



Université Abderrahmane Mira de Bejaïa
Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique
Spécialité : énergie renouvelable & Automatismes
industriels



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du master en électrotechnique

Thème

Pompage hybride et applications



Réalisé par :

Mr. Merabet Yacine

Mr. Laribi Yacine

Dirigé par :

Mr A. ADJATI

Membre de jury :

Mr ATROUNE

Mme MOKRANI

Remerciements

Nous remercions Dieu pour le courage, la patience et la santé qui nous ont été utiles tout au long de notre parcours.

Nous tenons à adresser nos vifs remerciements à Mr A. Adjati proposé et dirigé ce projet et pour son entière disponibilité, son aides et ses précieux conseils.

Notre sincère gratitude va aussi aux membres du jury qui ont bien accepté de jugé ce présent travail.

Enfin que toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouve ici l'expression de nos sincères remerciements.

Dédicaces

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

*A mes amis pour leur appui et leur encouragement,
A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien,
Merci*

L.Yacine

Dédicaces

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

*A mes amis pour leur appui et leur encouragement,
A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien,
Merci*

M.Yacine

Table des matières

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I

I.1. Introduction	2
I.2. Généralités sur les systèmes d'énergies hybrides	2
I.2.1. Avantages et inconvénients d'un système hybride	3
I.2.2. Classifications des systèmes d'énergies hybrides	4
I.2.2.1. Selon le régime de fonctionnement	4
I.2.2.2. Selon la gamme de puissance	5
I.2.3. Configurations de bus dans les systèmes hybrides	5
I.2.3.1. Architecture à bus DC	5
I.2.3.2. Architecture à bus AC	6
I.2.3.3. Architecture mixte (DC&AC)	6
I.3. Présentation du SEH	7
I.3.1. Energie solaire photovoltaïque	8
I.3.1.1. Types des systèmes photovoltaïques	10
I.3.1.2. Avantages et inconvénients d'un système PV	11
I.3.2. Energie éolienne	12
I.3.2.1. Configurations d'aérogénérateurs	12
I.3.3. Système de stockage	15
I.3.3.1. Technologies des systèmes de stockage	15
I.3.3.2. Caractéristiques des batteries	17
I.3.4. Convertisseurs	18
I.4. Conclusion	18

Chapitre II

II.1. Introduction	19
II.2. Chaîne d'énergie du pompage d'eau	19
II.3. Eléments du système de pompage d'eau	20
II.3.1. Pompe	20
II.3.1.1. Différents types des pompes	20
II.3.1.2. Caractéristiques des pompes volumétriques et centrifuges	22
II.3.2. Moteur	22

II.3.3.	Sources d'énergie	23
II.4.	Différentes architectures envisageables des systèmes de pompage	23
II.4.1.	Pompage avec réseau électrique	23
II.4.2.	Pompage photovoltaïque.....	24
II.4.3.	Composants du système de pompage photovoltaïque	24
II.4.4.	Méthodes de pompage photovoltaïque	24
II.4.5.	Pompage éolien.....	27
II.4.6.	pompage hybride (photovoltaïque éolien) avec stockage	28
II.5.	Conclusion.....	28

Chapitre III

III.1.	Introduction.....	29
III.2.	Dimensionnement d'un système de pompage.....	29
III.2.1.	Définition du dimensionnement	29
III.3.	Données de base.....	30
III.3.1.	Etapes de dimensionnement d'un système de pompage multi-sources.....	31
III.3.1.1.	Evaluation des besoins en eau	31
III.3.1.2.	Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire	31
III.3.1.3.	Choix des composantes	32
i.	Compatibilité en puissance.....	34
ii.	La compatibilité en tension	34
iii.	La compatibilité en courant	35
III.3.2.	Application	36
III.3.2.1.	Caractéristiques de la région d'Adrar.....	36
III.3.2.2.	La durée du jour.....	37
III.3.2.3.	La durée d'insolation à Adrar.....	38
III.3.2.4.	Potentiel éolien à Adrar	38
iv.	Le choix de l'onduleur.....	40
III.3.3.	Dimensionnement des batteries.....	42
III.3.4.	Contrôle du système multi-sources de production d'énergie	43
III.3.4.1.	Gestion du système multi-sources	43
III.3.4.1.1.	Organigramme de gestion d'énergie.....	43
III.3.4.1.2.	Les modes de la gestion.....	44
III.4.	Conclusion	44

