge.....</b>	<b>30</b>

<b>III.2.1 La ferme</b> .....	30
<b>III.2.2 La maison</b> .....	30
<b>III.3 La station</b> .....	30
<b>III.3.1 Choix des voitures</b> .....	31
<b>III.3.2 Borne de recharge</b> .....	33
<b>III.3.3 Choix de la borne et de son emplacement</b> .....	38
<b>III.3.4 Installer une borne de rechargement pour voiture électrique</b> .....	38
<b>III.4 Données géographiques de lieu</b> .....	39
<b>III.5 Caractéristique de panneaux photovoltaïque</b> .....	40
<b>III.6 Caractéristique de l'éolienne</b> .....	40
<b>III.7 Dimensionnement de la station de chargement</b> .....	40
<b>III.7.1 Détermination des besoins d'utilisateur</b> .....	40
<b>III.7.2 Calcul des besoins énergétiques journaliers de l'installation</b> .....	42
<b>III.8 Dimensionnement du système hybride</b> .....	42
<b>III.8.1 Dimensionnement du générateur photovoltaïque</b> .....	43
<b>III.8.2 Dimensionnement de stockage</b> .....	46
<b>III.8.3 Dimensionnement de Hacheur BUCK-BOOST</b> .....	47
<b>III.8.4 Choix de régulateur</b> .....	47
<b>III.8.4.1 Dimensionnement de contrôleur MPPT</b> .....	47
<b>III.8.5 Dimensionnement de l'onduleur</b> .....	48
<b>III.8.6 Dimensionnement des câbles</b> .....	49
<b>III.8.7 Dimensionnement de générateur éolien</b> .....	51
<b>III.8 Conclusion</b> .....	52
<b>Chapitre IV : Protection et gestion de l'énergie du système hybride (photovoltaïque-éolien-batterie)</b> .....	53
<b>IV.1 Introduction</b> .....	53
<b>IV.2 Modèle de bus continu</b> .....	53
<b>IV.3 Gestion d'énergie du système hybride</b> .....	54
<b>IV.3.1 Les différents modes possibles</b> .....	54
<b>IV.3.2 Déroulement du programme de gestion</b> .....	55
<b>IV.3.3 Organigramme de gestion énergétique</b> .....	56
<b>IV.4 Protection de système hybride</b> .....	57
<b>IV.4.1 Parafoudre</b> .....	57
<b>IV.4.2 Moniteur de batterie</b> .....	58
<b>IV.4.3 Chargeur de batterie</b> .....	58

<b>IV.4.4 Sectionneur</b> .....	58
<b>IV.4.5 Disjoncteur de protection</b> .....	59
<b>IV.4.6 Régulateur charge/décharge</b> .....	59
<b>IV.4.7 Disjoncteur CC</b> .....	59
<b>IV.5 Protection de l'installation électrique BT</b> .....	59
<b>IV.6 Protection contre les surcharges</b> .....	60
<b>IV.7 Protection contre le court-circuit</b> .....	60
<b>IV.7.1 Pouvoir de coupure</b> .....	61
<b>IV.8 Choix de disjoncteur pour protéger l'installation électrique</b> .....	61
<b>IV.9 Simulation et interprétation des résultats</b> .....	62
<b>IV.9.1 Les différentes puissances</b> .....	62
<b>IV.10 Conclusion</b> .....	66
<b>Conclusion générale :</b> .....	67

# Liste des figures

## Chapitre I : Généralité sur une station multi-source destinée au véhicule rechargeable

<b>Figure I.1</b> Carte du monde de l'irradiation moyenne annuelle sur un plan horizontal .....	4
<b>Figure I.2</b> Les deux types d'énergie solaire .....	4
<b>Figure I.3</b> Capacité mondiale totale installée en (MW) [4].....	5
<b>Figure I.4</b> Les composants de l'aérogénérateur .....	6
<b>Figure I.5</b> Architecture d'un système hybride à bus continu .....	8
<b>Figure I.6</b> Architecture d'un système hybride à bus alternatif (AC) .....	9
<b>Figure I.7</b> Configuration du système hybride à bus mixte (AC/DC) .....	9

## Chapitre II : Description du système hybride (photovoltaïque/éolienne) avec stockage

<b>Figure II.1</b> Système multi sources avec stockage hybride .....	13
<b>Figure II.2</b> Spectre du rayonnement solaire .....	14
<b>Figure II.3</b> Cellule solaire idéal [21] .....	16
<b>Figure II.4</b> Schéma équivalent d'une cellule solaire réelle [22] .....	17
<b>Figure II.5</b> Caractéristique d'une cellule solaire [22] .....	18
<b>Figure II.6</b> Les différentes zones de caractéristique $I=F(V)$ d'un module photovoltaïque.....	19
<b>Figure II.7</b> Caractéristique résultantes d'un regroupement de $N_s$ cellules en série.....	20
<b>Figure II.8</b> Caractéristique résultante d'un regroupement de $N_p$ cellules en parallèle .....	20
<b>Figure II.9</b> Module photovoltaïque [24] .....	21
<b>Figure II.10</b> Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant un panneau photovoltaïque, un convertisseur BOOST, une commande MPPT et une charge .....	21
<b>Figure II.11</b> Principe de fonctionnement du point MPP pour un panneau PV .....	22
<b>Figure II.12</b> (a) boîte de jonction et (b) boîte de dérivation [26] .....	23
<b>Figure II.13</b> Exemple de la chaîne éolienne.....	24
<b>Figure II.14</b> Courbe de puissance éolienne pour trois vitesses différentes de vent .....	24
<b>Figure II.15 a)</b> Courbe de puissance maximale en fonction de la vitesse de rotation <b>b)</b> Courbe de puissance maximale en fonction de la vitesse du vent .....	25
<b>Figure II.16</b> Courbe de puissance en fonction de la vitesse du vent d'une turbine éolienne ..	26
<b>Figure II.17</b> Schéma électrique équivalent de la batterie.....	28

## Chapitre III : Dimensionnement d'un système hybride photovoltaïque/éolienne avec stockage

<b>Figure III.1</b> Voiture électrique : Mitsubishi MINICAB-MIEV Truck .....	31
<b>Figure III.2</b> Voiture hybride Volkswagen MULTIVAN T7.....	32
<b>Figure III.3</b> Toyota Prius .....	32
<b>Figure III.4</b> Borne de recharge.....	33
<b>Figure III.5</b> Borne de recharge rapide.....	33
<b>Figure III.6</b> Détail de prise de borne.....	35
<b>Figure III.7</b> Détail d'un socle de recharge J1772 .....	35

<b>Figure III.8</b>	Détail d'une prise mobile J1772 «Combo».....	36
<b>Figure III.9</b>	Détail d'un socle de recharge J1772 «Combo».....	36
<b>Figure III.10</b>	Compatibilité du socle de recharge «Combo» avec les prises ordinaire et «Combo» .....	36
<b>Figure III.11</b>	Détail d'une prise mobile CHAdeMO .....	37
<b>Figure III.12</b>	Détail d'un socle de recharge CHAdeMO .....	38
<b>Figure III.13</b>	Lieu de site étudié .....	39
<b>Figure III.14</b>	Illustration de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau .....	44
<b>Figure III.15</b>	Présentation des dimensions du champ photovoltaïque.....	46
<b>Figure III.16</b>	Le régulateur VICTRON smart Solaire MPPT 250/60 -Tr.....	48
<b>Figure III.17</b>	Un onduleur de marque (victron energy - BLEU POWER) type Phoenix /5000VA (4500W).....	49
<b>Figure III.18</b>	Modélisation d'un câble électrique .....	49

## **Chapitre IV : Protection et gestion du système hybride (photovoltaïque/éolienne/batterie)**

<b>Figure IV.1</b>	Schéma du bus continu .....	53
<b>Figure IV. 2</b>	Structure de système étudié .....	54
<b>Figure IV.3</b>	Les entrées et sorties de la gestion du système hybride .....	56
<b>Figure IV.4</b>	Organigramme de gestion de puissance .....	57
<b>Figure IV.5</b>	Position du parafoudre dans le système d'énergie hybride .....	58
<b>Figure IV.6</b>	Panneaux photovoltaïque.....	58
<b>Figure IV.7</b>	Zones de charge d'une canalisation.....	60
<b>Figure IV.8</b>	Allure de la puissance photovoltaïque.....	62
<b>Figure IV.9</b>	Allure de la puissance éolienne .....	63
<b>Figure IV.10</b>	Allure de Puissance hybride .....	63
<b>Figure IV.11</b>	Allure de Puissance de charge .....	64
<b>Figure IV.12</b>	Etat de charge des batteries .....	64
<b>Figure IV.13</b>	Interrupteur de branche de flux d'énergie hybride .....	65
<b>Figure IV.14</b>	Interrupteur de commande de la charge .....	65
<b>Figure IV.15</b>	Interrupteur de chargement des batteries.....	65
<b>Figure IV.16</b>	Interrupteur de commande d'alimentation des auxiliaires .....	66

## Liste des tableaux

### Chapitre II : description du système hybride (photovoltaïque/éolienne) avec stockage

<b>Tableau II.1</b> Comparaison des caractéristiques techniques des batteries .....	27
---	----

### Chapitre III : Dimensionnement du système hybride (photovoltaïque/éolienne) avec stockage

<b>Tableau III.1</b> Temps faut-il pour le chargement d'un véhicule [28] .....	32
<b>Tableau III.2</b> Niveaux de charge en AC .....	34
<b>Tableau III.3</b> Résume les caractéristiques des appareils de niveau 1 et 2 .....	35
<b>Tableau III.4</b> Données géographiques du lieu .....	39
<b>Tableau III.5</b> Les caractéristiques du panneau photovoltaïque .....	40
<b>Tableau III.6</b> Caractéristiques de l'éolienne utilisée SM-5000W .....	40
<b>Tableau III.7</b> Besoin journalier du site étudié .....	41
<b>Tableau III.8</b> L'énergie totale estimée par la charge des voitures.....	41
<b>Tableau III.9</b> Les tensions du système pour à chaque intervalle de puissance crête [29] .....	43
<b>Tableau III.10</b> Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux solaires .....	44

### Chapitre IV : Protection et gestion du système hybride (photovoltaïque/éolienne/batterie)

<b>Tableau IV.1</b> Représentant les différents modes et l'état des interrupteurs .....	56
<b>Tableau IV.2</b> Paramètres des différents types de disjoncteur .....	61

## ABREVIATION :

**AC** : Courant alternatif

**DC** : Courant continu

**EOL** : Eolienne

**EDC**: Etat de charge des batteries

**EDC<sub>max</sub>**: Etat de charge maximal [90%]

**EDC<sub>min</sub>**: Etat de charge minimal [30%]

**ER** : Energie renouvelable

**GADA** : Génératrices asynchrones à double alimentation

**GPV** : Le générateur photovoltaïque

**HAWT** : Horizontal axis Wind turbine

**MSAP** : Machine synchrones à aimant permanent

**MPPT** : Maximum Power Point Tracking

**MRV** : Machine à reluctance variable

**P<sub>Dm</sub>** : La profondeur maximale de décharge de la batterie (pour la batterie à décharge profonde **P<sub>Dm</sub>** maximale est de 80%)

**PV** : Photovoltaïque

**PPM** : Point de puissance maximal

**P&O** : Méthode de perturbation et observation

**SEH** : Système d'énergie hybride

**SER** : Source d'énergie renouvelable

**STC** : Conditions de fonctionnement standard (Standard conditions)

**VAWT** : Vertical axis Wind turbine

**VE** : Véhicules électrique

**VH** : Véhicule Hybride

**VHR** : Véhicules hybride rechargeable

**W<sub>c</sub>**: Watt crête

## SYMBOLES :

**C<sub>batt,u</sub>** : Capacité de la batterie

**c**: Vitesse de la lumière

**C<sub>batt</sub>** : Capacité de stockage

**E<sub>s</sub>** : L'ensoleillement du site

**E<sub>cj</sub>** : Représente l'énergie solaire

**E<sub>pv</sub>** : L'énergie produit par le générateur photovoltaïque

**E<sub>véh</sub>** : Charge moyenne des véhicules

**E<sub>m</sub>**: La consommation d'énergie électrique de la maison

**EL(t)** : La demande de la charge à l'instant t

**E<sub>éol</sub>** : L'énergie produite par le générateur éolien

$E_{totale}$  : La consommation d'énergie électrique totale de la ferme

$E_{Bmax}$  : La quantité de charge maximale de la batterie

$E_{Bmin}$  : La quantité de charge minimale de la batterie

$f$  : La fraction de la charge

$g$  : Taux de génération-recombinaison

$gG$  : Désigne les fusibles pour usage général.

$h$  : Constante de Planck

$I_{éol}$  : Courant fourni par le système éolien après redressement

$I_c$  : Courant qui traverse la capacité

$I_{hyb}$  : Courant produit par le système hybride éolien-PV

$I_{batt}$  : Courant de batterie

$I_D$  : Courant de diode

$I_0$  : Courant de saturation

$I_{PV}$  : Le courant fournis par la cellule

$I_{ph}$  : Photo courant

$I_{RP}$  : Courant traversant  $R_P$

$I$  : Le courant

$I_{cc}$  : Courant de court-circuit

$I_G$  : Courant de générateur

$I_{batt}$  : Courant de batterie

$I_{mpp}$  : Courant maximale de panneau

$I_B$  : Le courant réel d'emploi

$I_z$  : Le courant admissible

$I_{cc max}$  : Intensité de court-circuit

$K$  : Constante de Boltzmann

$K_p$  : Coefficient de correction

$L_n$  : Longueur de diffusion des électrons

$L_p$  : Longueur de diffusion des trous

$L$  : La longueur de la grille

$L$  : La longueur de câble

$N_B$  : Nombre de batterie totale

$N_s$  : Nombre de module en série

$N_p$  : Nombre de module en parallèle

$N_a$  : Nombre de jours d'autonomie

$N_m$  : Nombre totale de panneaux photovoltaïque

$N_e$  : Le nombre d'heures équivalent d'ensoleillement

$P_{hyb}$  : La puissance hybride

$P_{ch}$  : La puissance de la charge

$P_{dc}$  : Pouvoir de coupure de l'appareil de protection

$P_m$  : La puissance de maison

$P_{veh}$  : La puissance des véhicules  
 $P_{prod}$  : La puissance produite par l'installation photovoltaïque  
 $P_{inst}$  : La d'installation photovoltaïque  
 $P_{di}$  : La puissance active  
 $P_i$  : La puissance apparente de récepteur  
 $Q_d$  : La quantité de charge manquante à la batterie  
 $q$  : Charge de l'électron  
 $R_s$  : La Résistance série  
 $R_m$  : Résistance propre du matériau  
 $R_p$  : La Résistance parallèle  
 $R$  : Résistances du câble  
 $S$  : La section de câble  
 $S_g$  : Section des grilles collectrices  
 $S_{PV}$  : Surfaces effectives des panneaux  
 $S$  : La surface de champ photovoltaïque  
 $S_c$  : Est la surface circulaire balayée par la turbine  
 $T$  : Température absolue  
 $t_1$  : La durée d'utilisation.  
 $t_2$  : La durée de chargement des véhicules  
 $U_B$  : Tension de batterie  
 $V_{ch}$  : La tension de fonctionnement de l'installation  
 $V_m$  : La tension de module  
 $V_{mpp}$  : Tension maximale de panneau  
 $V_{PV}$  : La tension fournie par la cellule  
 $V_{co}$  : Tension de circuit ouvert  
 $V_G$  : Tension de générateur  
 $V_D$  : Tension de la diode  
 $\lambda$  : Longueur d'onde  
 $\rho$  : La résistivité de la grille  
 $\tau_{PV}$  : Rendement globale du générateur PV  
 $\varphi$  : La latitude du lieu  
 $\alpha$  : L'inclinaison  
 $\rho$  : Densité de l'air  
 $\eta_B$  : Le rendement de batterie  
 $\sigma$  : Le taux d'autodécharge  
 $\eta_{inv}$  : Rendement d'onduleur  
 $\rho$  : La résistivité du matériau  
 $\varepsilon$  : La chute de tension  
 $\eta_{cons}$  : Rendement des convertisseurs  
 $\Delta t$  : La durée moyenne d'existence du vent pendant une journée

# **INTRODUCTION GENERALE**

## Introduction générale

Depuis la naissance de l'humanité, la consommation énergétique est en très forte croissance dans toutes les régions du monde. Aujourd'hui, la production mondiale d'énergie est produite à partir de 74 % des combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz), de 20 % par les énergies renouvelables (hydraulique, biomasse, solaire, éolien) et de 6 % par le nucléaire [1]. Malheureusement l'année 2017 a vu des augmentations concernant les émissions mondiales des gaz à effet de serre CO<sub>2</sub>, alors qu'elles étaient stables depuis 2014 [2], d'après ces statistiques on constate que la consommation de ces énergies continuera à augmenter avec le développement de la population et le confort recherché dans tous les secteurs, de même la diminution et l'épuisement rapide de la quantité des énergies fossiles réservés et disponible partout dans le monde. Noté que le rythme actuel de la consommation des fossiles est le double qu'il est prévu et seront épuisées avant la fin de ce siècle [3].

En suite, l'avenir énergétique et écologique mondial est en danger, il a incité la recherche scientifique à trouver des alternatives sources d'énergie qui ne s'épuisent pas et respectueuses de l'environnement afin de le préserver pour les générations avenir contre le réchauffement climatique due à l'exploitation des fossiles et de faire face contre le problème de l'instabilité de leur prix (gaz, essence, diesel,).

Les énergies renouvelables sont d'actualité et s'inscrivent dans les démarches du développement durable et des préservations de l'environnement. De nos jours le monde est engagé dans ce domaine. Aujourd'hui on sait utiliser l'énergie du soleil pour la production de l'électricité (panneaux photovoltaïque et solaire thermodynamique), de même pour l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique et l'énergie géothermique.

Les véhicules électriques et hybrides rechargeables sont l'une des solutions de transport les plus propres et écologiques. Il présente effectivement une alternative aux autres moyens de transport polluants, d'autant plus que le secteur du transport routier émet, dans l'atmosphère, plus de matières polluantes que l'industrie.

Dans le cas de notre étude, en s'intéressant à l'énergie solaire (photovoltaïque) et l'énergie de vent (éolienne), pour alimenter une station (individuelle) de de chargement des véhicules électriques et hybrides rechargeable, la station est installée dans une ferme à bétail situé dans un site isolé (EL MAIDA, DRAA EL GAID, BEJAIA).

Le travail sera structuré en quatre chapitres, plus l'introduction et la conclusion générale.

- Nous verrons dans un premier temps qu'il est nécessaire de donner des généralités sur les systèmes hybrides photovoltaïque/éolienne/li-ion batteries (Chapitre I).
- Nous devons également dans le deuxième chapitre de tenter de faire une description des composants du système hybride étudié.
- Dans le chapitre III nous étudierons l'objectif du travail et en effectuerons le dimensionnement de système hybride avec stockage (site isolé) qui sera lié principalement à une station de chargement multiservices destinée aux véhicules électriques et hybrides rechargeables.

## | Introduction générale

- En fin on va terminer notre travail par le quatrième chapitre avec un algorithme de gestion des flux énergétiques et les protections électriques nécessaires pour notre station. Des résultats de simulation seront montrés et interprétés.

# **Chapitre I : Généralités sur une station multi-source destinée au véhicule rechargeable**

## I.1 Introduction

On appelle énergie renouvelable un ensemble de sources d'énergie qui sont inépuisables à l'échelle humaine, largement disponibles, essentiellement gratuites et sont compatibles avec un certain respect environnemental. Elles peuvent être converties, selon les besoins, en électricité ou en chaleur. La cogénération d'électricité et de chaleur est possible dans le cas de la géothermie, de la biomasse et de l'énergie solaire.

- Le solaire est une utilisation directe des rayons du soleil pour produire chaleur ou électricité.
- La biomasse regroupe l'ensemble des énergies provenant de la dégradation de la matière organique. C'est de l'énergie solaire transformée par les plantes chlorophylliennes qui sont utilisées soit directement (bois de chauffage) soit après de nouvelles transformations chimiques (biogaz, biocarburant).
- L'éolienne utilise l'énergie du vent de manière mécanique.
- La géothermie est l'utilisation directe des gradients des températures terrestres ou de sources chaudes.

Ce chapitre est une introduction aux systèmes hybrides et leurs différentes configurations, et une définition sur les véhicules électrique et hybride rechargeable.

## I.2 Evaluation des énergies renouvelables en Algérie

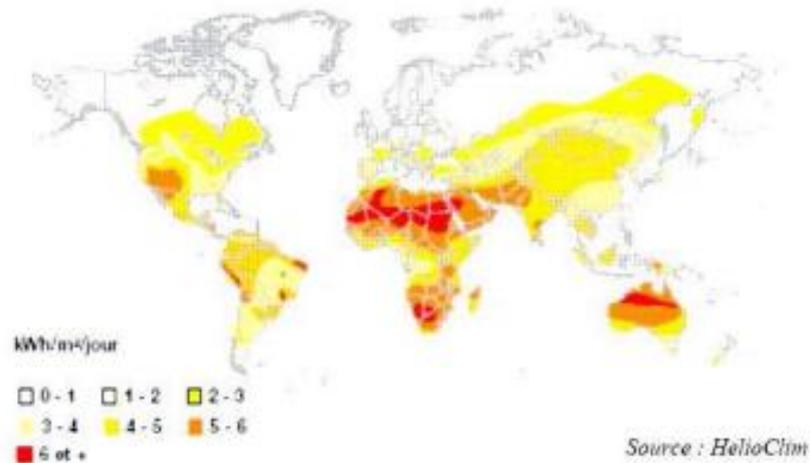
Le potentiel des énergies renouvelables en Algérie est le plus important d'Afrique du Nord. Le marché des énergies renouvelables est prometteur et leur promotion constitue l'un des axes de la politique énergétique et environnementale du pays. Parmi les objectifs affichés par les pouvoirs publics, le marché local doit atteindre 600 MW en 2015, amenant la part de l'électricité produite par les énergies renouvelables à 6% de l'électricité totale produite [4].

## I.3 Energie solaire

### I.3.1 Généralités sur le soleil

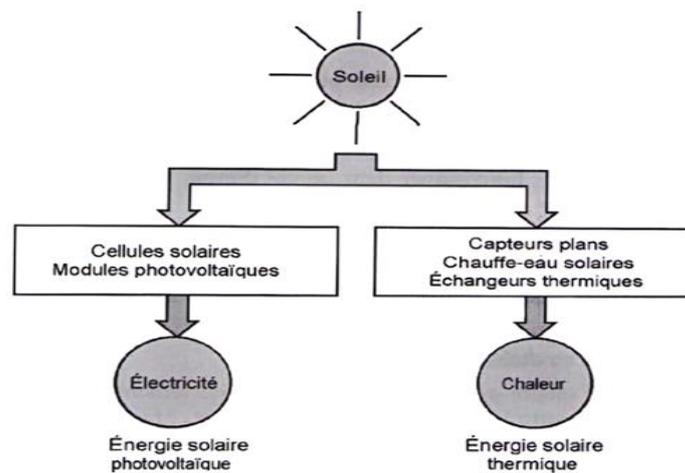
Le soleil est une sphère avec une matière extrêmement chaude et gazeuse avec un diamètre de  $1,39 \times 10^9 m$  et est à distance moyenne de  $1,49 \times 10^{11} m$  de la terre. Comme vu de la terre, le soleil tourne autour de son axe une fois toutes les quatre semaines, cependant il ne tourne pas comme un corps solide ; une rotation est faite en 27 jours à l'équateur et en 30 jours aux régions polaires. Il est considéré comme un corps noir avec une température effective de 5800 K, et rayonne principalement dans le visible et le proche infrarouge (de 300 nm à 1200 nm) avec un maximum aux environs de 500 nm.

Cette énergie est produite par les réactions de fusion dans le soleil et est filtrée par l'atmosphère. Le rayonnement solaire apporte sur terre une énergie de 2500 à 2500 kWh/m<sup>2</sup> par an, ce qui est supérieur à la totalité des ressources fossiles jamais découvertes (figure I.1).