Conclusion générale 45

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1	Schéma général du système d'énergie hybride	3
Figure I.2	Structure à bus DC d'un système hybride	5
Figure I.3	Structure à bus AC d'un système hybride	6
Figure I.4	Structure à bus mixte (DC & AC) d'un système hybride	7
Figure I.5	Schéma global du système hybride proposé	7
Figure I.6	Principe de fonctionnement d'une photopile	8
Figure I.7	Cellule – Module - Panneaux	9
Figure I.8	Caractéristique résultante pour différents assemblages de modules PV	10
Figure I.9	Schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome	10
Figure I.10	Structure d'un système PV connecté au réseau	11
Figure I.11 :	Principaux organes du système de conversion éolien	12
Figure I.12	Eoliennes à axe vertical	13
Figure I.13	Composantes d'une éolienne à axe horizontal	14
Figure I.14	Classification des technologies de système de stockage	15

Chapitre II

Figure II.1	Différentes techniques de pompage d'eau	19
Figure II.2	Station de pompage alimentée par le réseau électrique	23
Figure II.3	Schéma du principe de pompage au fil du soleil	24
Figure II.4	Schéma du principe de pompage avec stockage d'énergie	25
Figure II.5	Diagramme du pompage PV par électropompe DC	26
Figure II.6	Diagramme du pompage PV par électropompe AC	26
Figure II.7	Installation du système de Pompage éolien électrique et mécanique	27
Figure II.8	Schéma simplifié du système de pompage multi-sources (photovoltaïque, éolienne)	28

Liste des figures

--	--	--

Chapitre III

Figure III.1	Données de base d'une pompe	31
Figure III.2	Répartition de la population d'ADRAR	36
Figure III.3	Variation de la durée du jour à Adrar au cours d'une année	37
Figure III.4	variation journalier de la vitesse moyenne du vent	38
Figure III.5	Variation mensuelle de la vitesse moyenne du vent	39
Figure III.6	Variation annuelle de la vitesse moyenne du vent	39
Figure III.7	Branchement des différents composants du système photovoltaïque avec batteries	42

Liste des tableaux

Tableau I.1	Classification des SEH par gamme de puissance.	5
Tableau II.1	Classification des pompes	20
Tableau II.2	Avantages et inconvénients pour les deux moteurs, MCC et MAS.	22
Tableau III.1	Données climatiques de la région d'Adrar	37
Tableau III.2	Dimensionnement du système de pompage photovoltaïque	40
Tableau III.3	Les caractéristiques techniques de l'onduleur SMA Sunny Boy 3000 TL	41
Tableau III.4	Résultat de dimensionnement de l'onduleur.	41
Tableau III.5	Résultat de dimensionnement de l'onduleur.	42
Tableau III.6	Résultat de dimensionnement des batteries.	42

Liste des symboles

C_{batt} :	La taille des batteries.	(Ah)
C_{batt-u} :	La capacité unitaire d'une batterie.	(Ah)
C_{per} :	Consommation moyenne d'eau quotidienne pour une personne.	(m ³)
C_{beta} :	Quantité moyenne d'eau destinée pour la consommation des bétails d'une famille quotidienne.	(m ³)
C_{irr} :	Quantité moyenne d'eau destinée pour l'irrigation des plantes du jardin d'une famille.	(m ³)
DOD :	le taux de décharge maximum des batteries.	
E_c :	L'énergie journalière demandée par la charge.	(Wh/j)
g :	Accélération de la pesanteur.	(m/s ²)
h :	Hauteur manométrique totale que doit convaincre la pompe.	(m)
$I_{max-ond}$:	Le courant maximal supporté par l'onduleur.	(A)
I_{cc-pv} :	Courant de court circuit.	(A)
L_{rmin} :	Taille minimale du réservoir.	(m ³)
L_{rmax} :	Taille maximale du réservoir.	(m ³)
N_p :	Le nombre de panneaux.	
N_{batt} :	Nombre de batteries.	
N_{batt-s} :	Nombre de batterie en série.	
N_{batt-p} :	Nombre de batterie parallèle.	
N_{ch} :	Le nombre maximal de shunt en parallèle.	
N_{tr} :	Nombre de tracker de l'onduleur.	
$N_{pvs-min}$:	Nombre de panneaux série minimal.	
$N_{pvs-max}$:	Nombre de panneaux série maximal.	

Nomenclature

N_{fa} :	Nombre de familles du village.	
N_{per} :	Nombre moyen des personnes pour chaque famille.	
P_h :	La puissance hydraulique.	(W)
P_{pv} :	La puissance du générateur photovoltaïque.	(W)
P_m :	La puissance mécanique.	(W)
P_{ele} :	La puissance électrique.	(W)
P_{mec} :	La puissance mécanique.	(W)
P_d :	Puissance demandé par le champ photovoltaïque.	(W)
$P_{ond-min}$:	Puissance de l'onduleur minimal.	(W)
$P_{ond-max}$:	Puissance maximale de l'onduleur.	(W)
P_c :	La puissance crête du panneau.	(W _c)
q_v :	Débit volumique.	(m ³ /s)
V_{batt} :	La tension nominale de la batterie.	(V)
V_{DCmax} :	La tension maximale supportée à l'entrée de l'onduleur.	(V)
V_{co} :	La tension à circuit ouvert.	(V)
η_{batt} :	Le rendement des batteries.	
η_m :	Le rendement du moteur.	
η_{ond} :	Le rendement de l'onduleur.	
τ_p :	De la durée de pompage.	(h)
ρ :	Masse volumique d'eau.	(kg/m ³)

Liste des abréviations:

SEH:	Un Système d'Energie Hybride.
ER:	Les sources d'Energie Renouvelables.
PV:	Photovoltaïque
DC:	Courant continu
AC:	Courant alternatif
GPV:	Générateur photovoltaïque
EDC:	Etat de charge de la batterie.
HMT:	Hauteur Manométrique totale.

Introduction générale

Introduction générale

La grande partie de l'énergie consommée par l'homme provient des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel...etc.) dont l'utilisation massive conduit à l'épuisement de ses réserves et suppose une menace réelle à l'environnement, qui se manifeste, principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre par effet de serre [26].

Pendant le XX^e siècle, la consommation d'énergie a été multipliée par près de 20 depuis la révolution industrielle, les grandes énergies fossiles sont devenues nécessaires au bon fonctionnement de l'économie mondiale. Le développement des produits industriels et des transports a mobilisé une quantité croissante de ces ressources. Les flux d'énergie alimentent en permanence les systèmes économiques modernes et toute rupture d'approvisionnement peut avoir de lourdes conséquences. Ainsi, l'accès aux sources est devenu un enjeu stratégique et par conséquent un élément majeur.

Le problème dans le monde est de répondre à la demande énergétique qui ne cesse d'augmenter, la réserve mondiale du pétrole diminue de plus en plus et il n'y aura pas assez de pétrole pour couvrir la demande, L'énergie nucléaire n'est pas disponible pour tout le monde pour des raisons politiques ou financières, son installation coûte cher comme elle peut être dangereuse au niveau écologique.

L'utilisation des ressources conventionnelles est alors limitée et n'est pas encouragée pour des raisons liées à l'environnement. Le recours à d'autres types de ressources d'énergie est donc inévitable et devient plus qu'une nécessité pour le progrès de l'humanité.