**Figure I.1** Carte du monde de l'irradiation moyenne annuelle sur un plan horizontal

Le rayonnement solaire peut être utilisé pour produire soit directement de l'électricité à l'aide de semi-conducteur photovoltaïque, soit de la chaleur solaire thermique pour le chauffage ou la production électrique (Figure I.2).



**Figure I.2** Les deux types d'énergie solaire

#### I.4 Énergie éolienne

La ressource éolienne provient du déplacement des masses d'air qui est dû indirectement à l'ensoleillement reçu par la terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres, une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement. Cette énergie est tirée du vent au moyen d'un dispositif aérogénérateur comme une éolienne ou un moulin à vent (Figure I.3).

Après avoir pendant longtemps oublié cette énergie pourtant exploitée depuis l'antiquité, elle connaît depuis environ 30 ans un essor sans précédent qui est dû notamment aux premiers chocs pétroliers. A l'échelle mondiale, l'énergie éolienne depuis une dizaine d'années maintient une croissance de 30% par ans [4].



Figure I.3 Capacité mondiale totale installée en (MW) [4]

#### I.4.1 Type d'aérogénérateur

Il existe deux familles d'éoliennes selon la technologie de la turbine utilisée : les éoliennes à axe vertical (VAWT : Vertical Axis Wind Turbine) et les éoliennes à axe horizontal (HAWT : Horizontal Axis Wind Turbine).

- **Eoliennes à axe vertical**

Elles présentent certains avantages : machineries au sol, pas besoin d'orientation en fonction de la direction du vent, construction souvent simple. Elles tournent à faible vitesse et sont de ce fait peu bruyantes. Elles présentent par contre des difficultés pour leur guidage mécanique, le palier bas devant supporter le poids de l'ensemble de la turbine. Il existe principalement trois technologies de ce type d'éoliennes.

Turbines Darrieus classiques.

Turbines Darrieus à pales droites (type-H).

Turbines Savonius.

- **Eoliennes à axe horizontal**

Les éoliennes à axe horizontal (HAWT) sont de loin les plus utilisées, cette topologie offre la possibilité de varier l'angle de calage pour contrôler la puissance produite et la vitesse de l'éolienne, est aussi utilisée pour protéger la turbine contre les survitesses lors des tempêtes. Elle présente aussi un rendement aérodynamique élevé par rapport aux topologies à axes verticaux. Les éoliennes de type horizontal peuvent être classifiées selon le nombre de pales qu'elles utilisent, une, deux, trois ou plus. Les structures à trois pales sont les plus répandues pour l'application éolienne [5].

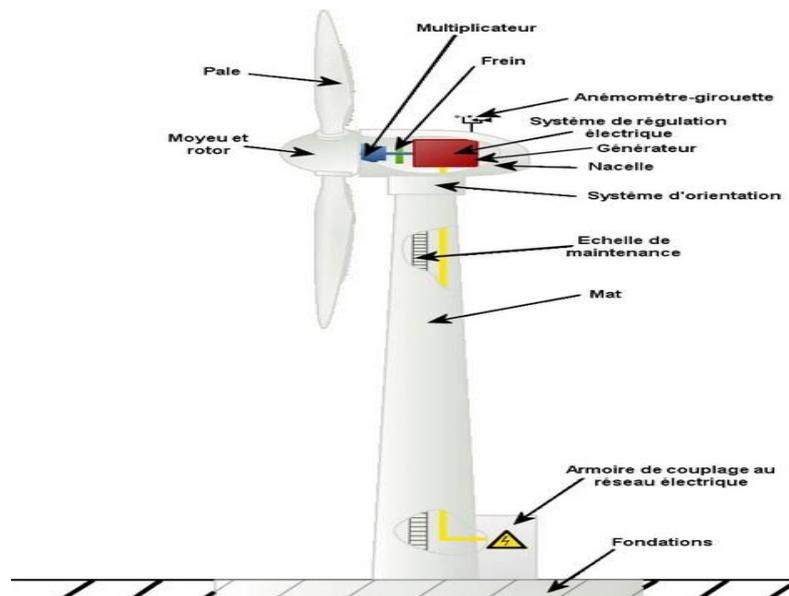
#### I.4.2 Principaux composants d'un aérogénérateur

Une éolienne classique est généralement constituée de trois éléments principaux ; La tour (mat), la nacelle et les pales qui sont supportées par le moyeu.

- **La tour** : C'est un élément porteur, généralement un tube en acier ou un treillis métallique. Avec l'augmentation des puissances nominales des éoliennes, le mat devient

de plus en plus haut pour éviter les perturbations près du sol mais aussi permettre l'utilisation de pales plus longues. La tour a une forme conique ou cylindrique. A l'intérieur sont disposés les câbles de transport de l'énergie électrique, les éléments de contrôle, l'appareillage de connexion au réseau de distribution et l'échelle d'accès à la nacelle.

- **La nacelle** : Elle regroupe tous les éléments mécaniques permettant de coupler la turbine éolienne à la génératrice électrique. Elle comprend les éléments suivants : arbre, multiplicateur, roulements, le frein à disque qui permet d'arrêter le système en cas de surcharge, les systèmes d'orientation des pales (régulation de la vitesse) et de la nacelle (la surface balayée par l'aérogénérateur doit être perpendiculaire à la direction du vent).
- **Les pales** : Elles permettent de capter la puissance du vent et la transférer au rotor. Leur nombre est de trois pales dans la plupart des aérogénérateurs, car ce nombre constitue un compromis entre les performances de la machine et des raisons de stabilité.
- **Le moyeu** : C'est l'élément qui supporte les pales. Il doit être capable de résister à des coups violents surtout lors du démarrage de l'aérogénérateur ou lors de brusques changements de vitesse de vent.



*Figure I.4 Les composants de l'aérogénérateur*

### I.4.3 Machines électriques dans les aérogénérateurs

Il existe plusieurs types de machines électriques qui peuvent jouer le rôle de génératrice dans un système aérogénérateur. On citera quelque unes d'entre elle

#### A) Machine synchrone

- **Machine synchrone à rotor bobiné**

La connexion directe au réseau de puissance implique que le générateur synchrone tourne à vitesse constante, laquelle est fixée par la fréquence du réseau et le nombre de pôles de la machine. L'excitation est fournie par le système de bagues et balais ou par un système brussoles avec un redresseur tournant. Toutefois, cette solution implique l'utilisation d'un

générateur surdimensionné et d'un convertisseur de puissance dimensionné pour la puissance totale du système [6].

- **Machines synchrones à aimants permanents**

La caractéristique d'auto excitation du générateur synchrone à aimants permanents lui permet de fonctionner avec un facteur de puissance élevé et un bon rendement, ce qui le rend propice à l'application à des systèmes de génération éolienne. En fait, dans la catégorie des petites turbines, sa robustesse et son couple massique élevé en font le générateur le plus employé. Cependant, dans les applications de plus grande puissance, les aimants et le convertisseur (lequel doit faire transiter toute la puissance générée), en fait le moins compétitif [6].

- **Machine à reluctance variable (MRV)**

La machine à reluctance variable, est une machine synchrone à pôles saillants, démunie de bobinage d'excitation et fonctionnant exclusivement sur le couple de reluctance. Cette machine permet de supprimer totalement ou partiellement le multiplicateur de vitesse. Suite à la diversité des applications des MRV, ces dernières se divisent en deux catégories : machine à stator lisse et machine à double denture [7].

### **B) Machines à courant continu**

Les machines à courant continu sont utilisées sur les éoliennes de faible puissance.

Ce type de machine comporte un stator portant le circuit inducteur (bobine ou à aimants permanents), et un rotor constituant le circuit induit connecte aux bornes de sortie, via le système balais collecteurs.

### **C) La machine asynchrone**

- **Génératrices asynchrones à double alimentation (GADA)**

La machine asynchrone à rotor bobiné à double alimentation présente un atout considérable. Son principe est issu de celui de la cascade hypo synchrone : le stator (ou le rotor) est connecté à tension et fréquence fixes au réseau alors que le rotor (ou le stator) est relié au réseau à travers un convertisseur de fréquence (plus ou moins élaboré). Si la variation de vitesse requise reste réduite autour de la vitesse de synchronisme, le dimensionnement du convertisseur de fréquence (électronique de puissance) peut être réduit. Ces machines sont un peu plus complexes que des machines asynchrones à cage avec lesquelles elles ont en commun de nécessiter un multiplicateur de vitesse. Leur robustesse est légèrement diminuée par la présence de système à bagues et balais, mais le bénéfice du fonctionnement à vitesse variable est un avantage suffisant [7].

- **Machine asynchrone à cage d'écureuil**

C'est dans les grandes puissances (au-delà de 100 kW) que l'on rencontre des systèmes reliés au réseau et produisant "au fil du vent". Au départ, le faible coût et la standardisation des machines asynchrones a conduit à une très large domination des génératrices asynchrones à cage directement couplées au réseau (sans interface électronique de puissance) jusqu'à des

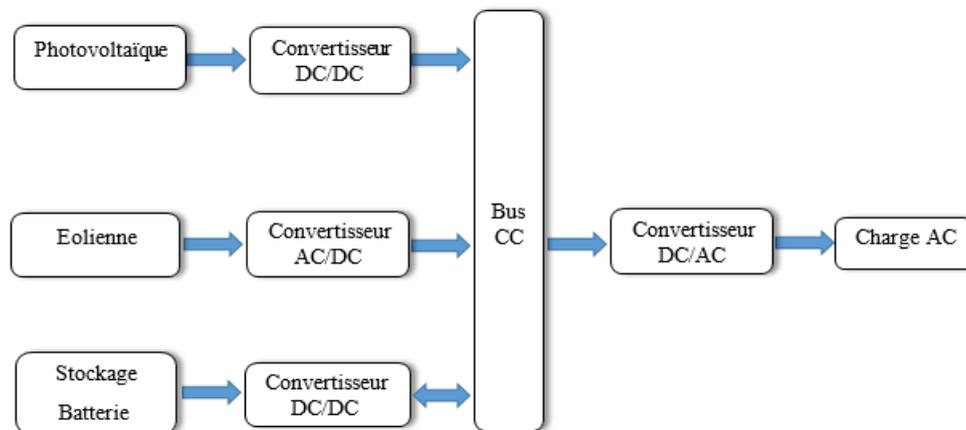
puissances dépassant le mégawatt. Les machines asynchrones à cage ne nécessitent qu'une installation assez sommaire. Elles sont souvent associées à une batterie de condensateur de compensation de la puissance réactive, et à un démarreur automatique progressif à gradateur ou à résistances permettant de limiter le régime transitoire d'appel de courant au moment de la connexion au réseau. Dans le cas des aérogénérateurs de dimensions importantes (puissance, rayon des pales), la vitesse de rotation est peu élevée, ce que nécessite d'insérer un multiplicateur mécanique de vitesse [8].

### I.5. Configuration du bus dans les systèmes hybrides

Différentes classifications des configurations de systèmes hybrides sont rencontrées dans la littérature. Dans la plupart des cas les générateurs photovoltaïques et éoliens dans un système hybride peuvent être connectés en trois configurations possibles, architecture à bus continu, architecture à bus alternatif et architecture à bus mixte.

- **Le couplage CC**

Dans ce cas, tous les composants sont reliés à un bus CC, les générateurs de CA sont connectés au bus à l'aide des redresseurs. Dans le cas d'une batterie ou générateur de CC la connexion est directe. Les batteries sont contrôlées et protégées contre la surcharge et la décharge profonde par un régulateur de charge. La charge CA est alimentée à travers un onduleur.



*Figure I.5 Architecture d'un système hybride à bus continu*

- **Le couplage AC**

La deuxième configuration possible est le couplage CA, toutes les sources d'énergie électrique sont reliées au bus CA, via des convertisseurs sauf le générateur Diesel, qui peut fixer la fréquence du bus. Un convertisseur CA/CC bidirectionnel est utilisé pour charger les batteries [8].

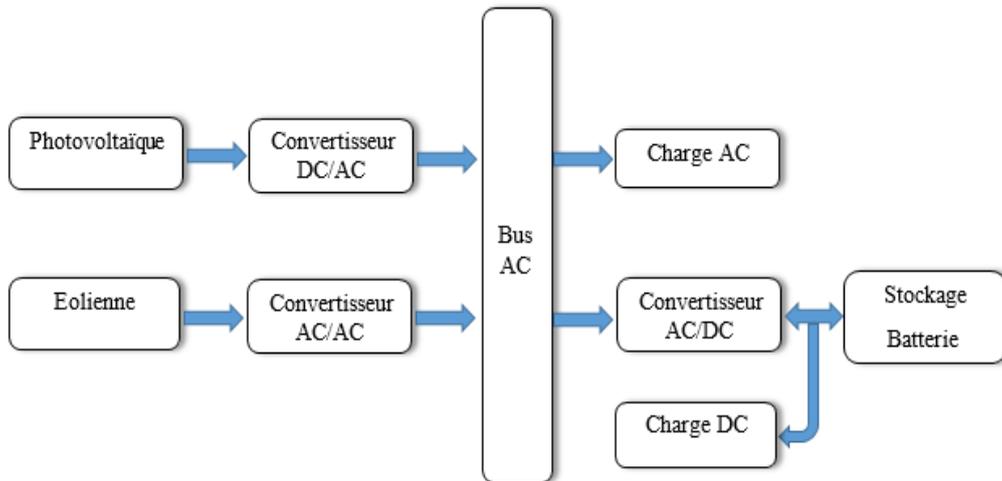


Figure I.6 Architecture d'un système hybride à bus alternatif (AC)

- **Le couplage mixte CC/AC**

L'énergie circule à travers deux bus. Généralement, ils sont connectés à l'aide d'un seul convertisseur bidirectionnel. En fonctionnement normal, celui-ci réalise la conversion CC/CA « fonctionnement onduleur ». Lorsque le générateur CA couvre la consommation électrique et participe dans la charge de la batterie, il réalise la conversion CA/CC « fonctionnement redresseur ».

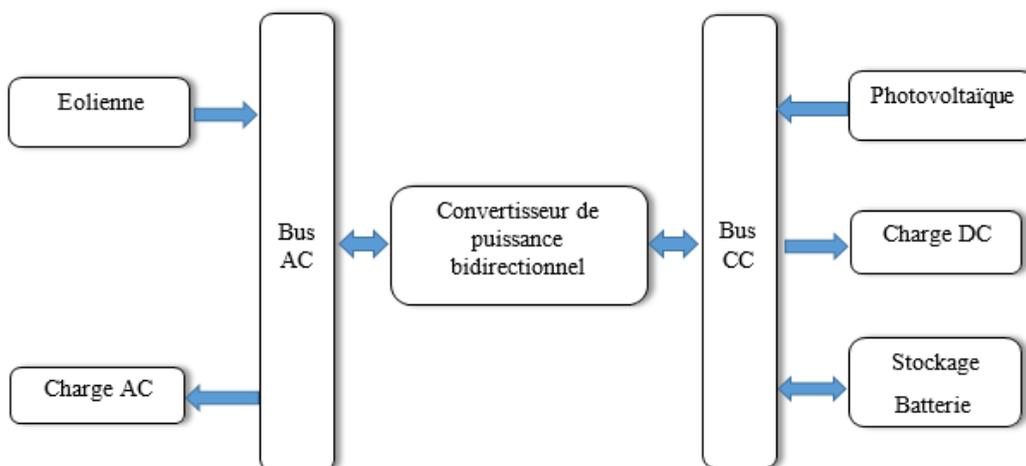


Figure I.7 Configuration du système hybride à bus mixte (AC/DC)

## I.6 Avantages et inconvénients des deux sources de système hybride

### I.6.1. Avantages et inconvénients des générateurs photovoltaïques

- **Avantages**
  - La production de cette électricité renouvelable est propre, n'est pas toxique ;
  - Les systèmes photovoltaïques sont extrêmement fiables ;
  - L'énergie photovoltaïque est particulièrement attractive pour les sites urbains pour sa petite relative taille, et son opération silencieuse ;

- La lumière du soleil étant disponible partout, l'énergie photovoltaïque est exploitable aussi bien en montage dans un village isolé que dans le centre d'une grande ville [9].

- **Inconvénients**

- La production d'énergie qui dépend de l'ensoleillement, est toujours variable ;
- Le coût d'investissement des panneaux photovoltaïques et des capteurs est élevé ;
- S'il faut stocker l'énergie avec des batteries, le coût de l'installation augmente ;
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible [9].

### I.6.2. Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne

- **Avantage**

- L'énergie éolienne est une énergie renouvelable qui ne nécessite aucun carburant, ne crée pas de gaz à effet de serre, ne produit pas de déchets toxiques ou radioactifs. En luttant contre le changement climatique, l'énergie éolienne participe à long terme au maintien de la biodiversité des milieux naturels ;
- L'énergie éolienne produit de l'électricité sans dégrader la qualité de l'air, sans polluer les eaux, sans polluer les sols ;
- L'énergie éolienne offre la possibilité de réduire les factures d'électricité et peut permettre de vous mettre à l'abri des ruptures de courant ;
- C'est une source d'énergie locale, permettant de minimiser les pertes en lignes transporteuses vers les lieux généralement très proches ;

Enfin, ce type d'énergie est facilement intégré dans un système électrique existant déjà [10].

- **Inconvénients**

- C'est une source onéreuse et coûteuse ;
- Faible rendement dans les sites moins ventés ;
- La qualité stochastique de la puissance électrique à cause du vent aléatoire qui provoque l'instabilité de la production ;
- Les éoliennes sont parfois bruyantes et modifient le paysage d'une région et l'impact sur les parcours migratoires des oiseaux [10].

### I.7 Définition du véhicule hybride

Le véhicule électrique est l'élément clé d'un transport vert et écologique. Il permet de résoudre en partie des problèmes liés à l'énergie et à l'environnement [11]. Un véhicule électrique est un véhicule propulsé par un moteur électrique. Ce moteur est alimenté par une batterie rechargeable ou par une pile à combustible, ou encore par un moteur thermique générateur. Nous distinguons trois types de véhicules électriques :

#### I.7.1 Véhicules hybrides rechargeables

Ces véhicules sont propulsés par un moteur thermique, auquel se substitue un moteur électrique pour la circulation en ville. Ce dernier est alimenté par une batterie rechargeable couplée avec un moteur thermique par un alternateur ;

### **I.7.2 Véhicules à prolongateur d'autonomie**

La propulsion de ce type de véhicules se fait par un moteur électrique alimenté par des batteries de grande capacité maintenues en charge par un petit bloc alternateur couplé avec un moteur thermique. Ces véhicules possèdent, grâce à un régime stabilisé autour de leur vitesse rotation optimale (1500 t/mn), une grande autonomie et une faible consommation avoisinante les 2 litres de carburant au 100 km [12] ;

### **I.7.3 Véhicules entièrement électriques**

Les sources d'énergie pour ce type de véhicules sont des batteries rechargeables par le réseau électrique ou par d'autres énergies renouvelables (solaire, éoliens, ...). La recharge des batteries de ces véhicules se fait à l'arrêt des véhicules par prises électriques fixes ou par échange de batteries. L'autonomie encore limitée de ces batteries limitent l'usage des VEs aux zones urbaines.

## **I.8 Avantages et inconvénients des véhicules électriques**

### **• Avantage**

Les véhicules électriques ont les meilleures performances en termes d'émission de CO<sub>2</sub> et de consommation comparés aux véhicules classiques [13].

L'autonomie du VE (c'est à dire la distance parcourue par le véhicule avec une charge complète de la batterie) dépend directement de la capacité de la batterie, du type de trajet (trajet avec/sans pentes, circulation urbaine), du mode de conduite et des accessoires électriques utilisés (feux, chauffage, climatisation, essuies glace, autres accessoires...). Le coût de la batterie, généralement plus élevé que celui d'un simple réservoir d'essence, représente une partie significative du coût du véhicule.

Le VE réduit considérablement la dépendance du pétrole. Son utilisation permet de réduire l'émission des gaz et le rejet des particules dans l'air. C'est un moyen de transport silencieux avec peu de vibrations et de maintenance [14] et [15]. Le VE peut être vu comme une solution efficace et concrète pour diminuer l'empreinte environnementale des transports.

### **• Inconvénients**

Les VEs sont multiples et vont des conditions de production de l'énergie électrique, aux coûts élevés des différents composants du véhicule. Un VE n'est réellement écologique que si l'énergie électrique qu'il consomme est produite à partir des énergies renouvelables (centrales solaires, hydrauliques ou éoliennes). Il ne permet pas non plus d'effectuer de longs trajets à cause de sa faible autonomie et sa vitesse limitée.

## **I.9 Conclusion**

Dans ce premier chapitre nous avons présentés des généralités sur les systèmes hybrides ainsi que des généralités sur les véhicules électriques et hybrides rechargeables.

Dans le chapitre prochain nous présenterons les différents composants du système hybride étudié (photovoltaïque/éolienne), avec stockage par batterie.

## **Chapitre II : Description du système hybride (photovoltaïque/éolien) avec stockage**

## II.1 Introduction

Le développement des sources d'énergie dites propres de nos jours devient de plus en plus incontournable, mais face aux problèmes des puissances variables et non garanties produites par ces sources d'énergies renouvelables, les chercheurs du domaine ont passé par un couplage d'approvisionnement à la formation d'un système d'énergie dit hybride pour répondre aux critères de la demande en énergie et la continuité de service.

Dans ce chapitre on donne la description des composants du système hybride étudié (photovoltaïque/éolienne), avec stockage par batterie.

## II.2 Système multi-sources avec stockage

Un système hybride à sources d'énergie renouvelables est un système électrique, comprenant plus d'une source d'énergie, (renouvelables et classiques). Les sources d'énergies renouvelables, comme le photovoltaïque et l'éolienne ne délivrent pas une puissance constante, mais vu leurs complémentarités, leur association permet d'obtenir une production électrique continue. Les systèmes d'énergies hybrides sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées [16].

Le but d'un système d'énergie hybride est de produire le maximum d'énergie à partir des sources d'énergie renouvelables pour satisfaire la demande de la charge.

En plus des sources d'énergie, un système hybride peut aussi incorporer un système de distribution à courant continu, un système de distribution à courant alternatif, un système de stockage. (La figure II.1) montre le système à étudier. On suppose que l'habitat est menu d'un onduleur pour convertir le courant continu en courant alternatif et que les batteries contiennent un régulateur de charge.

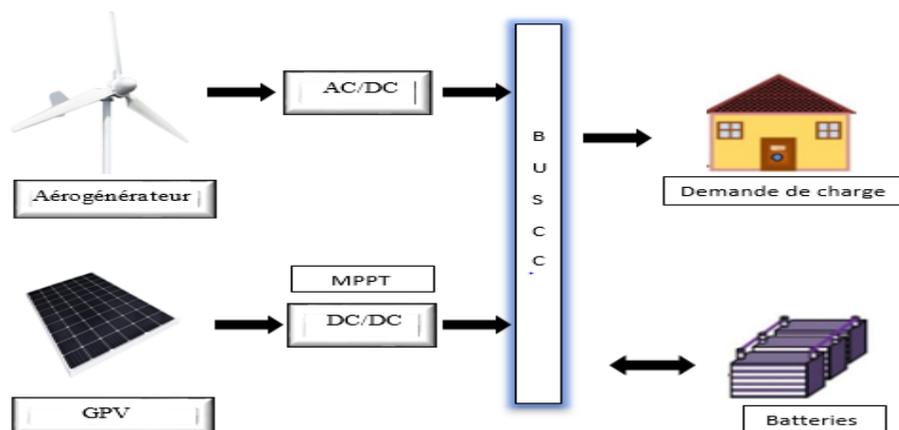


Figure II.1 Système multi sources avec stockage hybride

## II.3 Description du système multi sources

Le système hybride que nous allons étudier dans notre travail se compose à la fois d'une source photovoltaïque et éolienne, avec un stockage en utilisant des batteries, l'énergie emmagasinée dans les batteries va servir à compenser le manque au niveau de la charge, dans

le cas où l'énergie produite par la source photovoltaïque et éolienne ne satisfait pas cette dernière.