Les chercheurs ont développé une autre forme d'énergie dite « énergie renouvelable ». Ces énergies renouvelables ont toutes l'immense avantage d'être d'origines naturelles, inépuisables et non polluantes puisqu'elles n'émettent pas de gaz favorisant l'effet de serre, CO₂. Parmi ces énergies renouvelables, on peut citer la production d'électricité d'origine solaire par l'effet photovoltaïque. La conversion de la lumière en électricité (conversion photovoltaïque) se produit dans des matériaux semi-conducteurs [20].

L'Algérie avec sa situation géographique, occupe une position privilégiée dans l'exploitation d'énergie solaire et éolien avec une durée d'ensoleillement qui varie de 2650 heures /an dans le nord à 3500 heures/an dans le sud, l'une des plus élevées au monde et dispose de nombreuses zones qui bénéficient de vents forts de 7-9m/s [26].

Dans ce travail, nous présentons une étude et un dimensionnement pour un système de pompage d'eau, en utilisant deux sources de production (photovoltaïque et éolien) et une source réversible (batteries).

Chapitre I
Etat de l'art sur le
système de production
d'énergie hybride

I.1. Introduction

Face à la croissance mondiale de la demande énergétique, à l'épuisement des énergies fossiles et aux problèmes environnementaux causés par des émissions des gaz, l'humanité est devant l'obligation de développer d'autres sources d'énergies renouvelables dites énergies propres.

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergies dont le renouvellement est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle de temps humaine. Elles offrent de nombreux avantages du fait qu'elles sont inépuisables, gratuites et sont compatibles avec certain respect environnemental. Cependant une des propriétés qui limite leurs utilisations, est due à son aspect aléatoire et les fluctuations de la charge selon les périodes annuelles ou journalières et ne sont pas forcément corrélées avec ces ressources. Pour les régions isolées, la solution à retenir est l'assemblage de plusieurs sources d'énergie, afin de constituer les systèmes d'énergies hybrides.

Dans le présent chapitre, nous allons présenter d'une manière générale les systèmes multi-sources. Ensuite, nous allons détailler les principaux composants de ce système hybride constitué de photovoltaïque, d'éolien et muni d'un système de stockage.

I.2. Généralités sur les systèmes d'énergies hybrides

La puissance obtenue à partir de ces sources est variable, et dépend des conditions climatiques, pour y faire face à ce problème, un couplage entre les différentes sources d'approvisionnement, formant un système d'énergie hybride, s'avère être la meilleure solution.

Un Système d'Energie Hybride (SEH) est une installation qui associe différentes technologies de la génération d'énergies électriques, que ce soit sources renouvelables ou bien sources conventionnelles, dans le but de réunir les avantages de chaque système et offrir un rendement énergétique global plus élevé. Par exemple, les sources d'Energie Renouvelables (ER), comme le photovoltaïque et l'éolienne ne délivrent pas une puissance constante à cause de leurs natures aléatoires. Cependant l'association de ces dernières avec d'autres sources permet d'obtenir une production électrique continue [1].

Plusieurs sources peuvent être exploitées dans les SEH. Parmi ces sources on peut distinguer les systèmes: photovoltaïque (PV), éolien, diesel, hydraulique, l'énergie contenue dans l'hydrogène (piles à combustible) associées à des convertisseurs statiques afin d'alimenter une charge principale ou auxiliaires [1]. Tous ces composants peuvent être connectés par des différentes architectures.

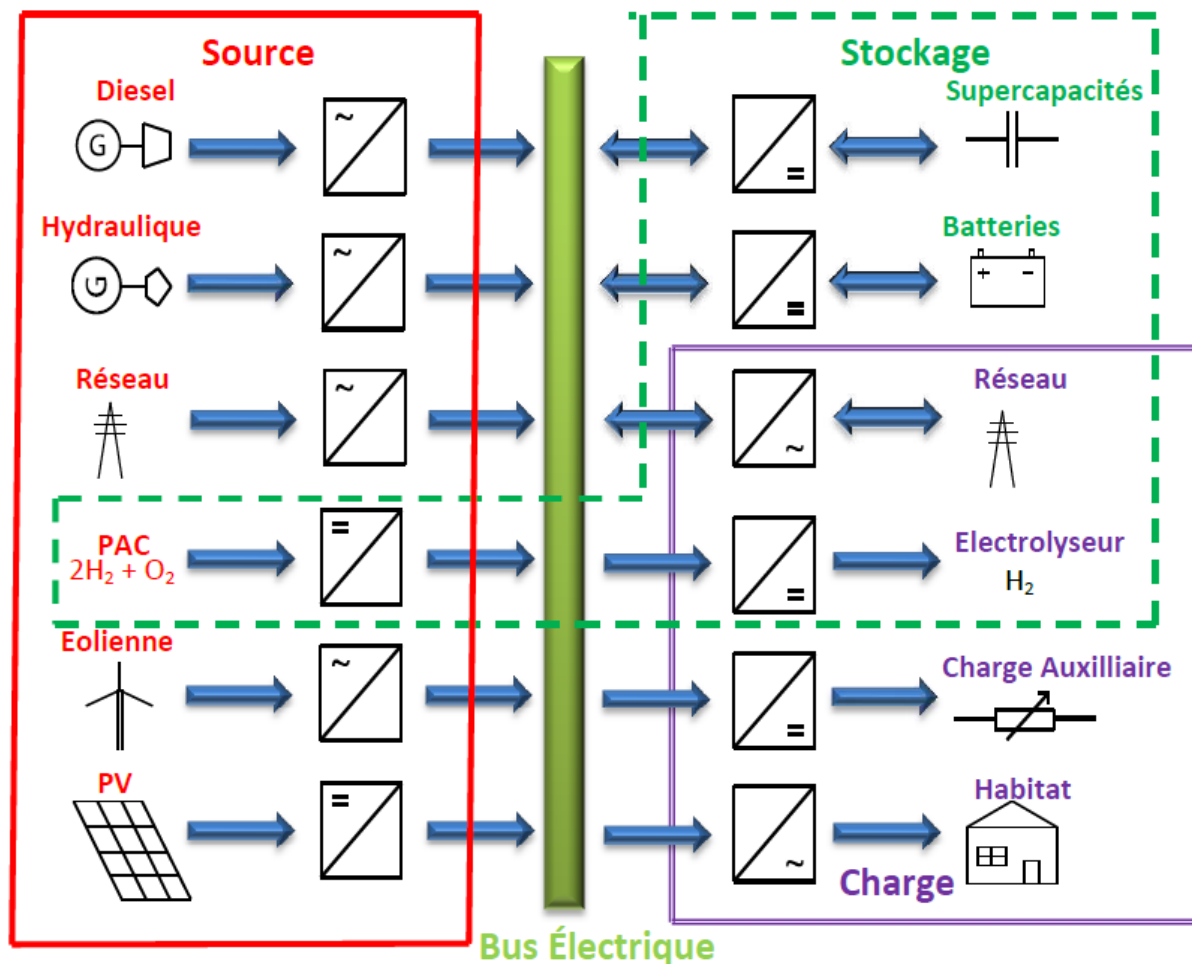


Figure I.1 : Schéma général du système d'énergie hybride

I.2.1. Avantages et inconvénients d'un système hybride

L'intérêt essentiel d'utiliser les technologies d'hybridation est d'assurer l'énergie demandée par la charge sans interruption et, si possible, de produire le maximum d'énergie à partir des sources d'énergie renouvelable [1].

De plus, les technologies d'hybridation permettent de

- Lisser la puissance délivrée par les sources d'énergies ;

▪ Palier pendant une durée limitée à l'incapacité partielle ou totale de la source d'énergie. Par exemple la complémentarité journalière et saisonnière des ressources solaires et éoliennes permet au site isolé d'avoir une disponibilité de l'énergie.