### II.3.1 L'énergie solaire

L'électricité solaire photovoltaïque est l'une des disciplines mondiales les plus importantes dans le développement durable. Actuellement malgré la maîtrise de la technologie de fabrication des cellules solaires et de leur encapsulation les installations photovoltaïques sont encore chères ; pour cela la maîtrise de la technologie seule, ne se fait plus à la diminution des coûts des installations PV et les techniques de dimensionnement utilisées doivent être optimales.

#### II.3.1.1 Rappels sur l'effet photovoltaïque

##### ➤ Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est composé de photons qui transportent chacun une quantité d'énergie déterminée de la figure II.2

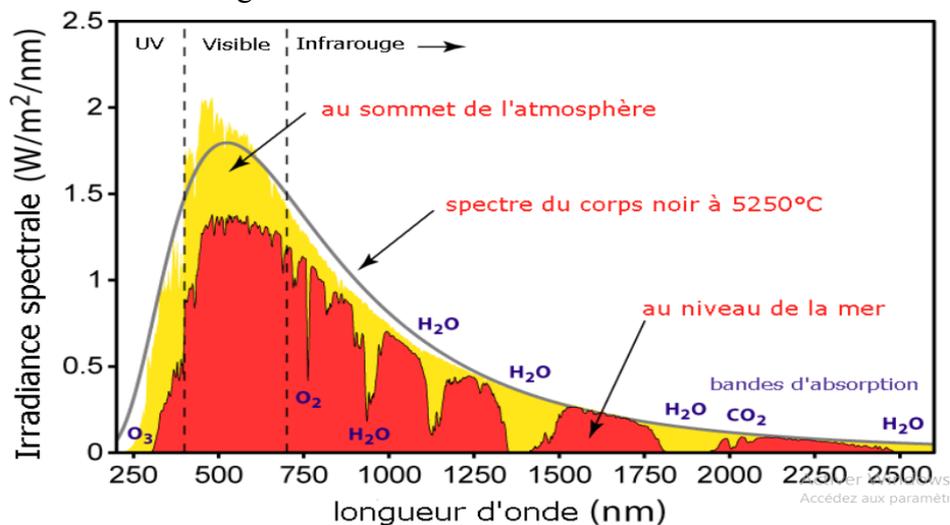


Figure II.2 Spectre du rayonnement solaire

##### ➤ Effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est la conversion des photons lumineux en électricité lorsque la lumière percute sur des cellules solaires (semi-conductrices). L'ensemble des cellules forment un module et l'ensemble des modules qui donnent le champ photovoltaïque. Le choc des photons sur le matériau semi-conducteur transmet leur énergie aux porteurs du matériau générant ainsi des paires électrons-trous soit une tension ou un courant électrique.

La lumière de soleil se compose de photons contenant une énergie correspondant aux différentes longueurs d'ondes du spectre solaire. Quand un photon heurte une cellule photovoltaïque, son énergie peut être transférée à un électron dans le matériau semi-conducteur de la cellule. Avec cette énergie supplémentaire, l'électron peut alors s'échapper de sa position normale dans l'atome créant un « trou », qui deviendra une partie d'un courant dans un circuit électrique. C'est ce qu'on appelle la paire électron-trou.

Les photons sont caractérisés par une longueur d'onde reliée à l'énergie par :

$$E = \frac{h_c}{\lambda} \quad (\text{II} - 1)$$

### ➤ Les cellules photovoltaïques

Une cellule photovoltaïque ou photo-générateur est un dispositif qui permet de convertir l'énergie lumineuse en électricité. Le principe physique de cette conversion est rappelé ici à travers le cas d'une jonction PN au silicium [17].

- Le silicium est le matériau le plus utilisé car son coefficient d'absorption (absorptivité) concorde avec le spectre solaire. Sa technologie de fabrication est bien développée car elle est omniprésente dans l'industrie électronique des semi-conducteurs. Un point sur les autres technologies existantes est aussi effectué, ainsi qu'une réflexion sur les performances des cellules solaires en général. A coté de la filière silicium il existe d'autres technologies qui font encore l'objet d'études et de développement :

- Les cellules solaires en couches minces sur substrats mono ou poly-cristallins ou de verre : le but est d'utiliser le moins de silicium possible dans la fabrication.

- Le silicium en couche mince permet de limiter les recombinaisons, ainsi des tensions électriques et des facteurs de forme plus élevés sont obtenus. Il est plus difficile à piéger les photons d'où la structure pyramidale recherchée pour la couche mince et une taille des grains bien maîtrisée. Les rendements en laboratoire peuvent atteindre les 20%. Les études sont en cours sur substrat de verre où le rendement reste relativement faible (10%).[18]

- Les cellules multi jonctions à très hauts rendements à base de GaAs, GaInP, Cu (InCa) Se2b et CdTe ou « cellules en tandem » : plusieurs cellules ayant des longueurs d'ondes différentes sont accolées. La difficulté est d'optimiser les différents « gaps » par rapport à l'éclairement solaire incident. Cependant, la fabrication est plus compliquée et l'incorporation de germanium, toxique et chère, est nécessaire. sont en cours sur substrat de verre où le rendement reste relativement faible (10%).[19]

- Les cellules à concentration de rayonnement : elles peuvent atteindre une efficacité de conversion supérieure à 20%.

- Les cellules à base de colorants : très prometteuses et de fabrication simple, le prix de ces cellules est peu élevé mais le rendement reste inférieur à 10%.

- Les cellules organiques (à base de polymères), les cellules hybrides (organiques inorganiques) et les cellules photo électrochimiques : plus écologiques mais elles présentent un rendement de l'ordre de quelques pourcents et des problèmes de stabilité. Signalons les derniers développements avec des cellules s'intégrant dans l'habitat et les paysages : vitrages et peintures solaires et les cellules souples.[20]

#### II.3.1.2 La modélisation d'une cellule solaire

- **Circuit idéal**

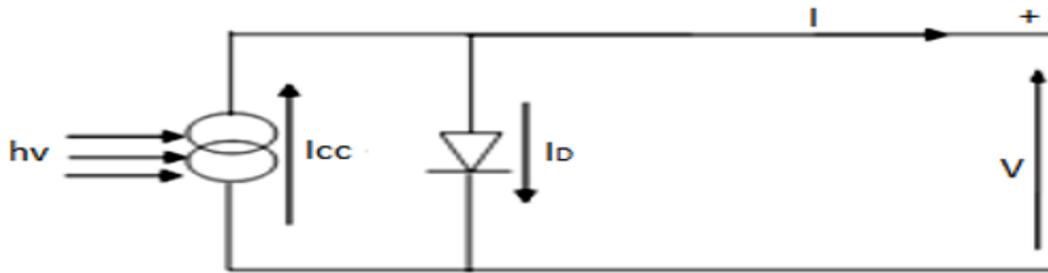


Figure II.3 Cellule solaire idéal [21]

L'équation caractéristique d'une cellule solaire idéale est de la forme:

$$I = I_{cc} - I_D = I_{cc} - I_0 \left( \exp\left(\frac{qv}{KT}\right) - 1 \right) \quad (\text{II} - 2)$$

$I, V$  : Courant et tension fournis par la cellule.

$I_D$ : Courant de diode donnée par:

$$I_D = \left( \exp\left(\frac{qv}{KT}\right) - 1 \right) \quad (\text{II} - 3)$$

$qv$  : Charge de l'électron ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  Coulomb).

$K$ : Constante de Boltzmann ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K).

$T$ : Température absolue (°K).

$I_0$ : Courant de saturation (A).

- **Circuit réel :**

La performance d'une cellule solaire est limitée par l'influence de deux phénomènes physiques assimilables à deux résistances ( $R_s$  et  $R_p$ ) [22]

La Résistance série  $R_s$ , due essentiellement aux pertes par effets Joule à travers les grilles de collectes et la résistance propre des semi-conducteurs, ainsi qu'aux mauvais contacts (Semi-conducteur, électrodes). Elle s'exprime par :

$$R_s = \rho \times \frac{L}{S_g} + R_m \quad (\text{II} - 4)$$

Avec :

$\rho$  : La résistivité de la grille.

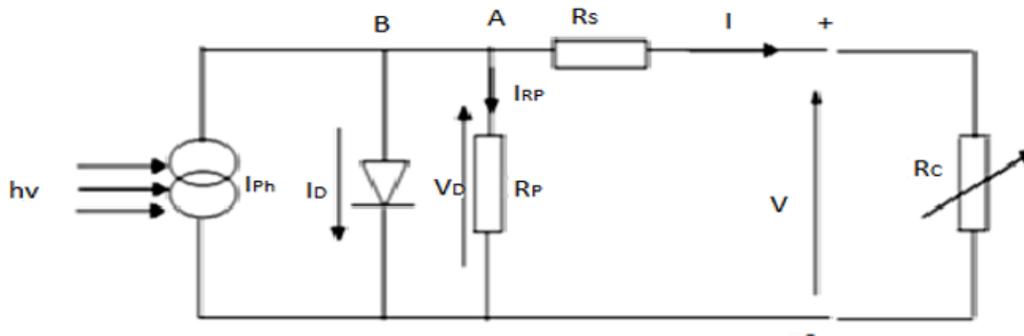
$L$ : La longueur de la grille.

$S_g$ : Section des grilles collectrices.

$R_m$ : Résistance propre du matériau, sa valeur est faible ( $< 2\Omega$  pour les cellules au silicium).

La Résistance parallèle  $R_p$ , dite « Shunt », provient des pertes par recombinaisons dues essentiellement à l'épaisseur, aux effets de surface, ainsi qu'au non idéalité de la jonction.

$R_s$  et  $R_p$  modifient le courant de court-circuit de la cellule en photo-courant  $I_{ph}$ , on aura donc le montage électrique équivalent suivant.



**Figure II.4** Schéma équivalent d'une cellule solaire réelle [22]

Appliquons la loi de Kirchhoff aux nœuds A, B :

$$I = I_{ph} - I_D - I_{RP} \quad (II - 5)$$

Le courant  $I$  débité par la cellule est la somme algébrique de trois courant :

$I_{ph}$ : Photo courant indépendant de la tension (ou de la résistance  $R_s$ ), il est proportionnel au flux incident (taux de génération-recombinaison) et aux longueurs de diffusion des porteurs.

$$I_{ph} = q \times g \times (L_n + L_p) \quad (II - 6)$$

$L_n$ : Longueur de diffusion des électrons (m).

$L_p$ : Longueur de diffusion des trous (m).

$g$ : Taux de génération-recombinaison ( $m^3/s$ ).

$q$ : la charge d'électron.

$I_{RP}$ : Courant traversant  $R_p$ , si  $R_p$  est très grande, il devient très faible et indépendant de la tension:

$$I_{RP} = \frac{V_D}{R_p} = \frac{(V + R_s \times I)}{R_p} \quad (II - 7)$$

Car:

$$V_D = R_p \times I_{RP} = V + R_s \times I \quad (II - 8)$$

$I_D$ : Courant diode, il est de même ordre de grandeur que  $I_{RP}$  pour les faibles tensions et il devient très grand au voisinage de  $V_{co}$ , il s'écrit sous la forme.

$$I_D = I_0 \left( \exp\left(\frac{qV}{KT}\right) - 1 \right) \quad (II - 9)$$

Alors le courant global s'écrit come suit :

$$I = I_{ph} - I_0 \left( \exp \left( \frac{qv}{KT} \right) - 1 \right) - \frac{(V + R_s \times I)}{R_p} \quad (\text{II} - 10)$$

La caractéristique  $I = F(V)$  donnée par la (figure II-5) représente la courbe de puissance, sachant que le courant généré est donné par la (formule II-9) et que la cellule fonctionne sous un éclairement fixe  $E_s$  et une température constante  $T$ .

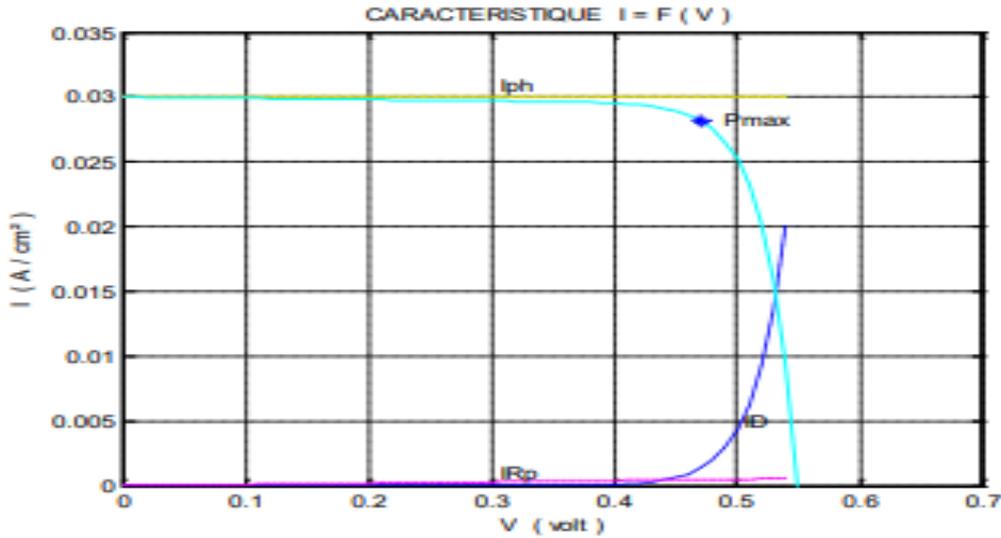


Figure II.5 Caractéristique d'une cellule solaire [22]

### II.3.1.3 L'énergie moyenne solaire

- **Puissance**

La puissance est donnée par la formule II-11 :

$$P_{pv} = \tau_{PV} \times S_{PV} \times E_s \quad (\text{II} - 11)$$

Où

$\tau_{PV}$  est le rendement globale du générateur PV,  $S_{PV}$  la surfaces effectives des panneaux ( $m^2$ ) et  $E_s$  : L'ensoleillement du site ( $W/m^2$ ).

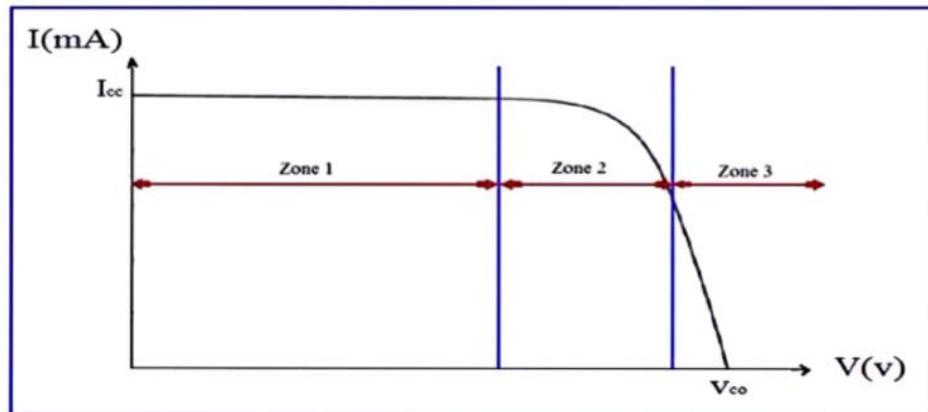
Afin de profiter au maximum de l'énergie qu'un panneau photovoltaïque peut fournir, il est nécessaire de le faire travailler au point de puissance maximale. Ceci est fait en connectant un convertisseur DC/DC pour adapter la tension aux bornes des panneaux à celle qui correspond au point d'opération optimal. Ces convertisseurs sont nommés MPPT (anglais : Maximum Power Point Tracker). Comme la courbe de courant vis tension du panneau change en fonction du rayonnement solaire, les coordonnées du point d'opération optimal changent aussi en fonction du rayonnement solaire.

- **Energie**

L'énergie produite pour une journée est donnée par l'équation II-12 :

$$E_{pv} = \tau_{PV} \times S_{PV} \times E_{cj} \quad (\text{II} - 12)$$

$E_{cj}$  représente l'énergie solaire totale moyenne par jour reçu par la surface effective des panneaux ( $S_{PV}$ ) pour le rendement de générateur PV ( $\tau_{PV}$ ).



**Figure II.6** Les différentes zones de caractéristique  $I=F(V)$  d'un module photovoltaïque

Le fonction de module caractérisé essentiellement par trois zones :

**Zone 1 :** Le courant  $I$  est donné presque constant la cellule se comporte comme un générateur de courant (pratiquement constant de valeur voisine de  $I_{cc}$ ). Le fonctionnement de la cellule dans cette zone donne des puissances faibles, des courants élevés et des tensions petites.

**Zone 2 :** Région correspondante aux valeurs élevées de  $R_c$ . La cellule se comporte comme un générateur de tension en circuit ouvert  $V_{co}$ . Le fonctionnement de la cellule dans cette zone donne des puissances faibles, des courants petits et des tensions élevées.

**Zone 3 :** Le fonctionnement de la cellule dans cette zone donne des puissances élevées, des courants et des tensions acceptables.

### II.3.1.4 Groupement des cellules photovoltaïque

- **Mise en série**

Une association de nombre cellules ( $N_s$ ) en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque et donc accroître la puissance, les cellules sont alors traversées pour le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule, l'équation (II-13) résume les caractéristiques électrique d'une association de nombre cellules en séries  $N_s$  [23].

$$V_{sco} = N_{ps} \times V_{co} \quad (\text{II} - 13)$$

Avec  $V_{co}$  : la tension de circuit ouvert

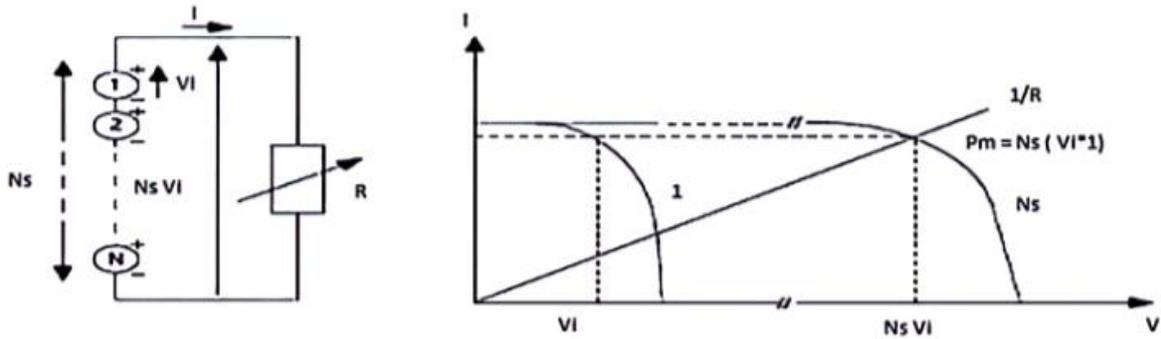


Figure II.7 Caractéristique résultantes d'un regroupement de  $N_s$  cellules en série

• Mise en parallèle

D'autre part une association parallèle de  $N_p$  est possible et permet d'accroître le courant 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. L'équation (II-14) résume les caractéristiques électriques d'une association de  $N_p$ .

$$I_{cc,p} = N_p \times I_{cc} \tag{II - 14}$$

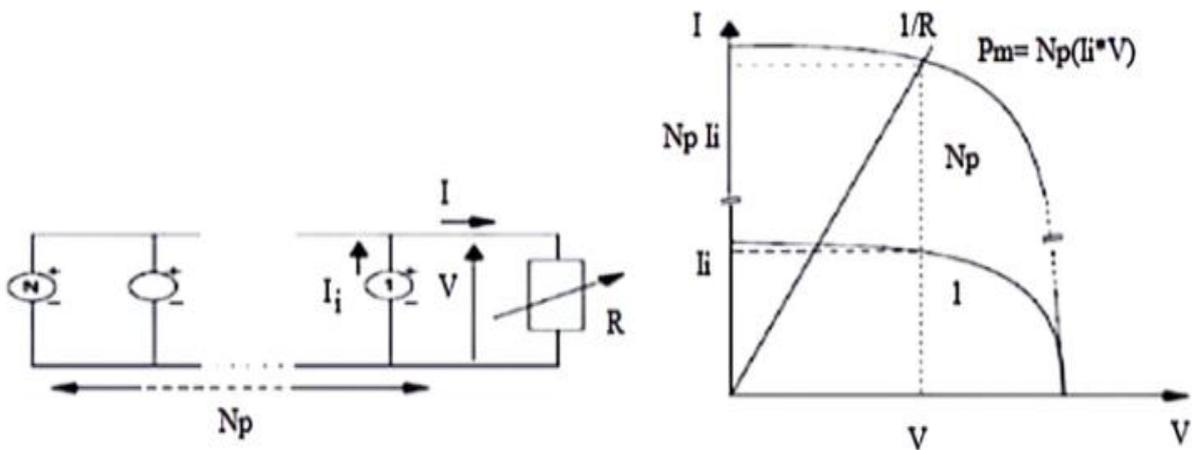


Figure II.8 Caractéristique résultante d'un regroupement de  $N_p$  cellules en parallèle

II.3.1.5 Le module photovoltaïque

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module (figure II-9-a ). Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthylènevynil- acétate) (figure II-9-b ) et protégé sur la surface avant d'un verre, trempé à

haute transmission et de bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière de polyéthylène. La figure montre le module photovoltaïque .

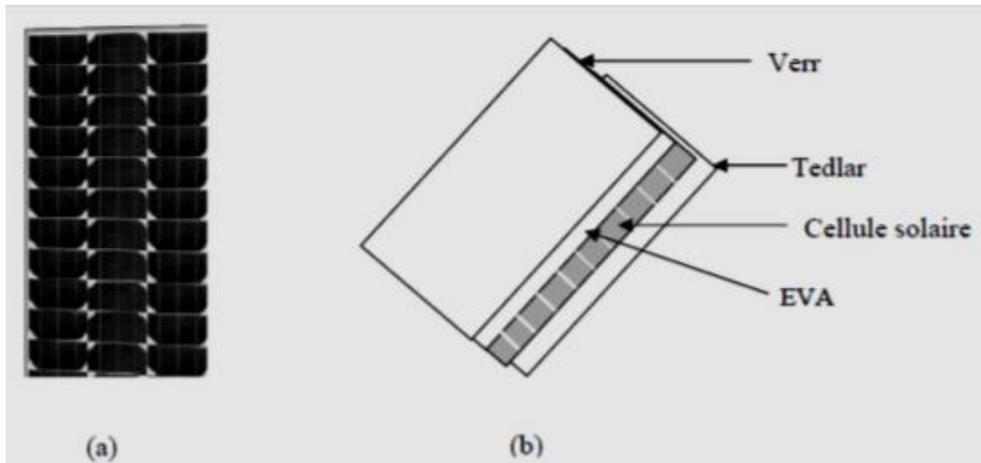


Figure II.9 Module photovoltaïque [24]

➤ **Principe de la commande MPPT**

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un GPV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quel que soit les conditions météorologiques (température et irradiation), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum ( $V_{PPM}$  et  $I_{PPM}$ ).

La chaîne de conversion photovoltaïque sera optimisée à travers un convertisseur statique commandé par une MPPT . Il peut être représenté par le schéma de la (Figure II.10).