Néanmoins, les technologies l'hybridation posent certains inconvénients à savoir: [1]
[2]

- la nature stochastique des sources d'ER ;
- L'interconnexion de plusieurs sources complique le système de contrôle ;
- La conception d'un système de gestion énergétique et d'un algorithme de contrôle ;
- La durée de vie des composants d'un SEH peut être beaucoup plus courte que la durée de vie des composants individuels.

I.2.2. Classifications des systèmes d'énergies hybrides

Le choix du type des SEH dépend particulièrement des endroits d'installation et des objectifs d'utilisations et les classifications les plus répandues sont [3] :

I.2.2.1. Selon le régime de fonctionnement

Selon le régime de fonctionnement, les SEH peuvent être divisés en deux grandes familles autonome et connecté au réseau :

a) Système d'énergie hybride autonome

La station n'est pas connectée au réseau électrique pour la simple raison de l'éloignement des sites, par exemple, les refuges de montagne, les îles, les villages isolés ou bien dans le cas où les conditions topographiques sont ardues.

b) Système d'énergie hybride connecté au réseau

L'interface entre le SEH et le réseau électrique peut être constituée par un convertisseur statique pour assurer la conversion de la puissance. L'énergie produite par le SEH est consommée et le surplus d'énergie est injecté vers le réseau et dans en cas de besoin, le réseau prend le relais entraînant l'inutilité d'un système de stockage.

I.2.2.2. Selon la gamme de puissance

La puissance délivrée par les SEH peut varier de quelques watts jusqu'à quelques mégawatts. Le tableau (I.1) résume les différentes gammes existantes et leurs utilisations.

Tableau I.1. Classification des SEH par gamme de puissance

Gamme de puissance	Puissance délivrée	Domaine d'utilisation
Faible puissance	inférieure à 5 kW	Système autonome : petite maison, pompage d'eau
Moyenne puissance	entre 10 à 250 kW	Alimentation d'un village isolé, des zones rurales
Grande puissance	supérieure à 500 kW	Grands réseaux isolés.

I.2.3. Configurations de bus dans les systèmes hybrides

Selon le bus électrique dans la figure (I.1), nous distinguons trois architectures ou configurations de bus dans les systèmes hybrides.

I.2.3.1. Architecture à bus DC

Dans l'architecture à bus DC, l'énergie fournie par chaque source du système alimente un bus continu DC à travers des convertisseurs DC/DC ou AC/DC.

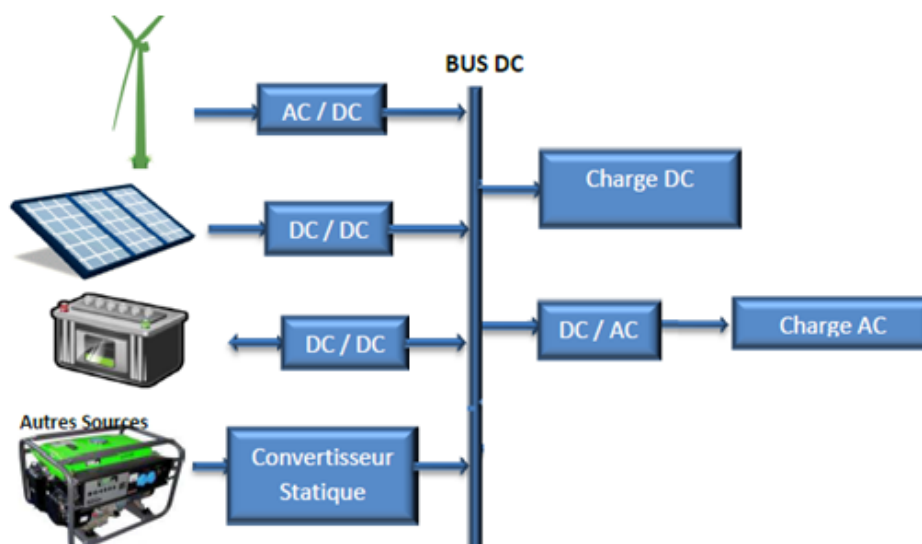


Figure I.2 : Structure à bus DC d'un système hybride

Ce type d'assemblage est adapté pour les sites isolés, à charge continue ou alternative. L'avantage de cette topologie est la simplicité de la commande par rapport aux autres configurations.

I.2.3.2. Architecture à bus AC

Dans la topologie à bus AC, toutes les sources de productions sont reliées au bus AC via des convertisseurs comme montrée par la figure (I.3).

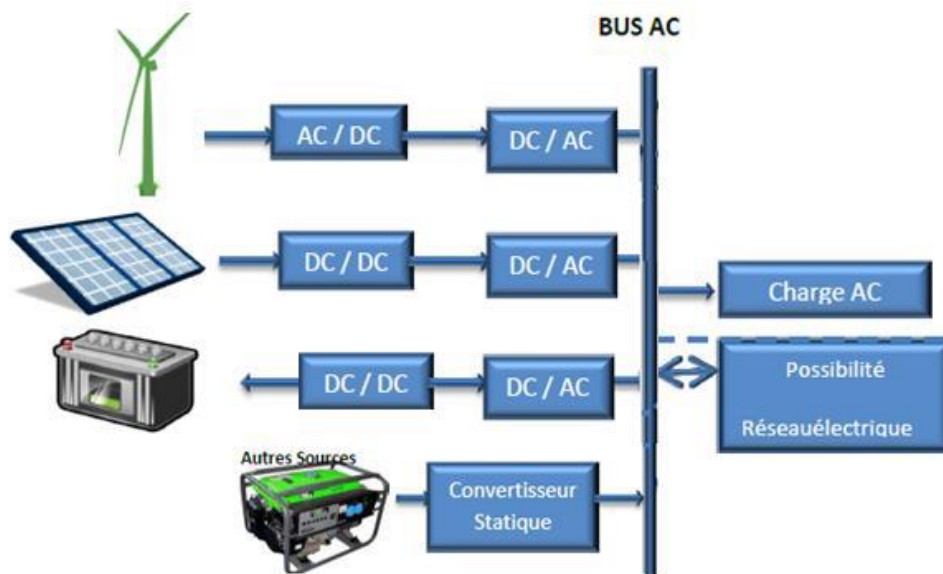


Figure I.3 : Structure à bus AC d'un système hybride

Cette configuration offre des performances supérieures par rapport à la configuration précédente, puisque un découplage de différentes sources de production permettrait à celles-ci d'agir de façon assez indépendante les unes des autres. Cependant, le rendement de l'ensemble du système est faible, parce qu'une certaine quantité d'énergie est perdue à cause de l'utilisation des convertisseurs statiques et ce type d'association complique le système de commande. L'architecture à bus AC est plus adaptée à une génération distribuée c'est-à-dire raccordée au réseau électrique.

I.2.3.3. Architecture mixte (DC&AC)

La figure (I.4) représente la structure à bus mixte (DC&AC) d'un système hybride. Dans cette configuration, les sources d'énergie peuvent alimenter une charge alternative AC ou une charge continue DC par un convertisseur bidirectionnel qui réalise la conversion continue-alternative et vice versa.