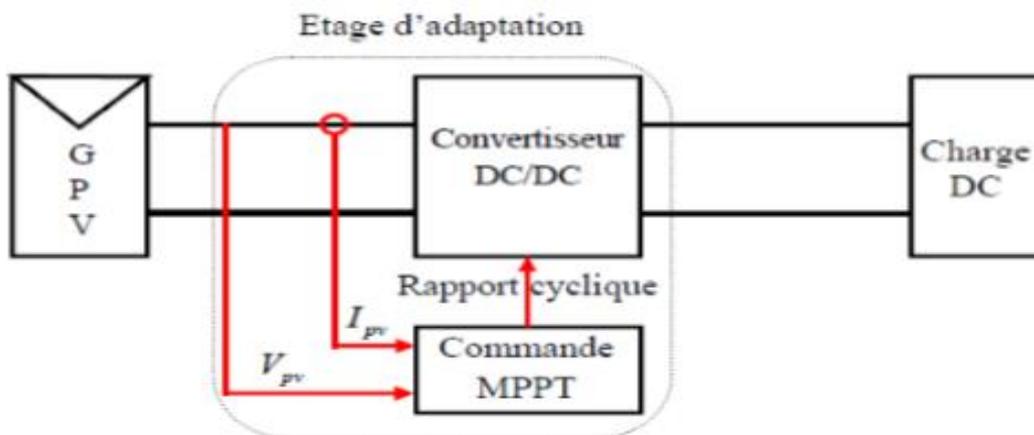


Figure II.10 Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant un panneau photovoltaïque, un convertisseur BOOST, une commande MPPT et une charge

La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur DC/DC , à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le GPV peut fournir. L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le MPP. En général, il est basé sur la variation du rapport cyclique du convertisseur DC/DC en fonction de

l'évolution des paramètres d'entrée de ce dernier (I et V et par conséquent de la puissance du GPV) jusqu'à se placer sur le MPP.

➤ **Régulateur MPPT avec la méthode de la perturbation et observation (P&O)**

L'algorithme de la perturbation et observation (P&O) est généralement le plus appliqué dans le contrôle de l'algorithme MPPT pour les panneaux PV . Il présente une structure simple, un faible coût, une mise en œuvre facile, un nombre réduit de paramètres, la possibilité d'introduire des améliorations et peut aboutir à une efficacité de haut niveau. Cet algorithme dépend de l'étude de la relation entre la puissance de sortie du module PV et sa tension.

Le comportement du panneau PV indiquant le MPP et le principe de fonctionnement est présenté dans la (figure II.11) qui indique que le changement résultant de la puissance PV qui est expliqué comme suit : lorsque le point de fonctionnement du module PV est sur le côté gauche de la courbe ( $\Delta P/\Delta V$  est positif), ce qui signifie que la puissance de sortie du module PV augmente, la perturbation de la tension du module PV devrait être augmentée vers le MPP. Si le point de fonctionnement du module se trouve sur le côté droit de la courbe ( $\Delta P/\Delta V$  est négatif), la perturbation de la tension du module PV doit être réduite pour atteindre la MPP.

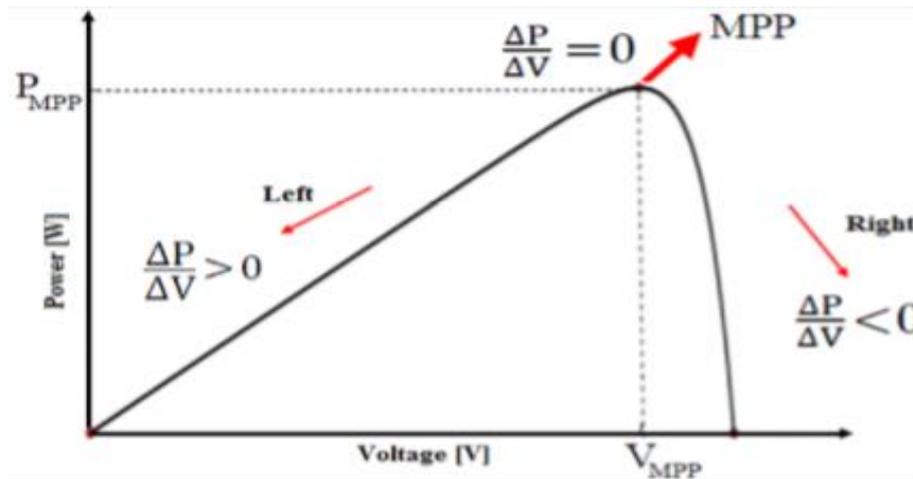


Figure II.11 Principe de fonctionnement du point MPP pour un panneau PV

**II.3.1.6 Installation et orientation des panneaux solaires**

L'installation des panneaux solaires dans un site, doit être faite sur des structures solides, fixées au sol, pour résister à des vents très forts, ces structures doivent être fiables dans le temps, et doivent utiliser un matériau de bonne fiabilité (autre l'aluminium anodisé, la visserie inox et la visserie inviolable)[25]. De plus, elles doivent assurer le maintien de l'orientation, la résistance contre les agressions mécaniques, la protection contre les salissures, l'agression venant du sol et la ventilation des panneaux afin de limiter leur échauffement.

On appelle orientation le point cardinal vers le quel est tournée la face active du panneau (sud, nord,...). Les panneaux sont toujours orientés vers l'équateur :

- Orientation vers le sud dans l'hémisphère Nord ;
- Orientation vers nord dans l'hémisphère Sud ;

### II.3.1.7 Câblage et protection des modules

Les modules installés à l'extérieur, exposés au vent, au gel, au soleil et autres agressions. Il est strictement nécessaire d'utiliser des câbles adaptés avec des sections pour garantir une fiabilité électrique des panneaux. La connexion électrique des modules nécessitent l'usage de boîte de jonction et de boîte de dérivation [26].

La boîte de jonction est utilisée de deux façons dans un panneau solaire en by-pass ou blocage :

- Les diodes **by-pass** sont intégrés dans le panneau solaire, chaque groupe de cellules solaires est équipée d'une diode la protégeant, par exemple, lorsqu'une feuille la recouvre, est alors court-circuitée, pour ne pas l'endommager. Les diodes sont incluses dans la cellule et de ce fait invisibles.
- Les diodes **anti-retour, ou de blocage**, empêchent un panneau d'envoyer du courant dans un autre qui serait entièrement à l'ombre, et empêchent la batterie de se décharger dans les panneaux solaires quand ils sont à l'ombre ou la nuit. En général elles sont placées dans la boîte de jonction.



(a)



(b)

*Figure II.12 (a) boîte de jonction et (b) boîte de dérivation [26]*

## II.3.2 Source éolienne

### II.3.2.1 Conversion de l'énergie éolienne

L'exploitation de l'énergie du vent est connue depuis longtemps où elle a été utilisée dans les moulins à vent pour moudre les grains. Son principe repose sur la conversion d'une partie de l'énergie disponible dans le vent en énergie de rotation dans l'arbre d'une turbine, puis en énergie électrique via une génératrice électrique. La (figure II-13) montre un exemple d'une chaîne de conversion éolienne. Elle est composée d'une turbine éolienne montée directement sur une génératrice à aimants permanents (GSAP), d'un redresseur MLI triphasé qui est connecté au bus CC.

La puissance disponible sur l'arbre de la génératrice est fonction de la vitesse de vent et de la rotation de la turbine (figure II-14).

Pour chaque vitesse vent il y aura donc une vitesse de rotation pour laquelle la puissance de sortie sera maximale. Dans une chaîne de conversion à vitesse variable, les convertisseurs d'électronique de puissance sont normalement commandés de façon à suivre le point de puissance maximale.

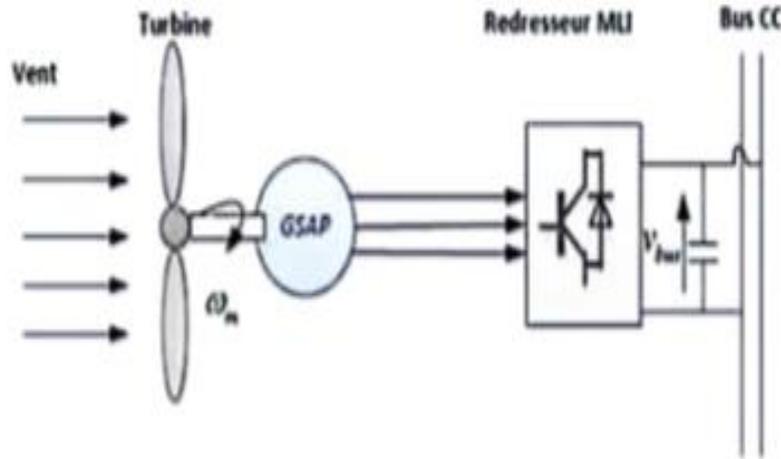


Figure II.13 Exemple de la chaîne éolienne

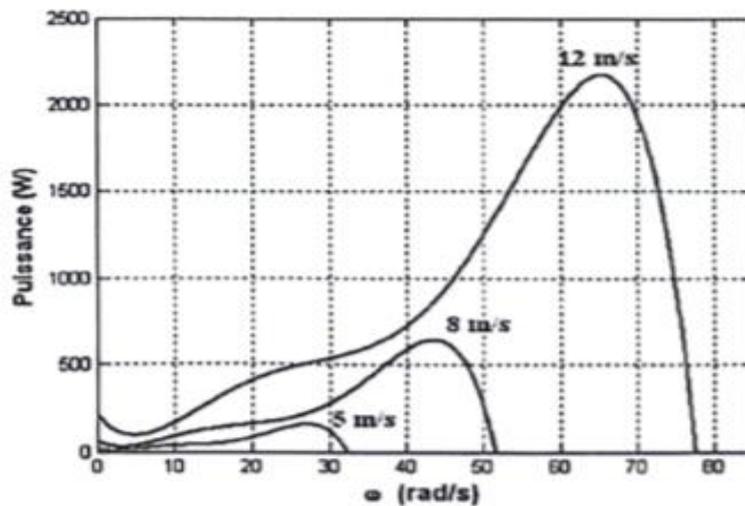


Figure II.14 Courbe de puissance éolienne pour trois vitesses différentes de vent

### II.3.2.2 Modélisation

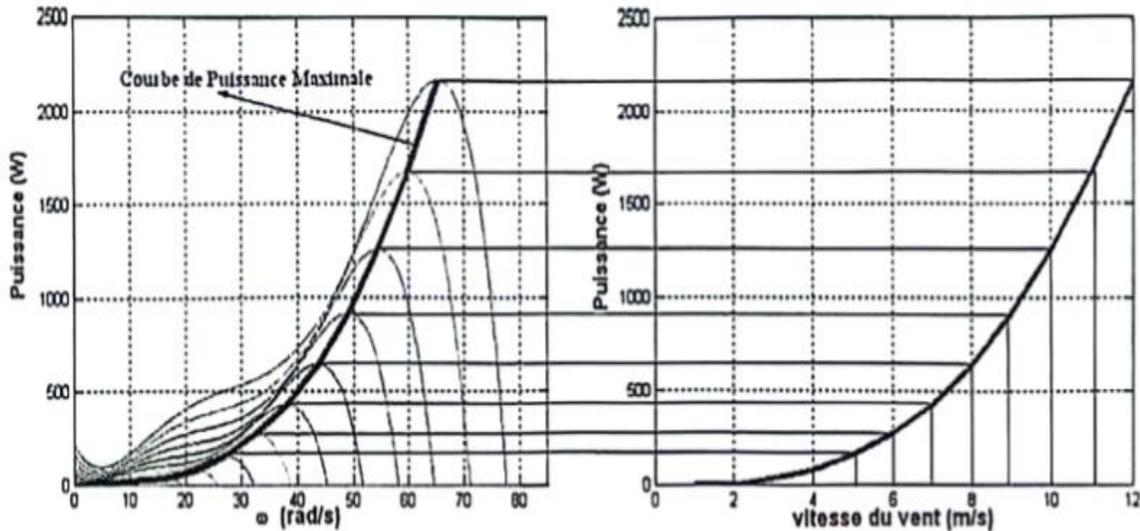
#### ➤ Puissance

La puissance maximale est proportionnelle au cube de la vitesse de vent (figure II-15). Ceci s'explique parce que la valeur du  $C_p$  maximal est constante pour toutes les vitesses de vent. Donc, pour une chaîne de conversion à vitesse variable et en supposant que le réglage permet de suivre parfaitement le point de  $C_p$  maximal, la puissance dans l'arbre de la machine est donnée par l'équation :

$$P_w = \frac{1}{2} \times \rho \times C_p \times A_w \times V_w^3 \quad (\text{II} - 15)$$

Où

$\rho$  est la densité de l'air ( $\text{kg/m}^3$ ),  $C_p$  max coefficient de puissance maximale,  $A_w$  surface traversé par la masse d'air (balayée par le rotor)



**Figure II.15** a) Courbe de puissance maximale en fonction de la vitesse de rotation b) Courbe de puissance maximale en fonction de la vitesse du vent

➤ **Protection**

Afin de protéger la turbine éolienne, il est important d'extraire le maximum de puissance et de limiter la puissance mécanique extraire pour les grandes vitesses de vent supérieure à la vitesse nominale de l'éolienne. En général les turbines de basse puissance utilisent plutôt le système de décrochage aérodynamique alors que les turbines de grande puissance utilisent le contrôle d'angle de calage des pales, le contrôle de couple et de vitesse pour maintenir une puissance électrique constante aux bornes du générateur.

La courbe de puissance d'une turbine éolienne (figure II-16) est caractérisée par une vitesse de démarrage (anglais : cut-in speed) qui correspond à la vitesse du vent pour laquelle la puissance contenue dans le vent est suffisante pour amorcer le système. Ensuite, il y a une région où la puissance est proportionnelle au cube de la vitesse du vent. La vitesse du vent à laquelle la turbine atteint sa puissance nominale est nommée vitesse nominale (anglais : rated speed).

La puissance nominale est maintenue constante jusqu'à ce que la vitesse du vent devienne trop importante et la turbine doit alors être arrêtée (anglais : cut-off speed).

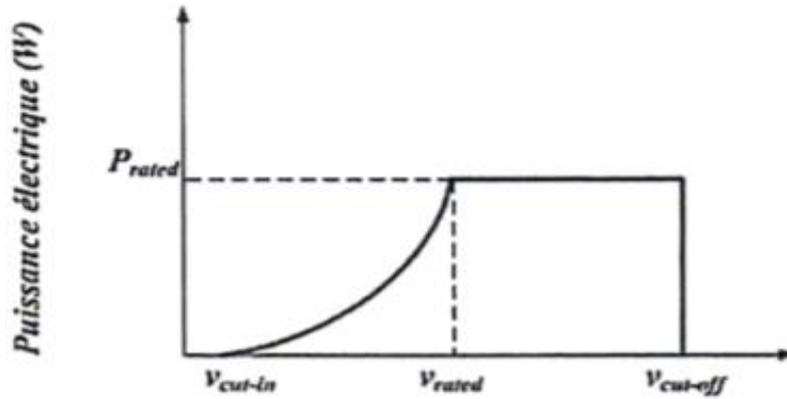


Figure II.16 Courbe de puissance en fonction de la vitesse du vent d'une turbine éolienne

### II.3.2.3 Energie éolienne moyenne

L'énergie éolienne annuelle moyenne par mètre carré de rotor peut être exprimée en fonction de la puissance éolienne moyenne par jour de la façon suivante (Equation II-16).

$$E_w = \sum_m^{12} \frac{P_w}{A_w} \times D_m \quad (\text{II} - 16)$$

Où  $m$  représente les mois et  $D_m$  représente le nombre de jours de chaque mois.

### II.3.2.4 Convertisseur AC/DC (Redresseur)

Dans un système d'énergie hybride, des convertisseurs sont utilisés pour charger des batteries de stockage et pour transformer le AC en DC et vice-versa, est de maximiser la production de puissance des sources.

Le redresseur commandé est le montage le plus simple des montages d'électronique de puissance et permet de transformer l'énergie alternative provenant en général du réseau électrique en une énergie unidirectionnelle quasi-continue que l'on peut diriger vers les charges à courant continu (moteurs à courant continu) [27].

### II.3.2.5 Convertisseur DC/AC (onduleur)

L'onduleur est un montage électronique permettant de transformer une tension continue en une tension alternative (sinusoïdale). Ils sont utilisés généralement pour la production de tensions alternatives.

## II.3.3 Description du stockage

Les unités de stockage sont des éléments indispensables dans les systèmes en site isolé. Elles participent en effet à garantir l'autonomie du site, en constituant une réserve d'énergie lorsque les sources produisent en excédent, et en la restituant lorsqu'elles ne produisent momentanément plus assez (batteries).

### II.3.3.1 Batterie

#### ➤ Principe de fonctionnement

Les batteries sont la solution la plus utilisée pour un stockage électrochimique de faibles dimensions. Elles réalisent une réaction d'oxydoréduction selon le principe de la pile pour emmagasiner à la charge de l'énergie électrique, qui peut être restituée à la décharge avec un bon rendement, autour de 85 % selon les types de batteries.

➤ **Les différentes technologies**

Trois grandes familles de batteries sont aujourd'hui utilisées par les industriels, selon la nature de leurs électrodes :

- Les batteries Plomb-acide ;
- Les Nickel
- Les Lithium.

Les batteries sont caractérisées par deux éléments :

- Par une tension nominale en charge
- La capacité  $C_{batt}$  en Ah.

Deux principaux critères permettent de juger si elles sont adaptées à l'application recherchée :

- Leur durée de vie ;
- Leur énergie spécifique.

**Tableau II.1** Comparaison des caractéristiques techniques des batteries

Caractéristiques	Plombe acide	Ni-Cd	li-Ion
Energie massique (Wh/kg)	30-50	45-80	60-130
Puissance Spécifiques (W/kg)	80-150	150-400	400-500
Seuil de charge (v)	2.1	Détection de la charge maximale par signature de la tension	3
Seuil de décharge (v)	1.85	1.00	2.50
Rendement (%)	>80	75	>95
Durée de vie	200-300 cycles	1000 <sup>3</sup> cycles	500-2000 cycles
En service depuis	1859	1899	1990
Avantages	Faible cout	Faible Performance Froid	Bon densité d'énergie
Inconvénient	Durée de vie	Toxicité	Le cout élevé

➤ **Schéma électrique équivalent**

Le modèle de la batterie simplifié est constitué d'une source de tension équivalente VB en série avec une résistance Rb figure II-17.

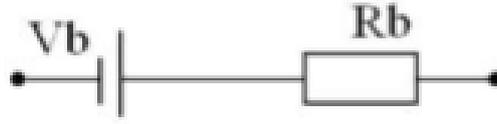


Figure II.17 Schéma électrique équivalent de la batterie

- **Modèle de la capacité**
- **Capacité Nominale**

Le modèle de la capacité donne la quantité d'énergie  $C_{batt}$  en Ah que peut restituer la batterie en fonction de la demande journalière ( $E_{totale}$ ), du nombre de jours d'autonomie ( $N_a$ ), de la profondeur de décharge maximale de la batterie ( $P_{Dm}$ ) et du rendement ( $\eta_B$ ), pour une tension de la batterie donnée ( $U_b$ ).

$$C_N = \frac{E_{ch} \times N_a}{U_b \times P_{Dm} \times \eta_t} \quad (II - 17)$$

La capacité  $C_N$  sert de référence pour déterminer l'état de charge de la batterie ( $EDC$ ). Ce dernier sera formulé en fonction de la quantité de charge manquante à la batterie ( $Q_d$ ).

$$EDC = 1 - \frac{Q_d}{C_{batt}} \quad (II - 18a)$$

L'évolution temporelle de  $Q_d$  dépend du mode de fonctionnement de la batterie (croît en décharge, décroît en charge, en convention récepteur). Elle est donnée par :

$$Q_d = I_{batt} \times t \quad (II - 18b)$$

- **Capacité de la batterie en charge/décharge**

Lorsque la production totale du système hybride est supérieure à la demande en énergie, le système de stockage est en état de charge. Sinon il est en état de décharge. La quantité de charge de la batterie à l'instant  $t$  peut être calculée en utilisant l'équation II-19a.

$$EB(t) = EB(t - 1) \times (1 - \sigma) + \left( \frac{EGA(t) - EL(t)}{\tau_{inv}} \right) \times \eta_{batt} \quad (II - 19a)$$

Où

$EB(t)$  : La quantité de charge des batteries à l'instant  $t$ .

$EB(t - 1)$  : La quantité de charge des batteries à l'instant  $(t - 1)$ .

$EGA(t)$  : L'énergie totale générée par la source d'énergie renouvelable, après la perte d'énergie dans le contrôleur.

$EL(t)$  : La demande de la charge à l'instant  $t$ .

$\eta_{inv}$  : Le rendement de l'onduleur.

$\eta_{batt}$  : Le rendement la charge de la batterie.

$\sigma$  : Le taux d'autodécharge qui dépend de la charge accumulée et l'état de la batterie.

La quantité de charge de la batterie est soumise à des contraintes telles que :

$$E_{Bmin} \leq E_B \leq E_{Bmax} \quad (\text{II} - 19\text{b})$$

Avec

$E_{Bmax}$  : La quantité de charge maximale de la batterie.

$E_{Bmin}$  : La quantité de charge minimale de la batterie

### II.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé de faire une description des différents composants du système hybride étudié (photovoltaïque/éolienne), avec stockage par batterie.

Dans le chapitre qui suit on va entamer le dimensionnement de système hybride avec stockage raccordée à une station de chargement destinée aux véhicules électriques et hybrides rechargeables.

## **Chapitre III : Dimensionnement d'un système hybride photovoltaïque/éolienne avec stockage**

### III.1 Introduction

A cause de la nature intermittente des sources renouvelables, le dimensionnement de l'installation s'avère difficile et doit, en toute rigueur, dépendre à la fois des caractéristiques météorologiques du lieu d'installation tout en intégrant le profil de consommation. Lorsque les systèmes sont surdimensionnés, leur production est beaucoup plus élevée que la consommation et contrairement à d'autres types sous dimensionnés, leur production est insuffisante. Ensuite, entre ces deux cas, il y a le dimensionnement optimal pour éviter la pénurie et le gaspillage de production dans le but de minimiser le coût. Cela nécessite l'application de méthodes d'optimisation mathématique pour ajuster l'efficacité de l'installation.

L'objectif dans ce chapitre est le dimensionnement de système hybride avec stockage (site isolé) qui sera lié principalement à une station de chargement destinée aux véhicules électriques et hybrides rechargeables à travers un algorithme de gestion des flux énergétiques.

### III.2 Détermination de profile de charge

#### III.2.1 La ferme

Dont elle est question fait partie d'une région rurale isolée non raccordée au réseau de distribution d'énergie classique qui est occupée en permanence durant toute l'année, dont l'activité se résume en deux points : le maraichage et l'élevage des moutons et des vaches.

La ferme est équipée de l'ensemble des appareils permettant de fournir le confort aux occupants. Le nombre d'heures de consommation est déterminé en fonction de l'heure de lever et de coucher du soleil. Le nombre d'heures d'éclairage dépend des heures du lever et du coucher des membres de la famille. Par ailleurs, on suppose que le lever et le coucher respectifs des occupants de la ferme s'effectuent en moyenne à 6 h du matin et à 23h du soir. Afin de consommer le minimum d'énergie et de réduire autant que possible la taille du système photovoltaïque et éolien, on choisit les appareils de faibles consommation.

#### III.2.2 La maison

Dans notre étude nous tenons en compte que la maison du type non raccordée au réseau de distribution d'énergie classique et équipée de l'ensemble des appareils permettant de fournir le confort aux occupants. Par ailleurs dans notre cas nous supposons que l'habitation sera occupée en permanence durant toute l'année et que les équipements domestiques fonctionnent sous une tension standard 220V-50Hz (tension secteur).

La maison dispose des équipements connue, électroménager, des équipements électroniques et bien sur l'éclairage électrique, tous ces éléments sont utilisés selon un cycle bien défini.

### III.3 La station

Nous prenons une station multi sources à énergie renouvelable, destinée pour le chargement des véhicules électriques et hybrides rechargeable. Elle constitué d'un :

- Système photovoltaïque/éolienne avec stockage (batterie de type lithium-ion).

- Borne de recharge.

Il existe deux principales familles de bornes de recharge :

- Les bornes de recharge normale, et accélérée qui délivrent du courant alternatif. Pour ces bornes, il est recommandé que l'utilisateur se branche avec son propre câble.
- Les bornes de recharge rapide (en courant alternatif ou bien en courant continu). Ces bornes disposent des câbles que les utilisateurs branchent sur la prise de leur véhicule. Les chargeurs rapides pour véhicules électrique recourent à la charge en DC et convertissent le courant avant qu'il rentre dans le véhicule. Une fois la conversion finie, le courant entre directement dans la batterie sans passer par le convertisseur du véhicule.

Dans notre station on va utiliser la borne de recharge rapide de norme SAE J1772 en CC, avec un raccordement en monophasé de 7 kW, et une section de câble de 10 mm<sup>2</sup>, et de 5 m de la longueur.

### III.3.1 Choix des voitures

#### A) La voiture électrique

Le MINICAB-MIEV truck développe 41 chevaux et un couple de 196 N.m, fournit une énergie de 10.5 kWh avec 110 km d'autonomie. Il peut être chargé en 3h30 sur une prise 220V/15A, et emporte une charge utile maximale de 350 kg, avec une consommation électrique de 120Wh/km. Exemples de modèles des voitures électriques : citadine BMW i3, Nissan LEAF et Volkswagen.



*Figure III.1 Voiture électrique : Mitsubishi MINICAB-MIEV Truck*

#### B) La voiture hybride rechargeable :

##### ➤ Volkswagen Transporter T7

Volkswagen Transporter T7 la 7<sup>e</sup> génération du fourgon, est proposé en plusieurs finitions : multivan, life, Energetic (hybride) et style. La batterie lithium-ion du Multivan eHybrid a une capacité nette de 10,4 kWh, cette capacité énergétique procure une autonomie électrique équivalente de 46 à 50 kilomètre, est conçue pour que puissiez parcourir jusqu'à 60 km, avec une durée de recharge du 3h40.



**Figure III.2** Voiture hybride Volkswagen MULTIVAN T7

➤ **Toyota Prius**

Toyota Prius : Est également dotée d'une double motorisation mais intègre une batterie de plus grande capacité qui, contrairement à l'hybride classique, se recharge via une source d'énergie externe (prise domestique ou borne de recharge, de 1h30 à 2 heures). Son autonomie moyenne et réelle en mode 100% électrique oscille entre 20 et 45 km (jusqu'à la vitesse maximale de 130 km/h). Exemples de modèles : Audi A3, Volkswagen Golf GTE.



**Figure III.3** Toyota Prius

Les types et le temps de recharge sont récapitulés dans le tableau (III.1) suivant :

**Tableau III.1** Temps faut-il pour le chargement d'un véhicule [28]

Durée de recharge	Alimentation	Tension	Courant maximum
6 - 8 h	Monophasé 3,3 kW	230 VAC	16 A
2 - 3 h	Triphasé 10 kW	400 VAC	16 A
3 - 4 h	Monophasé 7 kW	230 VAC	32 A
1 - 2 h	Triphasé 24 kW	400 VAC	32 A
20 - 30 min	Triphasé 43 kW	400 VAC	63 A
20 - 30 min	Continu 50 kW	400- 500 VDC	100 -125 A

### III.3.2 Borne de recharge

Une borne de recharge (la figure III.4) se présente généralement sous la forme d'un appareil fixe raccordé directement à un tableau de distribution électrique ou, parfois, branché sur une prise de courant. La borne comprend un ou plusieurs câbles (la figure III.5) de charge munis d'une prise mobile qui rappelle un pistolet à essence et s'utilise d'une manière analogue : il suffit de la brancher au socle de recharge du VE pour recharger la batterie. La borne est équipée de voyants qui indiquent si le VE est branché et s'il est en recharge. Elle peut aussi comprendre un bouton qui commande ou arrête la recharge. Certaines bornes intègrent des fonctionnalités additionnelles : compteur d'énergie fournie, système de paiement électronique, contrôle d'accès par carte, accès internet, etc.



*Figure III.4 Borne de recharge*



*Figure III.5 Borne de recharge rapide*

### ➤ Norme SAE J1772- Recharge en AC

- La recharge de niveau 1 ne nécessite pas de borne de recharge à proprement parler. Elle exige un câble de charge de niveau 1, semblable à un gros bloc d'alimentation d'ordinateur portable, qu'on branche sur une prise à 230 V ordinaire (CSA5-15R). Si la prise est réservée à la recharge de VE, elle doit être alimentée par un circuit de dérivation d'une capacité de 20 A.

- La recharge de niveau 2 nécessite une borne de recharge fixe alimentée par un circuit de dérivation distinct à 400 V. Tous les véhicules électriques vendus en Amérique du Nord intègrent un socle de recharge SAE J1772, à l'exception des Tesla qui nécessitent un adaptateur.

- La norme prévoit aussi un niveau 3 en AC, mais il n'existe actuellement ni chargeur embarqué ni borne de recharge conforme sur le marché. À ce niveau de puissance, qui peut atteindre 50 kW, les constructeurs préfèrent opter pour un chargeur externe en CC branché directement à la batterie du VE.

**Tableau III.2** Niveaux de charge en AC

Niveau	Tension nominale monophasée (VAC)	Courant maximale (A)	Protection (A)
1	120	12	15
1	120	16	20
2	400	Jusqu'à 80	Jusqu'à 100

### ➤ Fonctionnement d'une borne J1772

Lorsque la prise mobile du câble de charge (voir la figure III.6) se trouve dans son logement sur la borne, la prise et le câble de charge sont complètement hors tension et il est impossible de les mettre sous tension. Lorsqu'elle est branchée au socle de connecteur du VE (voir la figure III.7), cette connexion est détectée par la borne qui envoie au VE un signal indiquant le courant maximal qu'elle peut fournir. Un signal en réponse du VE indique que ce dernier est prêt pour la recharge. Au terme de cette validation mutuelle, la prise mobile et le câble sont mis sous tension et la recharge commence. La régulation de la recharge est gérée par le chargeur embarqué.



Figure III.6 Détail de prise de borne

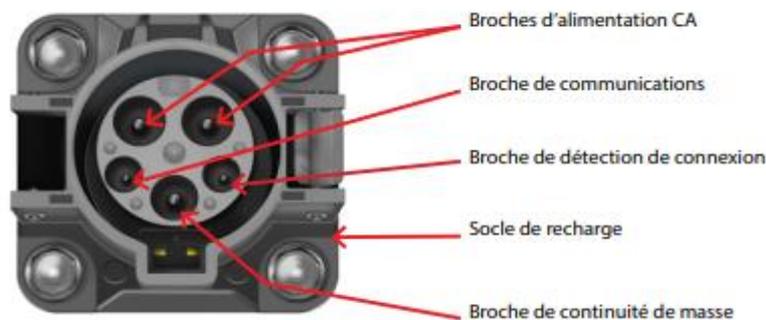


Figure III.7 Détail d'un socle de recharge J1772

➤ **Norme SAE J1772–Recharge rapide en CC**

- Les principales différences que présente la recharge en CC par rapport à la recharge en AC sont l'utilisation d'un chargeur dans la borne au lieu du dispositif embarqué et la puissance de recharge supérieure. La borne fait passer un courant continu directement dans la batterie du véhicule et doit donc adapter la tension et l'intensité du courant de charge aux caractéristiques propres de la norme SAE J1772 prévoit deux niveaux de performance de recharge en CC à l'aide d'un chargeur externe. La recharge en CC de niveau 1 exploite les mêmes broches que la recharge en AC de niveau 2 jusqu'à un maximum de 40 kW. Aucun constructeur n'a adopté cette configuration jusqu'ici, notamment parce qu'elle nécessite des équipements supplémentaires dans le véhicule et dans la borne.

- Quant à la recharge en CC de niveau 2, elle nécessite un connecteur mixte qui exploite les broches de communications et de continuité de masse de la configuration SAE J1772 de base (voir les figures III.6 et 7) et intègre deux broches de puissance supplémentaires qui délivrent directement le courant continu dans la batterie du véhicule en passant par des contacteurs de sécurité. La figure 5 illustre ce connecteur dit «Combo».

**Tableau III.3** Résume les caractéristiques des appareils de niveau 1 et 2

Niveau	Tension (V)	Courant maximale (A)
--------	-------------	----------------------

1	De 200 à 450	80
2	De 200 à 450	200



Figure III.8 Détail d'une prise mobile J1772 «Combo»



Figure III.9 Détail d'un socle de recharge J1772 «Combo»



Figure III.10 Compatibilité du socle de recharge «Combo» avec les prises ordinaire et «Combo»

#### ➤ Fonctionnement d'une borne J1772 «Combo»

Une borne de recharge en CC de niveau 2 SAEJ1772 «Combo», ou borne de recharge rapide, comprend une prise mobile mixte qui exploite les broches de la configuration J1772 de base (recharge en AC) et intègre deux broches de puissance supplémentaires convenant à un courant de 200 A (voir la figure III.8).

Lorsqu'on branche la prise mobile au socle de recharge du VE (voir la figure III.10), cette connexion est détectée par la borne qui envoie au VE un signal indiquant que le circuit de recharge en CC par les broches de grande puissance est établi. Une réponse du VE indique l'état de charge et la tension de la batterie ainsi que le courant que celle-ci est prête à recevoir. Au terme de cette validation mutuelle, le connecteur et le câble sont mis sous tension et la recharge commence. La régulation de la recharge est gérée par le chargeur externe selon les données communiquées par le VE.

### ➤ Norme CHADEMO – Recharge rapide en CC

Le consortium japonais CHAdeMO a élaboré une norme définissant la configuration de la prise mobile (voir la figure III.11) et du socle de recharge (voir la figure III.12) ainsi que le protocole de communications et les capacités des bornes de recharge rapide en CC. Comme dans le cas de la configuration SAE «Combo», la recharge rapide en CC exploite un chargeur intégré dans la borne qui délivre un courant continu directement dans la batterie du véhicule, en adaptant la tension et l'intensité du courant de recharge aux caractéristiques propres du véhicule.

### ➤ Fonctionnement d'une borne CHAdeMO

La borne de recharge en CC de niveau 2 CHAdeMO comprend une prise mobile CHAdeMO de configuration adaptée à la recharge en CC (voir la figure III.11).



*Figure III.11* Détail d'une prise mobile CHAdeMO

Lorsqu'on branche la prise mobile au socle de recharge du VE (voir la figure 9), cette connexion est détectée par la borne qui envoie au VE un signal indiquant que le circuit de recharge en CC est établi. Pendant la recharge, des données sont échangées en continu entre la borne et le véhicule. La régulation de la recharge est gérée par le chargeur externe selon les données communiquées par le VE.

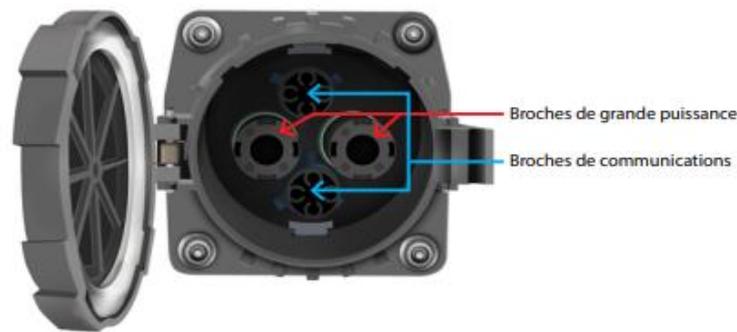


Figure III.12 Détail d'un socle de recharge CHAdeMO

### III.3.3 Choix de la borne et de son emplacement

Puisqu'il est souvent question de bornes privées et de bornes, il est important de définir ces termes [29] :

- Une borne privée est une borne qu'un particulier achète pour son usage individuel.
- Une borne publique est une borne à accès partagé pouvant être installée dans un lieu public ou privé par un organisme public ou une entreprise privée.

Critères de sélection des bornes il existe sur le marché de nombreux modèles de bornes adaptés à différentes utilisations.

La sélection d'une borne doit tenir compte des paramètres suivants :

- La puissance nécessaire (temps de charge, capacité des véhicules, tarification) ;
- Les besoins de communications (contrôle d'accès, système de paiement, assistance...);
- Le nombre de câbles et de prises mobiles (en cas d'accès partagé).

### III.3.4 Installer une borne de rechargement pour voiture électrique

L'installation de borne de recharge à la maison dépend, avant tout, de ses modules de raccordement au réseau électrique. Celle-ci peut être raccordée :

- En monophasé, c'est le cas de la plupart des logements ;
- En triphasé, lorsque le compteur électrique présente une puissance supérieur ou égale à 15kVA.

Pour savoir si une borne monophasée ou triphasée, c'est très simple. Il suffit de regarder le nombre de fils électrique :

- Le compteur monophasé présente une phase et un neutre, soit deux fils conducteur qui partent de boîtier.
  - Le courant triphasé présente quatre fils électriques, à savoir trois phase et un neutre.
- **Avec un branchement monophasé**

Dans une station raccordée en monophasé, en a le choix entre plusieurs types de modèles :

- De 3,3 kW, avec une section de câble minimum de 2.5 mm<sup>2</sup>.
- De 7 kW, avec une section de câble minimum de 10 mm<sup>2</sup>.

Pour bien choisir le point de recharge, il faut prêter attention à la puissance d'abonnement. En effet, c'est celle-ci est trop faible le courant disjonctera. Penser que pour 1kW de puissance de la borne, le compteur doit disposer 1kVA de puissance. Tout simplement, Les puissances d'abonnement existent par multiple de trois, à savoir 3kVA, 6kVA, 9, 12kVA, 15kVA etc. Jusqu'à 30,6kVA. Pour une borne de 3,3 kW, il faut donc bénéficier d'une puissance de 6kVA au minimum. Concernant une borne de 7,4kW, nous devrez avoir une puissance de 9kVA.

### ➤ Avec le branchement triphasé

Pour une station raccordée en triphasé, on choisit les bornes de charge rapide d'une puissance de : 10 kW, 24 kW ou 43 kW.

- 10 kW.
- 24 kW.
- 43 kW

La puissance du compteur électrique pour la recharge doit être supérieure à celle de la borne.

### III.4 Données géographiques de lieu

Le tableau ci-dessous représente la localisation de notre site (El MAIDA, DRAA El GAID-WILAYA DE BEJAIA) :

*Tableau III.4 Données géographiques du lieu*

Caractéristiques	Longitude	Latitude	Altitude(m)
Lieu de Bejaia	5.21353 E	36.45896 N	581



*Figure III.13 Lieu de site étudié*

### III.5 Caractéristique de panneaux photovoltaïque

Pour l'application du système hybride (PV-éolien) proposé sur une maison autonome, en choisissant un site dans la région de Bejaia ayant les coordonnées géographiques citées dans le (tableau III.5). On propose des caractéristiques de panneaux et éolienne suivantes :

*Tableau III.5 Les caractéristiques du panneau photovoltaïque*

Tension maximale ( $V_{mpp}$ )	35.0V
Courant maximale ( $I_{mpp}$ )	8.57A
Tension à circuit ouvert ( $V_{co}$ )	42.48 V
Courant de court-circuit ( $I_{cc}$ )	9.43A
$T_{noct}$	25°C
Dimensions	1995× 992 × 40(mm)

### III.6 Caractéristique de l'éolienne

Les caractéristiques de l'éolienne Heranov sont représentées sur le tableau suivant :

*Tableau III.6 Caractéristiques de l'éolienne utilisée SM-5000W*

Puissance nominale	5kW
Puissance maximale	6kW
Tension nominale	12V, 24V,48V,
Vitesse de démarrage	2.5 m/s
Vitesse de vent maximale	25 m/s
Hauteur du mat porteur	12 m(4 × 3 m)
Durée de vie	25 ans
Diamètre de la roue	6.40 m
Nombre de pale	3

### III.7 Dimensionnement de la station de chargement

#### III.7.1 Détermination des besoins d'utilisateur

L'estimation de l'énergie journalière consommée par les différents équipements du domicile, représentée dans le tableau suivant :

**Tableau III.7** Besoin journalier du site étudié

Type de la charge	Puissance (W)	Nombre d'éléments	Durée d'utilisation(h)	Consommation journalière (Wh/jour)
Lampe	25	8	3	600
Mixeur	200	1	1	200
Télévision	200	1	4	800
Réfrigérateur	100	1	24	2400
Chargeur mobile	5	5	1	25
Micro portable	30	1	3	90
Micro-onde	700	1	1	700
Modem-wifi	5	1	7	35
Radio	6	1	1	6
Machine à laver	300	1	1	300
Moteur de pompe	1500	1	2	3000
Besoin journalier totale	3266			8156

La puissance maximale nécessaire pour satisfaire les besoins de la maison si tous les appareils fonctionnent au même temps est  $\sum P_1 = 3266 \text{ W}$

Le tableau suivant définit la puissance totale demandée par la charge des véhicules supposée :

**Tableau III.8** L'énergie totale estimée par la charge des voitures

Type de la charge	Energie (kWh)	Véhicules	Energie totale (kWh)
Véhicule électrique	13	01	13
Véhicule hybride rechargeable	10.4 + 14	02	24.4
Totale			37.4

L'énergie totale estimée par les véhicules est  $E_{Véh} = 37.400 \text{ kWh}$

• On suppose que l'énergie réactive il va être produite par une batterie de condensateur donc notre dimensionnement il va être basée sur la puissance active.

$$P_{di} = \frac{P_i}{\eta_{con}} \quad (\text{III} - 1)$$

$$P_m = \frac{\sum P_i}{\eta_{ondu} \times \eta_{hach}} = \frac{3266}{0.92 \times 0.9} = 3.944 \text{ kW}$$

Donc la puissance totale demandée par la charge des véhicules est

$$P_{véh} = \frac{E_{Véh}}{t_2} = \frac{37400}{3} = 12.466 \text{ kW}$$

$P_{di}$  : La puissance demandée qui devra réellement transiter par les convertisseurs statiques pour chaque élément

$P_i$  : La puissance active de chaque élément de l'installation

$\eta_{con}$  : Rendement des convertisseurs

$\eta_{ondu}$  : 0.9

$\eta_{hach}$  : 0.92

### III.7.2 Calcul des besoins énergétiques journaliers de l'installation

On obtient l'énergie et la puissance totale :

$$E_{totale} = P_m \times t_1 + E_{Véh,ab} \quad (\text{III} - 2)$$

$$E_m = P_m \times t_1 \quad (\text{III} - 3)$$

$$E_m = [(241.54 \times 3) + (241.54 \times 1) + (241.54 \times 4) + (120.77 \times 24) + (30.19 \times 1) + (36.23 \times 3) + (845.41 \times 1) + (6.03 \times 7) + (7.24 \times 1) + (362.31 \times 1) + (1811.59 \times 2)]$$

$$E_m = 9.850 \text{ kWh}$$

L'énergie réellement absorbée par les véhicules est :

$$E_{Véh,ab} = \frac{E_{Véh}}{\eta_{hach}} \quad (\text{III} - 4)$$

$$E_{Véh,ab} = \frac{37400}{0.92} = 40.652 \text{ kWh}$$

Donc ;

$$E_{totale} = E_m + E_{Véh,ab} = 9.850 + 40.652 = 50.502 \text{ kWh}$$

La consommation d'énergie électrique totale de la station est  $E_{totale} = 50.502 \text{ kWh/jour}$

$t_1$  : La durée d'utilisation.

$t_2$  : La durée de chargement des véhicules

La puissance de la charge est :

$$P_{ch} = P_m + P_{véh} \quad (\text{III} - 5)$$

$$P_{ch} = 3.266 + 12.466 = 15.732 \text{ kW}$$

### III.8 Dimensionnement du système hybride

Dans une installation hybride, le concepteur du système doit associer les sources d'énergie et les moyens de stockage de manière à satisfaire deux objectifs :

- Assurer la continuité de production pour couvrir le besoin de la consommation.
- Garantir le coût minimal de l'énergie consommée par les utilisateurs.

Pour le dimensionnement, il s'agit de déterminer la puissance et la capacité des différents composants. Pour éviter le manque d'énergie et satisfaire la charge à tout moment. Ce dimensionnement dépend des conditions météorologiques du lieu d'installation.

En effet, nous devons faire un dimensionnement de chaque élément en termes de puissance et de capacité afin d'assurer une alimentation permanente de la charge, tout en obtenant une énergie à moindre coût.

### III.8.1 Dimensionnement du générateur photovoltaïque

Il consiste à déterminer le nombre de modules photovoltaïques nécessaires à répondre au besoin journalier d'une structure énergétivore, tout en tenant compte des variations climatiques temporaires ainsi la surface disponible au montage des modules.

#### III.8.1.1 Choix de la tension de fonctionnement ( $V_{ch}$ )

Le choix de la tension nominale d'un système dépend de la disponibilité de matériels, il dépend aussi des niveaux de puissance et de l'énergie nécessaire selon le type d'application.

Il faut déterminer la tension de stockage de l'énergie solaire : 12V, 24V, 48V. La règle du jeu pour cela est assez simple : plus on utilise d'énergie, plus on doit utiliser une tension élevée. [33].

Le tableau suivant permet de définir la tension de fonctionnement :

**Tableau III.9** Les tensions du système pour à chaque intervalle de puissance crête [29]

Puissance crête $W_c$	0 – 500W <sub>c</sub>	500W <sub>c</sub> – 2kW	2 – 10KW <sub>c</sub>	> 10kW <sub>c</sub>
Tension de système (V)	12 V <sub>DC</sub>	24V <sub>DC</sub>	48V <sub>DC</sub>	>48V <sub>DC</sub>

#### III.8.1.2 Orientation et inclinaison des modules

La position des modules photovoltaïques par rapport au rayonnement solaire influence directement sur leur production énergétique. Il est important de bien placer les panneaux pour les utiliser au maximum de leurs possibilités. L'orientation est le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (sud, nord, sud-ouest,...).

Quant à l'inclinaison, elle indique l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal et se compte en degrés.

L'orientation idéale d'un panneau photovoltaïque obéit à une règle qui consiste à l'orienter vers l'équateur.

Ce qui donne l'orientation vers :

- Le sud dans l'hémisphère nord.
- Le nord dans l'hémisphère sud.

En ce qui concerne l'inclinaison, on tiendra compte de la période de l'année la moins ensoleillée pour optimiser la production de l'énergie.

Cette inclinaison va être fixée par la latitude et la périodicité de l'inclinaison.

- Dans le site à l'étudier (Bejaia) la position des modules sera comme suit :
- Orientation des panneaux : plein sud.
- L'inclinaison ( $45^\circ$ ).

Le tableau III.9 suivant indique la relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux solaires.

**Tableau III.10** Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux solaires

Latitude	Inclinaison
$\varphi < 10^\circ$	$\alpha = 10^\circ$
$10^\circ < \varphi < 30^\circ$	$\alpha = \varphi$
$30^\circ < \varphi < 40^\circ$	$\alpha = \varphi + 10^\circ$
$\varphi > 40^\circ$	$\alpha = \varphi + 15^\circ$

Avec :

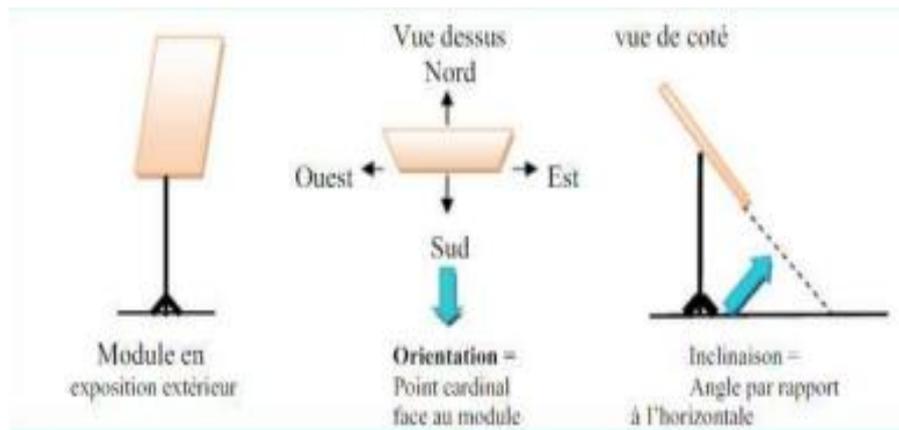
$\varphi$  : La latitude du lieu (Selon les données fournies par Google, la latitude de notre site est  $\varphi \approx 36.45^\circ$ ).

$\alpha$  : L'inclinaison.

Dans le site à l'étudier (Bejaia) la position des modules sera comme suit :

- Orientation des panneaux : plein sud.
- L'inclinaison est :  $\alpha = 36.45 + 10 \approx 45^\circ$

La figure suivante donne l'orientation et l'inclinaison des modules.



**Figure III.14** Illustration de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau

### III.8.1.3 Donnée météorologiques

La conception des systèmes photovoltaïques nécessite la connaissance du rayonnement solaire utile sur le site d'installation. Cette connaissance est un des paramètres essentiels de l'étude préalable dans le plan des panneaux solaires. Pour un besoin électrique

donné, plus l'énergie solaire reçue est grande moins on a des panneaux solaires à installer et inversement [30].

### III.8.1.4 Chiffrage de l'énergie solaire récupérable selon l'emplacement et la situation géographique et climatique

$$E_{pv} = E_{totale} \times f \quad (III - 6)$$

$$E_{pv} = 50.502 \times 0.6 = 30.301 \text{ kWh}$$

En a  $f$  est la fraction de la charge alimentée par la source photovoltaïque est égale à 0.6

$E_{pv}$  : L'énergie produit par le générateur photovoltaïque.

$E_{totale}$  : L'énergie électrique totale qui doit être produite (kWh/jour).

### III.8.1.5 Calculer la puissance qui doit produire l'installation photovoltaïque ( $P_{prod}$ )

$$P_{prod} = \frac{E_{pv}}{N_e} \quad (III - 7)$$

$$P_{prod} = \frac{30.301}{5.2} = 5.827 \text{ kW}$$

$N_e$  : Le nombre d'heures équivalent d'ensoleillement en conditions standards (l'éclairement égal à 1000 W/m<sup>2</sup> et la température ambiante 25°C) du site (la région de Bejaia) est 5.2h.

### III.8.1.6 Calcule de la puissance installée ( $P_{inst}$ )

$$P_{inst} = \frac{P_{prod}}{K_p} \quad (III - 8)$$

$$P_{inst} = \frac{5.827}{0.75} = 7.769 \text{ kWc}$$

$K_p$  : Coefficient correctif global qui tient compte de : l'incertitude météorologique (de l'ordre de  $\pm 5\%$ ), l'encrassement des modules dans le temps (de l'ordre de  $5\%$ ), l'intégrale de la traversée du vitrage du module sous tous les angles (de l'ordre de  $5\%$ ), vieillissement des modules (de l'ordre de  $5\%$ ), la dispersion des caractéristiques des modules lorsqu'ils sont montés en série (de l'ordre de  $5\%$ ) et le rendement faradique de la batterie (perte de l'ordre de  $10\%$ ).

On prend par estimation un coefficient correctif global  $K_p = 0.75$

Soit  $V_{ch}$  la tension de fonctionnement de l'installation, les modules disponibles sont de puissance crête  $P_c$  et de tension nominale  $V_n$ .

### III.8.1.7 Le nombre de module pour fournir la puissance de l'installation

$$N_m = \frac{P_{inst}}{P_c} \quad (III - 9)$$

$$N_m = \frac{7.769}{300} \approx 26 \text{ panneaux}$$

#### A) Détermination du nombre de modules en série

Le nombre de modules en série peut être calculé par la formule suivant :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_n} \quad (\text{III} - 10)$$

$$N_s = \frac{230}{35} \approx 7$$

$N_s$  : Nombre de module en série est 7.

### B) Détermination du nombre de modules en parallèle

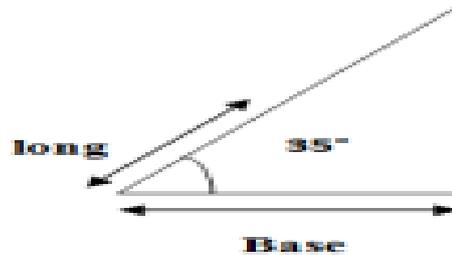
Le nombre de modules en parallèle peut être calculé par la formule suivant :

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} \quad (\text{III} - 11)$$

$$N_p = \frac{26}{7} \approx 4$$

Le nombre de modules en parallèle est 4. Donc le nombre total de panneaux sera 28.

#### III.8.1.8 La surface de champ



*Figure III.15 Présentation des dimensions du champ photovoltaïque*

La surface du champ PV utile est donnée par les dimensions réelles des panneaux et le nombre de panneaux : (Dimensions du PV est : longueur = 1995 mm, largeur = 992).

$$S = Larg \times N_p \times (Long \times N_s \times \cos 35^\circ) \quad (\text{III} - 12)$$

$$S = 992 \times 4 \times (1995 \times 7 \times 0.82) = 45438758.4 \text{mm}^2 = 45.43 \text{m}^2$$

#### III.8.2 Dimensionnement de stockage

Le dimensionnement du stockage des batteries requiert une attention particulière afin d'augmenter sa durée de vie et par la même occasion assurer l'autonomie du système et diminuer le coût global du système.

La capacité des batteries de stockage est déterminée à partir de la charge maximale demandée

$$C_{batt} = \frac{E_{totale} \times N_a}{\eta_B \times U_B \times P_{Dm}} \quad (\text{III} - 13)$$

$$C_{batt} = \frac{55502 \times 1}{0.8 \times 48 \times 0.9} = 1461 \text{ Ah}$$

$C_{batt}$  : Capacité des batteries (Ah).

$N_a$  : Nombre de jours d'autonomie (1jour).

$U_B$  : Tension de batterie (V)

$P_{Dm}$  : La profondeur maximale de décharge de la batterie (pour la batterie à décharge profonde  $P_{Dm}$  maximale est de 80%).

$\eta_B$  : Le rendement de batterie 90%.

### A) Le nombre de batterie

Pour déterminer le nombre des batteries constituant le stock, nous avons sélectionné une batterie élémentaire ayant une capacité et une tension nominale de 400Ah et 48V, le courant maximal est 400A, en supposons il peut se décharger pendant une heure.

L'équation (III.14) donne le calcul du nombre de batteries qui doit être connecté en parallèle pour atteindre les ampères heures requis par le système :

$$N_B = \frac{C_{batt}}{C_{bat,u}} \quad (III - 14)$$

$$N_B = \frac{1461}{400} \approx 4$$

$N_B$ : Le nombre des batteries totales est 4 (en série).

### III.8.3 Dimensionnement de Hacheur BUCK-BOOST

Un convertisseur (hacheur) BUCK-BOOST est une alimentation à découpage qui convertit une tension continu délivrée par les panneaux du système PV en une tension continue de plus faible ou grande valeur (Commande MPPT).

Pour notre installation, nous choisissons un hacheur de caractéristiques suivant :

Rendement 92%.

Tension d'entrée 0-250V.

Tension de sortie : 0-250V.

### III.8.4 Choix de régulateur

Un régulateur de charge fait en sorte que la batterie soit bien chargée et la protège contre la surcharge, mais il ne gère pas les problèmes de décharge éventuels. Ce type de régulateur est donc généralement suffisant dans les cas où il n'y a pas de risque de décharge accidentelle. Un régulateur charge-décharge est très souvent requis pour les applications domestiques, car les utilisateurs peuvent dépasser les consommations prévues. Il est alors utile de couper l'utilisation d'une partie au moins des récepteurs pour permettre à la batterie de se recharger.

#### III.8.4.1 Dimensionnement de contrôleur MPPT

On a choisi un régulateur pour tout le champ photovoltaïque de type VICTRON Smart-Solaire MPPT 250/60-Tr.



*Figure III.16 Le régulateur VICTRON smart Solaire MPPT 250/60 -Tr*

Le régulateur est capable de supporter un courant de 60 A.

Le régulateur possède en général plusieurs caractéristiques techniques :

- Protection contre les inversions de polarités (panneau solaire ou batterie).
- Diode anti-retour intégré (évite le retour du courant vers le générateur).
- Fonction alarme tension en cas de tension de batterie trop basse.
- Visualisation des états de charge par LEDs.
- Protection contre la foudre, les court -circuit.
- Afficheur de la tension de la batterie et des courants de charge et de décharge.

L'emploi d'un convertisseur MPPT peut être envisagé dans les cas suivant :

- Excursion de température très élevée au cours de l'utilisation (grandes différences été-hiver, ou matin-après-midi).
- Tension d'utilisation très variable, (par exemple, une batterie fortement cyclée).
- Adaptation à la tension utilisateur. Par exemple, le couplage direct d'une pompe, sans batterie-tampon.
- Champ PV de tension bien supérieure à la tension d'utilisation (d'un facteur 2 ou 3), pour réduire les coûts de câblage (section des conducteurs) et les pertes ohmiques [31].

### **III.8.5 Dimensionnement de l'onduleur**

L'onduleur est un convertisseur statique DC/AC de haute performance. Il convertit la tension continue, en tension alternative contrôlée de façon très précise. La source de tension continue peut-être soit un aérogénérateur, des panneaux solaires ou des batteries. Pour notre système il faut choisi un onduleur qui convient avec les propriétés suivantes :

- La puissance de 4230 W
- La tension du consommateur (tension de sortie) 220/230 VAC.
- La fréquence de la charge 50Hz.
- Rendement 90%

L'onduleur choisit est de marque (Victron energy - BLEU POWER) type Phoenix 5000 VA (4500 W) qui montré dans la figure suivant :



*Figure III.17 Un onduleur de marque (victron energy - BLEU POWER) type Phoenix /5000VA (4500W)*

### III.8.6 Dimensionnement des câbles

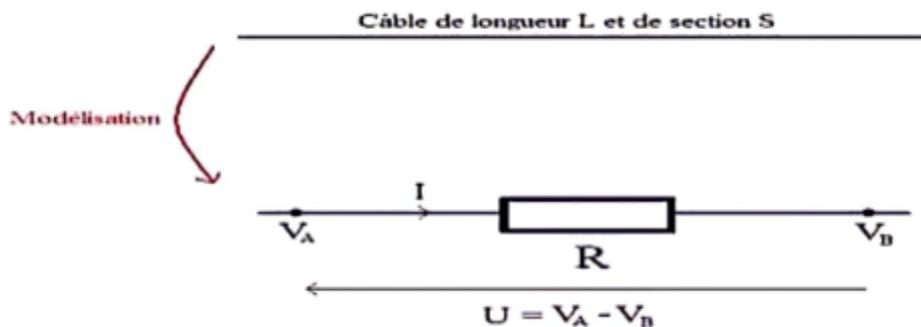
Lors de la phase de définition du système, on doit aussi se préoccuper du câblage, afin d'assurer une certaine cohérence. En effet, les chutes de tension dans les câbles peuvent être très pénalisantes. Il est nécessaire de constituer un plan électrique global de l'installation avant de calculer toutes les sections des câbles. Il faut également avoir une idée assez précise de l'implantation physique des composants pour réduire les distances entre les composants du système hybride. [32]

Pour assurer le transport de l'énergie on ne peut pas utiliser n'importe quel câble électrique. Les câbles sont étudiés pour résister aux conditions spéciales liées à leur utilisation. Ils sont les seuls à pouvoir assurer une longue durée de vie (supérieure à 30 ans) tout en minimisant les pertes d'énergie.

Les câbles doivent être soigneusement choisis pour éviter des pertes de puissance trop importantes. Elles doivent pouvoir fonctionner à températures de  $-20^{\circ}\text{C}$  à  $80^{\circ}\text{C}$ . Tout cela en restant souples et maniables. Ils sont équipés dans la majorité des cas d'une double isolation et ne possèdent pas de substances inflammables ou toxiques (halogène) ce qui accroît leur sécurité. [33].

#### A) Choix des sections de câble

La figure suivante présente une modélisation d'un câble électrique.



*Figure III.18 Modélisation d'un câble électrique*

La résistance du câble, définie ci-dessus, va provoquer une chute de potentiel entre le départ du câble et sa fin.

En effet :

$$U = VA - VB = R \times I \quad (\text{III} - 17)$$

Ainsi, si le câble est un parfait conducteur alors  $R = 0 \Omega$  et  $U = 0V$  soit :  $VA = VB$ . Mais  $R > 0$  pour un câble réel, on a  $VA > VB$ , ce qui correspond à une chute de potentiel. On parle communément de chute de tension, mais en réalité il s'agit d'une chute de potentiel (car la tension est une différence de potentiel). Cette chute de tension conduit à une dissipation d'énergie par effet joule (le câble va chauffer).

Résistance des câbles électriques :

La résistance d'un câble électrique ne dépend ni de la tension ni de l'intensité du courant qui le traverse, mais dépend de la résistivité ( $\rho$ ) du matériau utilisé (cuivre, argent, fer, ...), de la longueur du câble, de sa section, et de la température. Le cuivre est de loin le conducteur le plus utilisé, et sa résistivité oscille entre  $1.6 \times 10^{-8}$  à  $0^\circ\text{C}$  et  $1.7 \times 10^{-8}$  à  $25^\circ\text{C}$ . L'équation permettant de connaître la résistance est la suivante :

$$R = \rho \times \frac{L}{S} \quad (\text{III} - 18)$$

$R$ : Résistances du câble (Ohm).

Les guides (UTE C15-712), (NF C 15-100) aux installations photovoltaïques, éoliennes indiquent que la chute de tension autorisée dans la partie DC devra être inférieure à 3%, idéalement 1% de la tension d'utilisation. Cela signifie :

$$\frac{V_A - V_B}{V_B} = < 0.03 \quad (\text{III} - 19)$$

Notons  $\varepsilon$  (%) la chute de tension admissible ;

$$\varepsilon = \frac{V_A - V_B}{V_B}$$

Donc :

$$\varepsilon = \frac{U}{V_A} = \frac{R \times I}{V_A} = \frac{\rho \times L \times I}{S \times V_A} \quad (\text{III} - 20)$$

Dans la pratique, la longueur des câbles est connue. Dès lors, on calcule la section de ces câbles sous la contrainte d'une chute de tension maximale de 3%. Ainsi, la section des câbles se calcule par la formule suivante :

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\varepsilon \times V_A} \quad (\text{III} - 21)$$

$S$  : La section de conducteur ( $\text{mm}^2$ ).

$\rho$  : La résistivité du matériau conducteur, conducteurs en cuivre ( $\rho = 1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ).

$L$  : La longueur totale (aller-retour) en (m).

$I$  : Le courant

$\varepsilon$ : Chute de tension.

### B) Calcul des sections des câbles

On va appliquer sur quelques exemples.

L1 : longueur du câble entre le boîtier de raccordement et le régulateur MPPT est 20 mètres ;

$$S_1 = \frac{1.7 \times 10^{-8} \times 20 \times 33.8}{0.03 \times 230} = 1.66 \text{ mm}^2$$

L2 : longueur du câble entre le boîtier et les batteries est 5 m :

$$S_2 = \frac{1.7 \times 10^{-8} \times 5 \times 800}{0.03 \times 230} = 9.85 \text{ mm}^2$$

L3 : longueur du câble entre le bus continu et l'onduleur est : 5m.

$$S_3 = \frac{1.7 \times 10^{-8} \times 5 \times 17.15}{0.03 \times 230} = 0.21 \text{ mm}^2$$

Avec ;

$$I = \frac{3944}{230} = 17.15$$

On prend des sections moyenne ;

$$S_1 = 2.5 \text{ mm}^2, S_2 = 10 \text{ mm}^2, S_3 = 1.5 \text{ mm}^2$$

### III.8.7 Dimensionnement de générateur éolien

#### A) L'énergie produite par le générateur éolien

L'énergie totale produite par le GPV et le générateur éolien pour alimenter la charge est donnée par :

$$E_{totale} = E_{pv} + E_{éol} \quad (\text{III} - 22)$$

Avec :

$$E_{éol} = E_{totale} \times (1 - f) \quad (\text{III} - 23)$$

Où :

$$E_{éol} = 50502 \times (1 - 0.6) = 20.200 \text{ kWh}$$

#### B) La puissance qui doit être produite par l'éolienne

$$P_{éol} = \frac{E_{éol}}{\Delta t} \quad (\text{III} - 24)$$

$$P_{éol} = \frac{20.200}{6} = 3.366 \text{ kW}$$

$\Delta t$  : La durée moyenne d'existence du vent pendant une journée est 6h.

### C) Détermination de nombre d'éoliennes

$$N_{\text{éol}} = \frac{P_{\text{éol}}}{P_{\text{éol},u}} \quad (\text{III} - 25)$$

$$N_{\text{éol}} = \frac{3.366}{5000} \approx 1$$

Donc le nombre d'éoliennes est 01.

$P_{\text{éol},u}$  : La puissance moyenne unitaire d'éolienne est 5 kW

### III.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons effectué un dimensionnement du système global pour assurer une alimentation qui devra être permanente et efficace pour le logement et la station de chargement.

Pour un besoin énergétique de 50502 kWh/jour, on aura à installer :

- Un champ photovoltaïque de puissance égale à de 7769Wc constitué de 28 modules de 300Wc chacun, dont 7 modules en série avec 4 modules en parallèles.
- Un pack de 4 batteries de lithium-ion de 400 Ah et 48 Volt chacune.
- Un régulateur série de 60A comme courant d'entrée et montés en parallèle.
- Un onduleur remplissant les caractéristiques suivantes : la tension de bus continue à, l'entrée de 230 V, celle de sortie de 230, la fréquence de 50 Hz et une puissance de 5kVA.

Dans le chapitre qui suit on va parler sur la gestion et la protection de système hybride.

## **Chapitre IV : Protection et gestion de l'énergie du système hybride (photovoltaïque-éolien-batterie)**

### IV.1 Introduction

Dans ce chapitre nous proposons la gestion de l'énergie pour un système hybride constitué de deux sources d'énergie, photovoltaïque et éolienne qui sont reliées au bus CC.

L'objectif principal de notre étude est la gestion de l'énergie du système hybride photovoltaïque-éolien.

Le gestionnaire d'énergie détermine la puissance de réglage fournie par les différentes sources à partir de la puissance demandée par la charge, nous souhaitons satisfaire la demande de la charge, pour cela un algorithme permettant de commander le système de gestion hybride sera présenté.

On propose la gestion de l'énergie du système hybride constitué d'une éolienne de 5kW maximum et de 28 panneaux photovoltaïques de 300Wc et un système de stockage constitué de 4 batteries de lithium-ion.

Dans le but d'assurer une alimentation électrique ininterrompue, il est également important de mettre en place une protection efficace sur la station.

### IV.2 Modèle de bus continu

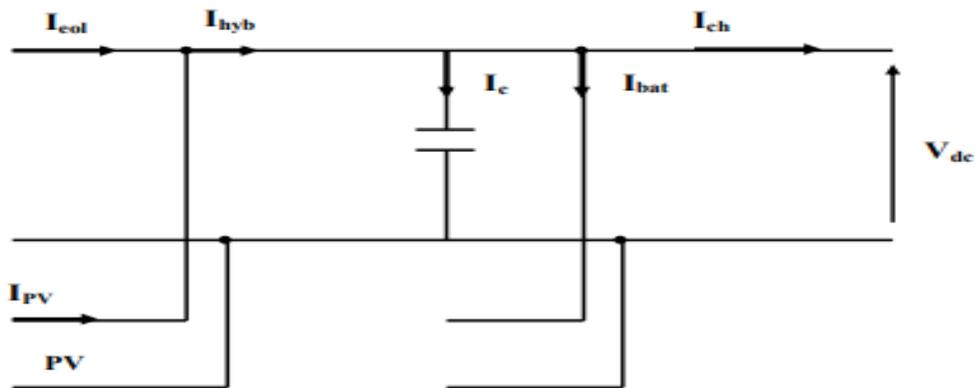


Figure IV.1 Schéma du bus continu

D'après la figure (IV.1), on a :

$$I_{hyb} = I_{eol} + I_{pv} \quad (IV - 1)$$

$$I_{ch} = I_{hyb} - I_c - I_s \quad (IV - 2)$$

Avec ;

$$I_c = c \frac{dV_{dc}}{dt} \quad (IV - 3)$$

Donc la tension du bus continu est égale à :

$$V_{dc} = \int \frac{1}{c} \times I_c \times dt \quad (IV - 4)$$

$I_{pv}$  : Courant fournie par le générateur photovoltaïque [A].

$I_{éol}$  : Courant fourni par le système éolien après redressement [A].

$I_c$  : Courant qui traverse la capacité [A].

$I_{hyb}$  : Courant produit par le système hybride éolien-PV [A].

$I_{batt}$  : Courant de batterie [A].

Il est important de fixer la tension du bus continu pour assurer le fonctionnement correct des sources qui lui sont attachés.

### IV.3 Gestion d'énergie du système hybride

Un système de gestion est important pour gérer le flux de puissance entre les composants du système, à travers un algorithme qui permet de superviser le système hybride. Le système hybride constitué d'une chaîne photovoltaïque et une chaîne éolienne alimentant une charge. Le surplus d'énergie sert à charger les batteries qui constituent le système de stockage. L'énergie emmagasinée dans les batteries va servir à compenser le manque au niveau de la charge, dans le cas où l'énergie produite par la source photovoltaïque et éolienne ne satisfait pas cette dernière.

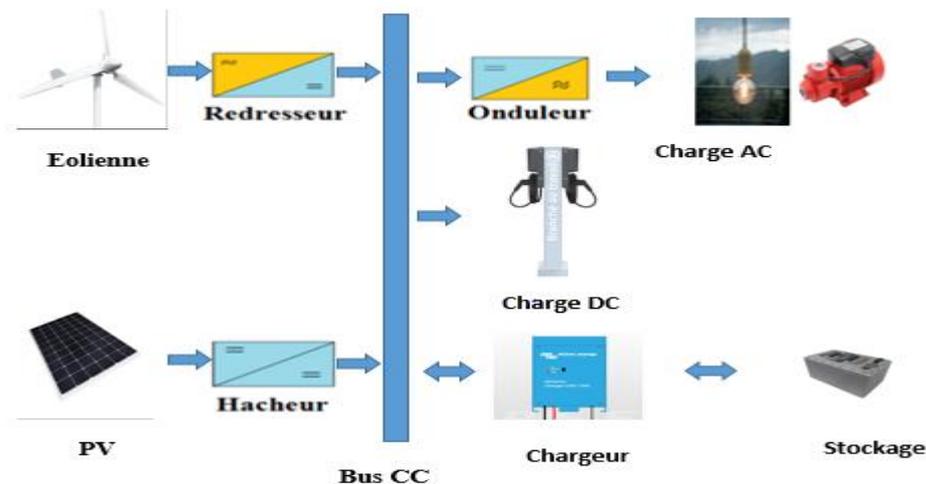


Figure IV. 2 Structure de système étudié

Le bus continu assure le couplage entre les sources d'énergie, les batteries et la charge, le bus continu est composé d'une capacité, qui a pour but de filtrer la tension de telle sorte que chaque convertisseur statique relié avec lui exerce une influence par le courant.

#### IV.3.1 Les différents modes possibles

Il y a sept modes différents :

**Mode 01 :**

- Si la puissance hybride égale à la puissance demandée par la charge. Dans ce cas, les batteries sont déconnectées et la charge est alimentée.

**Mode 02 :**

- Si la puissance hybride est supérieure à la puissance de la charge, et si le  $EDC \geq EDC_{max}$  (les batteries complètement chargées), la charge sera alimentée et le surplus de puissance est dirigé vers une batterie supplémentaire, et la batterie est déconnectée de la charge.

**Mode 03 :**

- Si la puissance hybride est supérieure à la puissance de charge, si le  $EDC < EDC_{max}$  dans ce cas, on alimente la charge et le surplus sert à charger les batteries.

**Mode 04 :**

- Si la puissance hybride est inférieure à la puissance de la charge, et si le ;  $EDC > EDC_{min}$  (batteries chargées) donc le manque de puissance est compensé par les batteries.

**Mode 05 :**

- Si la puissance hybride est inférieure à la puissance de la charge, et si le ;  $EDC < EDC_{min}$  dans ce cas une partie de la charge va être déconnectée.

**Mode 06 :**

- Dans ce cas, la puissance de charge est nulle, la puissance hybride produite est supérieure à 0,  $EDC_{batt} \geq EDC_{max}$  (batteries chargées), donc la charge et les batteries sont déconnectées et le surplus est envoyé vers les auxiliaires.

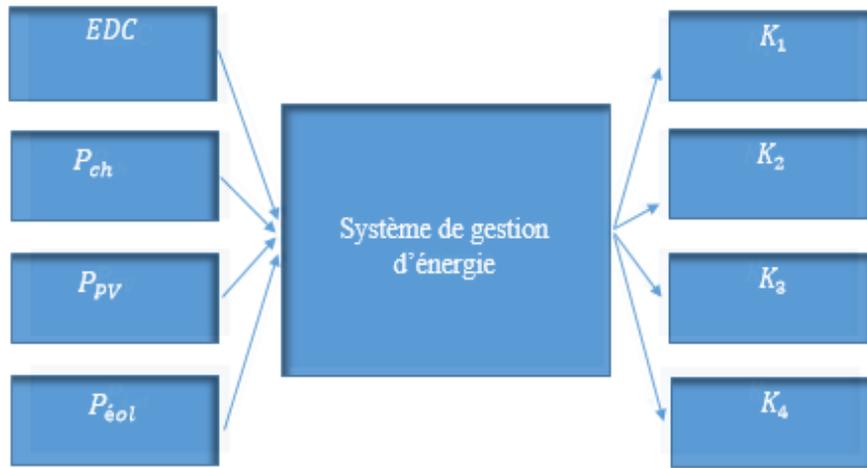
**Mode 07 :**

- Dans ce mode, la puissance de charge est nulle, la puissance hybride produite est supérieure à 0 et  $EDC_{batt} < EDC_{max}$ , charger les batteries et déconnecter la charge.

### IV.3.2 Déroulement du programme de gestion

Tout d'abord, nous comparons la puissance hybride générée par les deux sources (PV-éolien) par rapport à la puissance de charge, si elles sont égales donc, la charge est alimentée. Si ce n'est pas le cas, en vérifiant si la puissance produite est supérieure à celle de charge et est-ce que le  $EDC$  de la batterie est supérieur ou égale au  $EDC_{max} = 90\%$  ? Dans ce cas, on alimente la charge, on déconnecte la batterie pour éviter sa surcharge et le surplus d'énergie sera injecté sur une charge dérivative auxiliaires (batterie supplémentaire).

Si la puissance conçue est inférieure à la puissance de charge, cette fois-ci, on contrôle si  $EDC_{min}$  de la batterie est supérieur à 30%, il y aura une compensation pour satisfaire la charge, si non, déconnecter une partie de la charge (en gardant une charge qui correspond à la puissance générée par les sources) et déconnecter la batterie. Si la puissance de charge est nulle et la batterie est chargée, donc, la puissance hybride produite est injectée sur la charge dérivative.



**Figure IV.3** Les entrées et sorties de la gestion du système hybride

Le tableau IV.1 ci-dessous résume les différents modes existants.

**Tableau IV.1** Représentant les différents modes et l'état des interrupteurs

Modes	$P_{ch}$	Etat interrupteurs
Mode 1	$P_{hyb} = P_{ch}$	$K_1 = 1 \quad K_2 = 1 \quad K_3 = 0 \quad K_4 = 0$
Mode 2	$P_{hyb} > P_{ch}, EDC \geq EDC_{max}$	$K_1 = 1 \quad K_2 = 1 \quad K_3 = 0 \quad K_4 = 1$
Mode 3	$P_{hyb} > P_{ch}, EDC < EDC_{max}$	$K_1 = 1 \quad K_2 = 1 \quad K_3 = 1 \quad K_4 = 0$
Mode 4	$P_{hyb} < P_{ch}, EDC > EDC_{min}$	$K_1 = 1 \quad K_2 = 1 \quad K_3 = -1 \quad K_4 = 0$
Mode 5	$P_{hyb} < P_{ch}, EDC < EDC_{min}$	$K_1 = 1, k_2 = 0.5, k_3 = 0, k_4 = 0$
Mode 6	$P_{ch} = 0, P_{hyb} > 0, EDC_{batt} \geq EDC_{max}$	$K_4 = 1, K_1 = 1, K_2 = 0, K_3 = 0$
Mode 7	$P_{ch} = 0, P_{hyb} > 0, EDC_{batt} < EDC_{max}$	$K_4 = 0, K_1 = 1, K_2 = 0, K_3 = 1$

$K_1$  : Interrupteur pour commander la connexion de la branche de flux d'énergie hybride (photovoltaïque et éolienne).

$K_2$  : Interrupteur pour commander la connexion de la charge (à titre indicatif en utilise la notion  $k_2 = 0.5$  pour exprimer le cas de déconnexion d'une partie de la charge).

$K_3$  : Interrupteur pour commander le chargement des batteries (à titre indicatif en utilise la notion  $k_3 = -1$  pour exprimer le cas de déchargement de la batterie).

$K_4$  : Interrupteur pour commander l'alimentation des auxiliaires.

### IV.3.3 Organigramme de gestion énergétique

Un algorithme de gestion est proposé pour examiner l'échange d'énergie entre les différents éléments du système global :

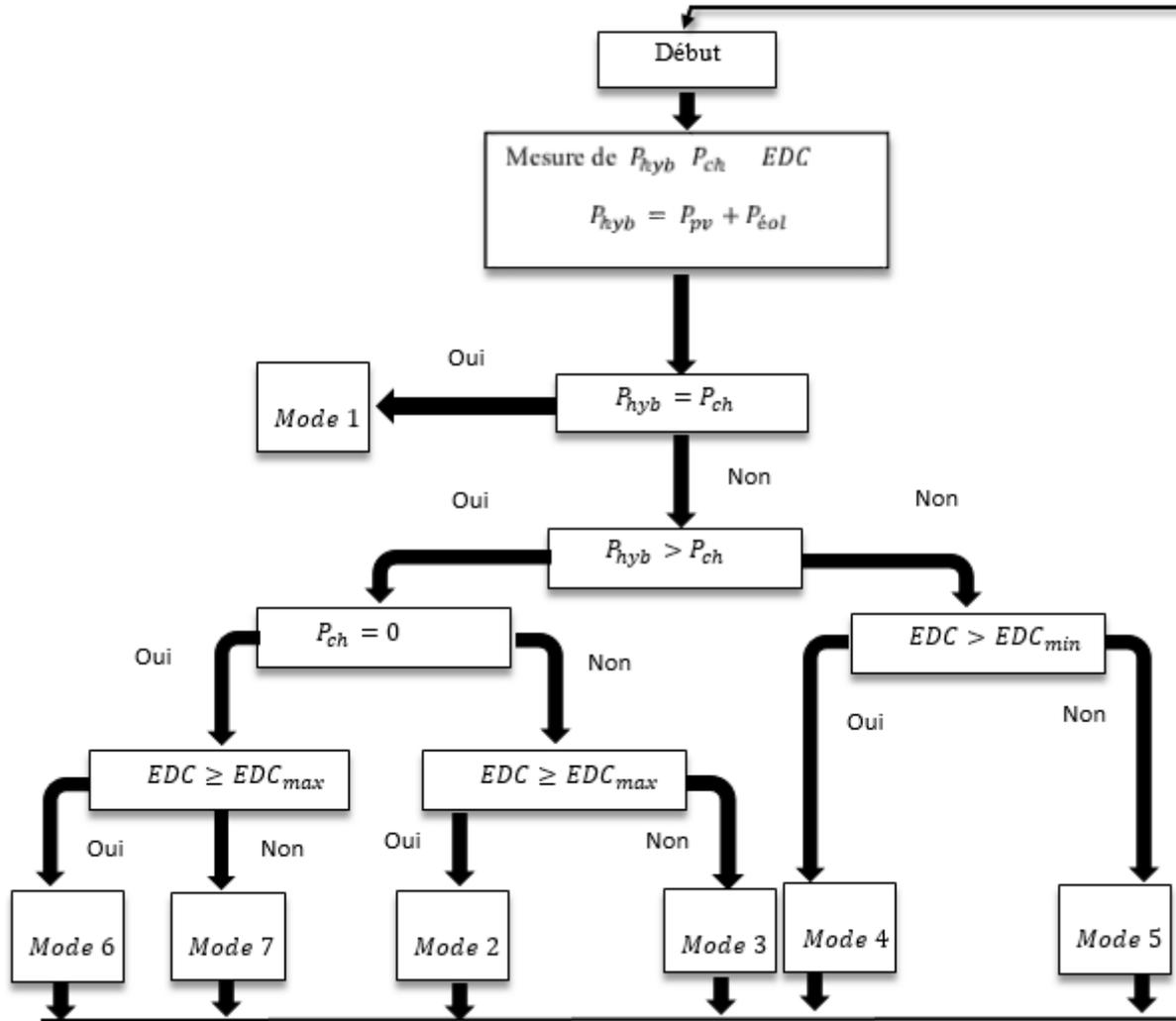


Figure IV.4 Organigramme de gestion de puissance

#### IV.4 Protection de système hybride

Dans les systèmes énergétiques en générale plusieurs dispositifs de protection sont utilisés pour assurer la disponibilité et la fiabilité des différents composants de système. Parmi ces dispositifs en peuvent citer :

##### IV.4.1 Parafoudre

Le parafoudre ou « suppresser de surtension » va protéger le système contre les surtensions d'origine atmosphérique comme la foudre, en dérivant le courant de surtension vers la mise à la terre. Il est habituellement placé après le panneau, dans la boîte de jonction, pour dissiper le surplus d'énergie et écrêter les hausses de tension. Dans le cas hybride il sera aussi placé dans la boîte de jonction associée à l'éolienne.

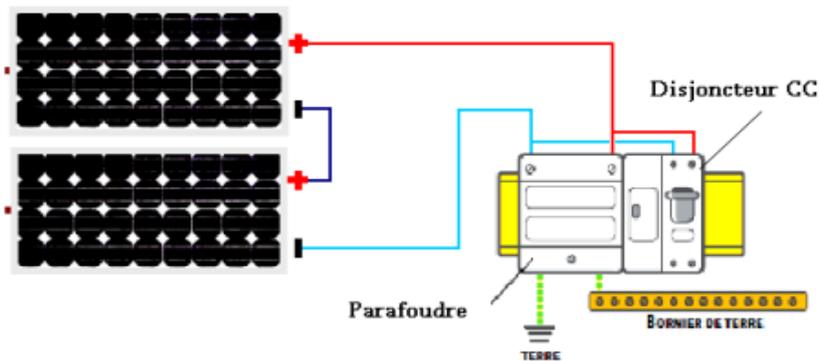


Figure IV.5 Position du parafoudre dans le système d'énergie hybride

Les générateurs photovoltaïques sont protégés pour garantir la durée de vie d'une installation photovoltaïque destinée à produire de l'énergie électrique sur des années, des protections électriques doivent être ajoutées aux modules PV afin d'éviter des pannes. Deux types de protection sont généralement indispensables au bon fonctionnement d'un module photovoltaïque :

La protection par diodes parallèles (ou by-pass) a pour but de protéger une série de cellules dans le cas d'un déséquilibre lié à la défectuosité d'une ou plusieurs des cellules de cette série ou d'un ombrage sur certaines cellules parallèles.

La diode série placée entre le module et la batterie empêche pendant l'obscurité le retour de courant vers le module. Elle est dans ce cas appelée encore diode anti-retour.

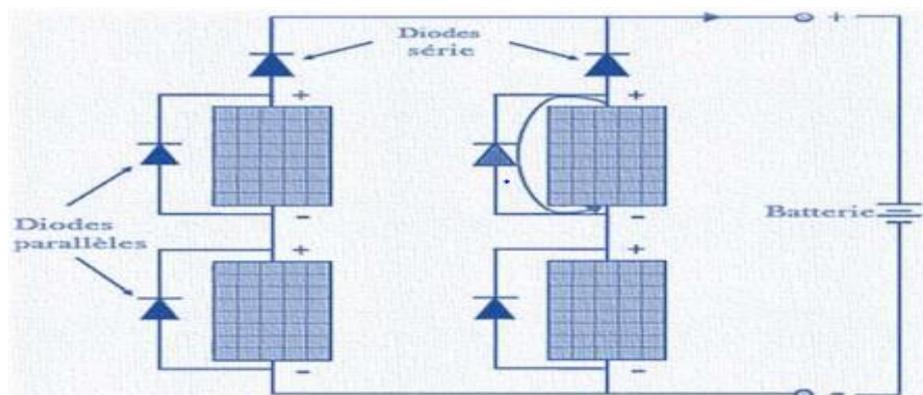


Figure IV.6 Panneaux photovoltaïque

#### IV.4.2 Moniteur de batterie

Il affiche les valeurs de tension, de courant, et de capacité en ampère-heure de la batterie afin de vérifier et de contrôler son état.

#### IV.4.3 Chargeur de batterie

Le rôle de cet appareil est de contrôler et réguler la charge de la batterie.

#### IV.4.4 Sectionneur

C'est un interrupteur d'arrêt qui est placé après l'éolienne. Il a pour rôle d'isoler tout le système de l'éolienne, de façon à permettre l'entretien ou la réparation des équipements électriques. Il va assurer aussi la protection contre les surintensités dues à des défauts électriques.

### IV.4.5 Disjoncteur de protection

C'est un disjoncteur à courant continu qui est installé entre le panneau photovoltaïque et le régulateur pour isoler et protéger le système lors de la maintenance du panneau ou quand survient un défaut électrique. Il doit pouvoir supporter le courant de court-circuit et la tension ouverte du panneau ou du champ PV.

### IV.4.6 Régulateur charge/décharge

Il est installé entre la batterie et le panneau Photovoltaïque ; il sert à contrôler le courant qui rentre ou qui sort de la batterie afin d'éviter qu'elle ne soit endommagée par un excès de charge ou de décharge.

### IV.4.7 Disjoncteur CC

C'est un disjoncteur à courant continu qui est installé entre la batterie et l'onduleur pour isoler et protéger le circuit batterie onduleur contre des défauts électriques. Il est indispensable lorsque l'onduleur n'est pas lui-même équipé d'une protection à basse tension. On peut cependant utiliser à la place du disjoncteur, un fusible branché sur le conducteur non mis à la terre. Tous ces dispositifs doivent être conformes aux normes et aux codes en vigueur pour les installations CC et AC.

## IV.5 Protection de l'installation électrique BT

La protection électrique est destinée à éviter tous les dangers et dégâts inhérents aux risques électriques pour les installations, les récepteurs et les personnes

Le rôle de la protection électrique est d'éviter ou de limiter les conséquences destructives et dangereuses des surintensités ou des défauts d'isolement, et de séparer le circuit défectueux du reste de l'installation.

Une distinction est faite entre les protections :

- Des éléments de l'installation ou circuits (câbles, câblage, appareillage, etc.)
- Des personnes et des animaux.
- Des équipements et des appareils alimentés par l'installation.

La protection électrique est l'ensemble des appareils de surveillance et de protection assurant l'équilibre d'un réseau électrique. La fonction principale d'un système de protection est de mettre rapidement hors service tout ouvrage du réseau qui commence à fonctionner d'une façon anormale tel que (court-circuit, surcharge ou défaut d'isolement avec écoulement de courant vers la terre).

## IV.6 Protection contre les surcharges

Le passage d'un courant électrique dans un conducteur engendre un échauffement proportionnel au carré de l'intensité : c'est l'effet Joule. Partant de cet axiome, il faut déterminer le courant admissible  $I_z$  du conducteur en fonction de sa section, de sa nature et de ses conditions d'installation (modes de pose). Un préalable qui permettra ensuite de choisir une protection adaptée contre les surcharges.

Le courant réel d'emploi  $I_B$  ne doit pas excéder le courant assigné (calibre  $I_n$  ou réglage  $I_r$ ) de l'appareil de protection dont la valeur elle-même ne doit pas dépasser celle du courant admissible par la canalisation  $I_z$ . La valeur  $I_z$  doit être réduite d'un coefficient  $R$  en cas de protection par fusible.

Il convient donc de respecter :

$$I_B \leq I_n \leq R \times I_z$$

Avec :

$R = 1$  Pour les disjoncteurs ;

$R = 0.75$  Pour les fusibles gG < 16 A.

$R = 0.9$  Pour les fusibles gG  $\geq 16$  A.

gG : Désigne les fusibles pour usage général.

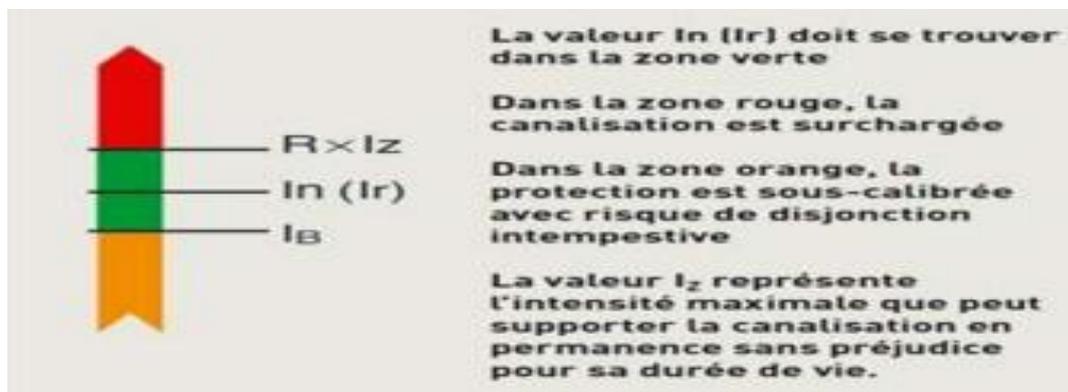


Figure IV.7 Zones de charge d'une canalisation

## IV.7 Protection contre le court-circuit

Pour se prémunir des risques des courants de court-circuit, tout dispositif de protection contre ces court-circuit doit répondre aux deux règles suivantes :

- Le pouvoir de coupure de l'appareil doit être au moins égal au courant de court-circuit maximum présumé en son point d'installation.
- Le temps de coupure, pour un court-circuit se produisant en n'importe quel point de l'installation, ne doit pas être supérieur au temps portant la température des conducteurs à la valeur maximale admissible.

### IV.7.1 Pouvoir de coupure

Le pouvoir de coupure d'un dispositif de protection doit être au moins égal au courant de court-circuit maximum présumé susceptible de se produire au point où l'appareil est installé :

$$P_{dc} \geq I_{cc \max}$$

Avec :

$I_{cc \max}$  : Intensité de court-circuit.

$P_{dc}$  : Pouvoir de coupure de l'appareil de protection.

### IV.8 Choix de disjoncteur pour protéger l'installation électrique

Un disjoncteur vient de se placer en amont de tableau électrique dans le but de protéger l'installation. Quand il détecte une surcharge ou un court-circuit, il coupe (disjoncte) le courant (l'électricité) pour éviter les appareils branchés ou les circuits ne subissent des dommages. Il est donc important de s'avoir choisir le bon disjoncteur pour agir en cas de surcharges électriques ou surintensités et assurer la protection de logement.

Le choix de disjoncteur dépend du type de circuit que nous souhaitons protéger. Le calibrage de disjoncteur et l'épaisseur de la section du fils conducteur vont s'accorder à la nature des appareils branchés sur le circuit. Pour notre installation, on choisit un disjoncteur 32A.

#### ➤ Le calibrage de disjoncteur

Le calibrage de disjoncteur est exprimé en ampères et définit le plafond d'intensité qu'il peut supporter ;

#### ➤ La section des conducteurs

La section correspond à l'épaisseur du câble associé et augmente en fonction du calibrage du disjoncteur et du nombre de prise dans le circuit protégé ou du type du circuit.

Les disjoncteurs standards vont de 10 A à 32 A mais il faut savoir qu'ils peuvent démarrer à 2 A (pour une sonnette, par exemple) et grimper jusqu'à 50 A et plus (pour des planchers chauffés, très gourmands en énergie). En d'autres termes, le calibrage dépendra de la nature du circuit à protéger.

**Tableau IV.2 Paramètres des différents types de disjoncteur**

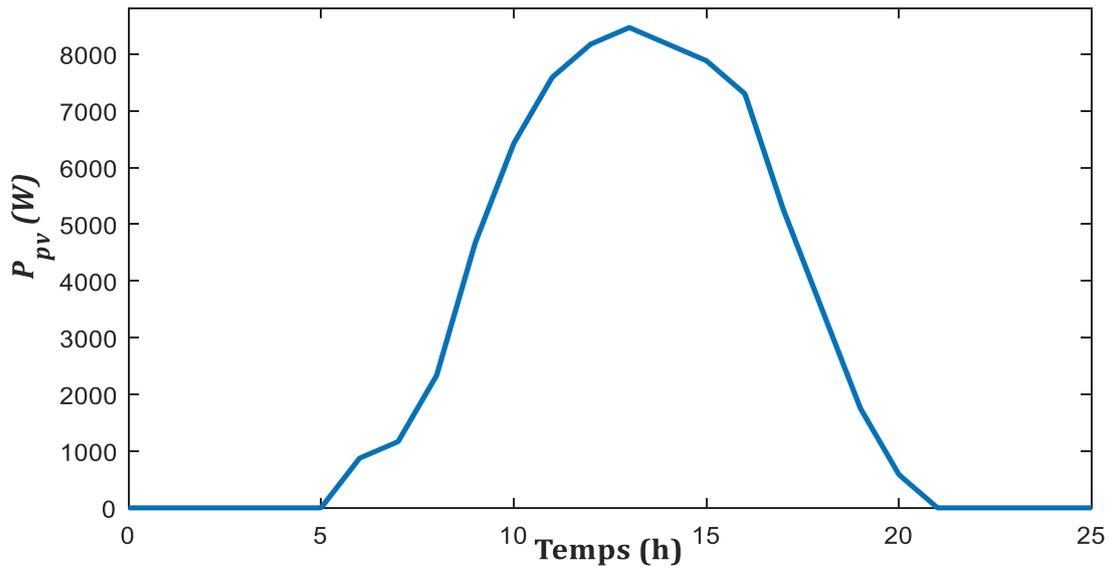
	Section de câble	Intensité max disjoncteurs	Circuit protégé
lumière	1.5 mm <sup>2</sup>	16 A	8 points lumineux maxi par circuit. Au moins 2 circuits par logement
Prise de courant avec terre	2.5 mm <sup>2</sup>	20 A	12 prises maxi par circuits
Réfrigérateur, machine à laver	2.5 mm <sup>2</sup>	20 A	1 circuit dédié par appareil Au moins 3 circuits par logement

Pompe d'eau	2.5 mm <sup>2</sup>	20 A	1 circuit par appareil
Borne de recharge	10 mm <sup>2</sup>	32 A	1 circuit par appareil

## IV.9 Simulation et interprétation des résultats

### IV.9.1 Les différentes puissances

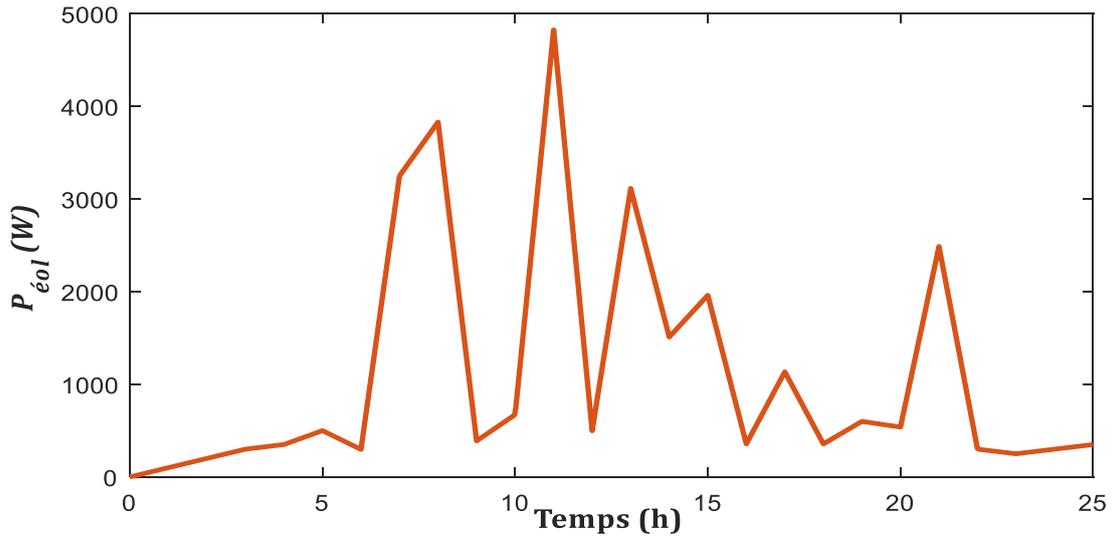
La figure suivante montre la puissance produite par les 28 panneaux photovoltaïques.



*Figure IV.8 Allure de la puissance photovoltaïque*

- La puissance produite par les panneaux photovoltaïques n'est pas disponible pendant 24/24 heures, elle est produite que durant la journée, à partir de 5h jusqu'à 21h. Le pic de puissance est atteint à 13h.

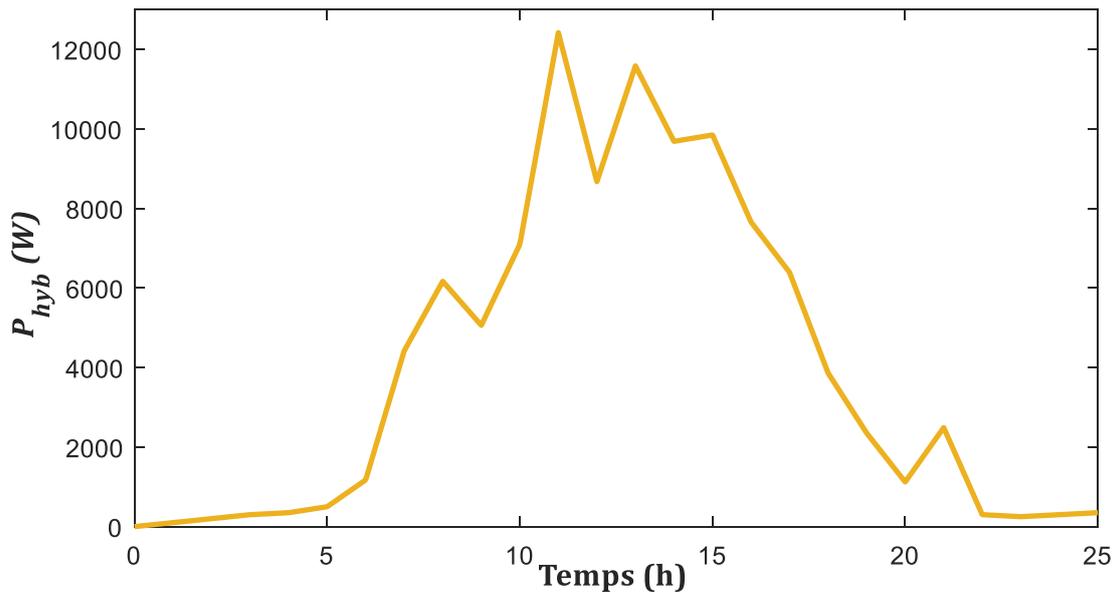
La figure suivante représente la puissance fournie par l'éolienne.



**Figure IV.9** Allure de la puissance éolienne

- La puissance éolienne n'est pas disponible durant toute la journée 24/24. Le pic de puissance est atteint à 11h et un pic à 8h moins faible.

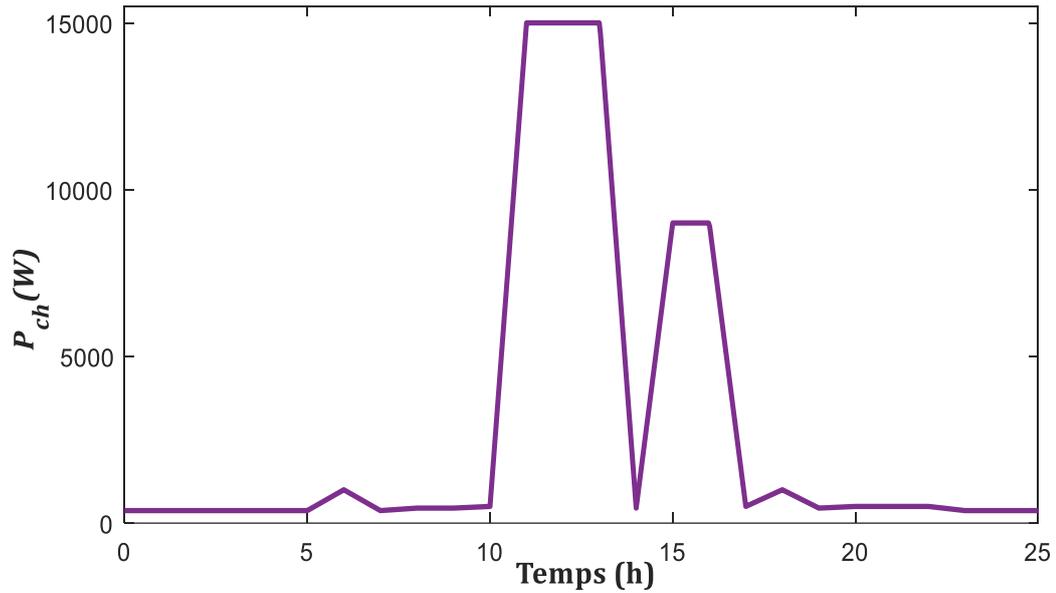
La figure suivante illustre la puissance hybride (Photovoltaïque + Eolienne).



**Figure IV.10** Allure de Puissance hybride

- La puissance hybride est disponible d'une manière significative du 5h à 23h. Les pics de puissance est atteint à 11h et à 13h.

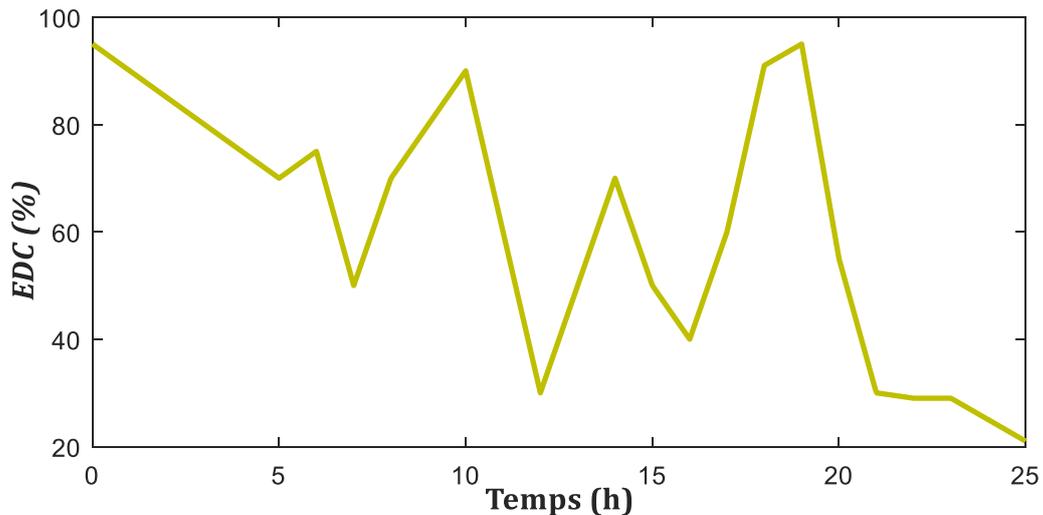
La figure suivante représente la puissance de la charge durant la journée.



**Figure IV.11** Allure de Puissance de charge

- La puissance de charge et disponible de 10h à 17h. les pics de puissance de charge est atteint de 11h à 13h est à 15h, est reste presque constante à une valeur faible.

La figure suivante représente l'état de charge de 4 batteries de stockage.



**Figure IV.12** Etat de charge des batteries

- Pour l'état de charge des batteries, entre minuit et 5h les batteries sont déchargées de 90 % jusqu'à 70% donc les batteries ont alimenté la charge. Entre 5h et 6h on remarque une légère charge, les batteries sont continuer de décharger jusqu'à la moitié. Elles se chargent entre 7h et 10h, puis elles sont sollicitées, donc une décharge est provoquée jusqu'au  $EDC_{min}$  de 10h à 12h. Les batteries se chargent de 12h à 19h complètement,  $EDC_{max}$  atteint. Les batteries sont déchargées complètement pour répondre aux besoins énergétiques, jusqu'à que le  $EDC_{min}$  est atteint.

Les figures (IV.13), (IV.14), (IV.15) et (IV.16) représentent respectivement l'état des interrupteurs de commande ( $K_1$   $K_2$   $K_3$   $K_4$ ).

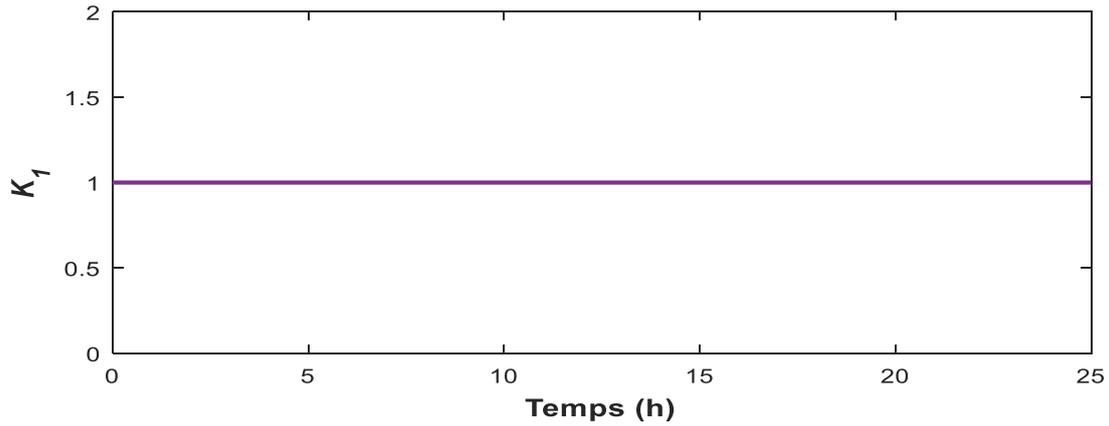


Figure IV.13 Interrupteur de branche de flux d'énergie hybride

- L'interrupteur de branche de flux d'énergie hybride est connecté durant toute la journée.

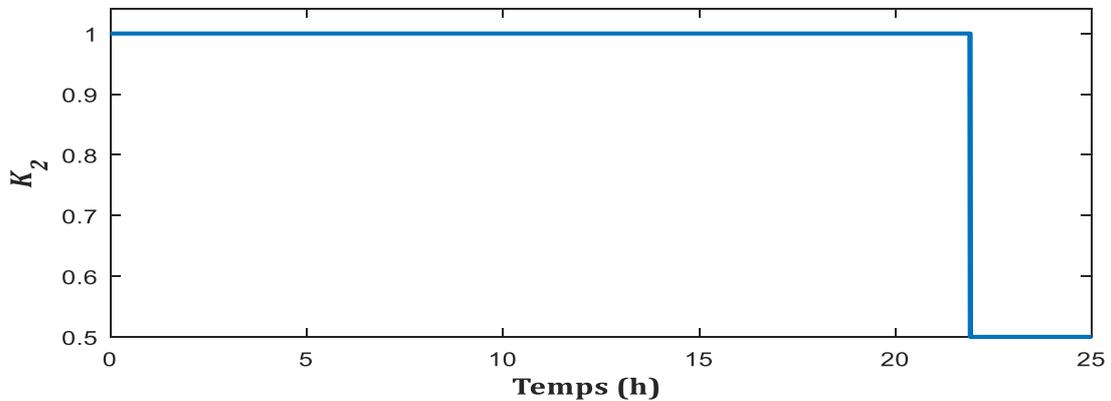


Figure IV.14 Interrupteur de commande de la charge

- L'interrupteur de commande de la charge est connecté de 1h jusqu'à 22h ( $K_2 = 1$ ), ( $K_2 = 0.5$ ) montre la déconnexion d'une partie de la charge.

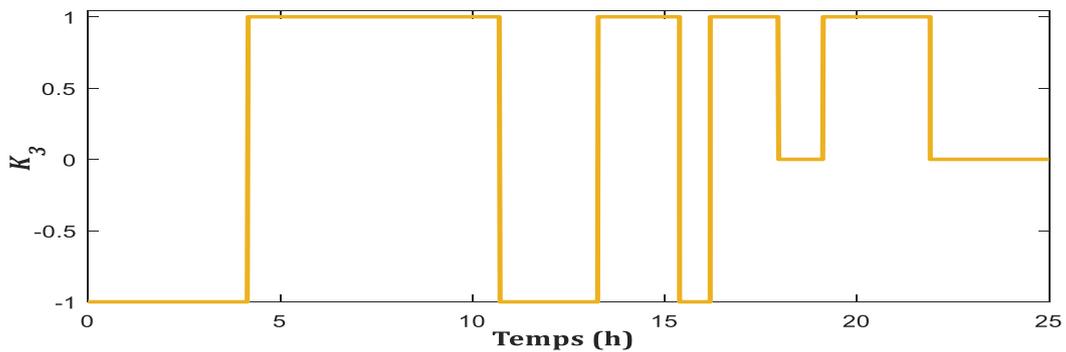
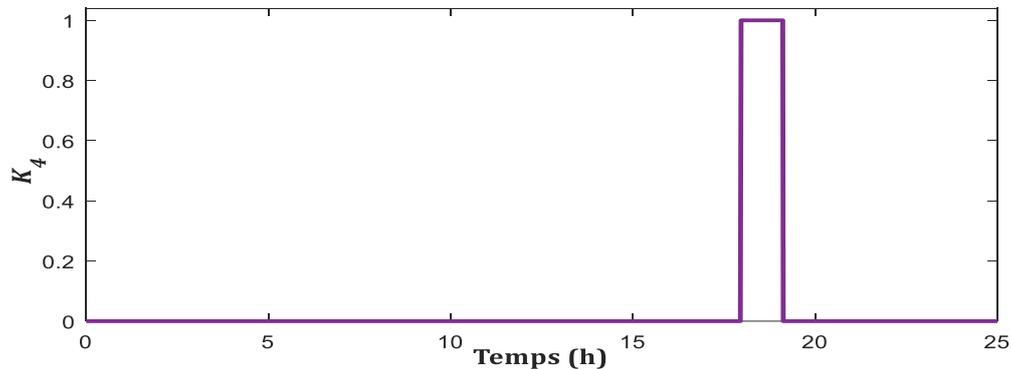


Figure IV.15 Interrupteur de chargement des batteries

- Pour le profil de l'état de chargement des batteries et en fonction de la puissance demandée par la charge et les puissances de sources renouvelables, les résultats de simulation montrent que ses batteries peuvent passer par des états de chargement

( $K_3 = 1$ ), des états de déchargement ( $K_3 = -1$ ) et des états de stabilisation, ce qui montre la robustesse de notre algorithme de gestion.



*Figure IV.16 Interrupteur de commande d'alimentation des auxiliaires*

- L'interrupteur de commande d'alimentation des auxiliaires est resté à l'état déconnecté à 1h jusqu'à 18h (absence d'alimentation des auxiliaires). L'interrupteur  $K_4$  est connecté pour une période d'une heure après pour faire alimenter les auxiliaires

#### IV.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini un algorithme destiné à la gestion de l'énergie dans le système hybride, c'est un algorithme qui permet gérer le flux d'énergie dans les différentes composantes du système pendant une période importante

La nécessité de protéger les équipements contre les perturbations se fait de plus pressante en raison, d'une part, de la susceptibilité croissante des composants et des circuits dont ils sont constitués, d'autres parts, de la multiplication des sources de surcharges électrique à considérer.

## **CONCLUSION GENERALE**

### **Conclusion générale :**

Dans ce mémoire nous avons essayé d'élaborer un modèle de dimensionnement optimal pour une alimentation en électricité d'une station de recharge raccordée à une ferme, avec un système énergétique hybride, constitué des panneaux solaires, de générateur éolien et des batteries de stockage.

Les travaux présentés dans ce mémoire concernent la production d'électricité à partir d'un système hybride (éolien- photovoltaïque) avec un système de stockage qui a pour objectif de maintenir un niveau de fiabilité élevé avec un coût minimal.

La structure générale de notre installation était basée sur des panneaux photovoltaïques qui sont liés à un convertisseur DC/DC commandé par un régulateur MPPT, avec une petite éolienne liée à un redresseur pour convertir la tension alternative en tension continue, l'ensemble connecté à un Bus continu, un onduleur est raccordé au ce dernier pour la conversion DC/AC permettant l'alimentation de la charge alternative (logement), et un parc des batteries (lithium-ion) d'une autonomie de 1 jours est mis en place pour permettre de stocker l'énergie afin satisfaire les besoins ultérieurement.

Au début, nous avons abordé le principe de la production de l'énergie électrique, avec quelques généralités sur le système hybride photovoltaïque/éolienne, les différentes configurations et des généralités sur les véhicules rechargeables. Dans la deuxième partie du mémoire on a présenté les caractéristiques de chaque composante du système hybride éolien-photovoltaïque- batterie .Ensuite nous avons opté au dimensionnement de cette station, tout en déterminant les différents composants du système multi-source. Enfin nous avons étudiée un algorithme de gestion d'énergie avec la désignation des différents éléments pour la protection de l'installation.

Les résultats de simulation qui nous avons obtenue montre que le combinez des panneaux solaires et éolienne, nous à donné de bon résultats.

Le site a comme avantage, c'est un terrain vaste avec un très bon souffle de vents et sans ombrage, donc c'est un atout pour profiter au maximum de l'énergie renouvelable qui peut recevoir quotidiennement

On conclut que, pour contribuer à la solution aux problèmes d'énergie, il est intéressant de développer des sources décentralisées de ces énergies. Dans la recherche de telle solution, le système hybride développé pourra constituer un moyen très économique pour l'énergie d'électrification rurale.

En conclure que la station de recharge à énergie renouvelable offre une solution durable et pratique pour développer la mobilité.



## Références bibliographiques

- [1] Statistiques disponible sur <https://www.connaissancedesenergies.org/quels-sont-les-principaux-gaz-a-effet-de-serre-2017.2018>. Consulter le 01 juin 2024.
- [2] Énergie plus. <http://atee.fr/energie-plus-magazine>. 2018. Consulter le 01 juin 2024.
- [3] Toutes les énergies en clair et en live. <http://www.planete-energies.com/fr>. 2018. Consulter le 01 juin 2024
- [4] B FERRAH, «Etude d'un système Hybride (photovoltaïque –éolien) » Mémoire de master de l'université de BADJI Mokhtar Annaba, 2015.
- [5] A. ABERBOUR « Contribution à l'Amélioration des Performances d'une Chaîne de Conversion Éolienne Autonome » thèse doctorat. Université A.MIRA-BEJAIA 2016.
- [6] L. Miguel, « Contribution à L'optimisation d'un system de conversion éolienne pour une unité de production isolée ». Thèse de Doctorat, Université de Paris, France, 2012.
- [7] L. ALOUI, « Etude par simulation d'une éolienne basée sur une machine Asynchrone à double alimentation alimentée par convertisseur matriciel ». Mémoire de Magister en électrotechnique à l'Université de Bejaia, Algérie 2006.
- [8] A. ABDELLI, « Optimisation multicritère d'une chaîne éolienne passive ». Thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de Toulouse, France 2007.
- [9] L.LAZARI, N.MEBARKI, «Etude d'un système photovoltaïque », Mémoire Master2, de l'université de Bejaia, 2014.
- [10] A. MIRICKI, « Etude comparative de chaine de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance ». Thèse de doctorat de l'institut national de polytechnique de Toulouse France, 2005.
- [11] A. MKAHL, R. NAIT SIDI MOH and M. WACK. « Modelling and simulation of standalone photovoltaic charging stations for electric vehicles». In XIII International Conference on Computer, Communication and Information Sciences and Engineering (ICCCISE), pages 72–80, Jeddah, Saudi Arabia, January 26-27 2015.
- [12] R MKAHL, «Contribution à la modélisation, au dimensionnement et à la gestion des flux énergétiques d'un système de recharge de véhicules électriques : étude de l'interconnexion avec le réseau électrique», Université de Technologie de Belfort-Montbéliard décembre 2015.
- [13] A. NEFFATI. Stratégies de gestion de l'énergie électrique d'un système multi-source : décision floue optimisée pour véhicule électrique hybride. Thèse de doctorat, Université Toulouse III, Paul Sabatier, 2013.
- [14] A. NOUH. Contribution au développement d'un simulateur pour les véhicules électriques routiers. Thèse de doctorat, Université de Franche Comté, 2008.
- [15] R.P. Joshi and A.P. DESHMUKH. Hybrid electric vehicles: The next generation automobile revolution. In IEEE Electric and HYBRID véhicule pages 1–6, Déc. 18–20 2006.
- [16] Y. Ammar, « Conception de système de gestion d'énergie pour microsystème autonomes », Thèse de doctorat, université Joseph Fourier, France, 2006.

- [17] Yves JAUTARD et Thierry BOUDOL (SALARTE) « Architecture et énergies renouvelables » réaliser par l'Agence Méditerranéenne de l'Environnement (AME) et l'ordre des Architectes du Languedoc-Roussillon Rédaction : 25/05/2000.
- [18] <https://www.technologies-de-cellules-solaires-photovoltaïques>. Consulter le 30 mai 2024.
- [19] Naïma TOUAFEK, Contribution à l'étude d'une cellule solaire en couches minces à base de  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ , Doctorat en Sciences en Electronique /Université Des Frères MENTOURI – Constantine, 2015.
- [20] ZOUHAIR El JOUAD « Réalisation et caractérisation des cellules photovoltaïques organiques », Thèse de doctorat de l'université d'Angers, 2016.
- [21] M J T NKOUIMI, « Outil d'aide au dimensionnement des systèmes photovoltaïques domestiques », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception, Ecole Nationale Supérieure polytechnique de Yaoundé, Mémoire Online 2002-2010.
- [22] S.BOUAZZA, H.BOUCHNAFA, « Estimation des énergies incidentes et fournies par module photovoltaïque », Mémoire de DES, Université de Tlemcen, Juin 2001.
- [23] NICHIPORUKO LEKSIY «Simulation, fabrication et analyse de cellules photovoltaïques à contacts arrière inter digités». Thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2005.
- [24] Belhadj Mohammed, « Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome », Mémoire de magister, université de Bechar, 2008.
- [25] M. DAHBI« Etude et optimisation d'une installation Hybride PV-Eolienne Autonome », mémoire de magister, option physique énergétique 2007.
- [26] C.BERNARD, J.CHAUVIN, D.LEBRUN, J.F.MURAZ, P. STASSI « Station solaire autonome pour l'alimentation des antennes de l'expérience de radio détection à l'Observatoire Pierre Auger » 2006.
- [27] T.AZIB« Contribution à l'étude d'électro-générateurs à pile à combustible conceptions d'architectures et de leurs commandes ». Thèse de doctorat, université de Paris XI, 2010
- [28] : [www.yuccaloc.com / notre-offre/recharge.html](http://www.yuccaloc.com/notre-offre/recharge.html), consulté en mai 2018.
- [29] LABOURET, A. et VILLOZ, M., 2006. Energie Solaire Photovoltaïque. Livre édité par : DUNOD.
- [30] Site web: [www.em.ucv.ro/elee/EN/](http://www.em.ucv.ro/elee/EN/). Le dimensionnement d'une installation. Consulter le 05 juin 2024.
- [31] LABOURET, A., et al, 2008. Cellules solaires – Les bases de l'énergie photovoltaïque. Livre édité par : coll.
- [32] ABADA, S., 2011. Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur sepic, Mémoire (M. Se.), université Laval, Québec
- [33] HANKINS, M., 2012. Installations solaires photovoltaïque autonomes conception et installation d'unités non raccordées au réseau. Livre édité par : DUNOD.