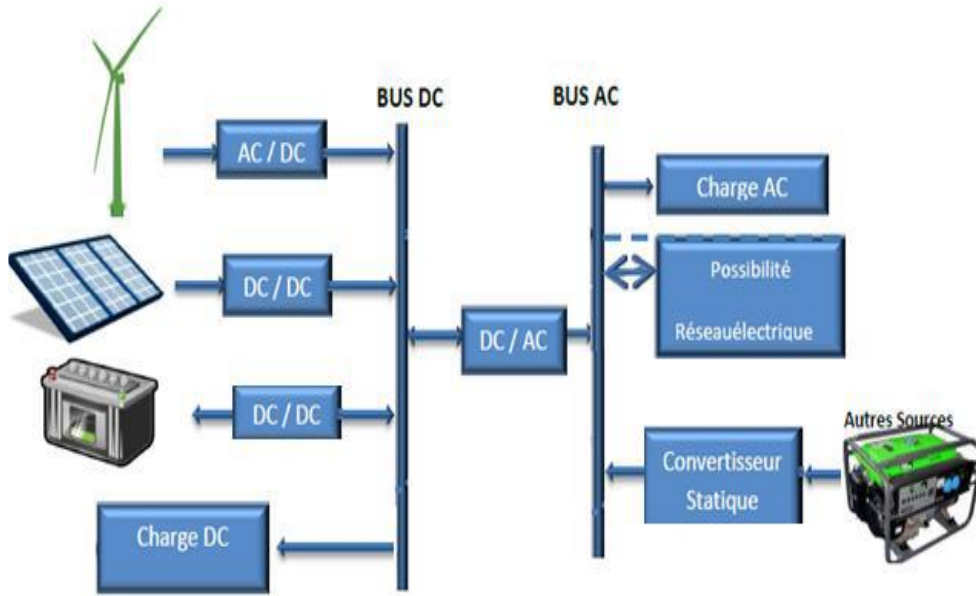


Figure I.4 : Structure à bus mixte (DC & AC) d'un système hybride

I.3. Présentation du SEH

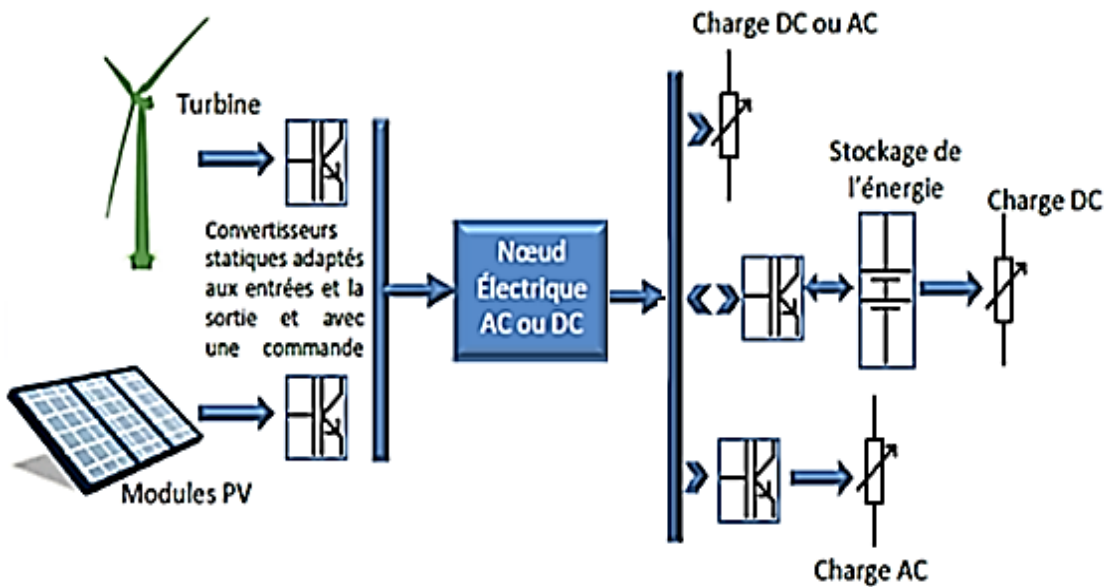


Figure I.5 : Schéma global du système hybride proposé

La figure (I.5) représente la structure du système hybride proposé dans cette étude, il est constitué par les systèmes : Photovoltaïque ; Eolien et batterie afin d'alimenter une charge principale (charge AC, pompe).

I.3.1. Energie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique de type continu.

La conversion d'énergie photovoltaïque s'effectue par le biais d'une cellule photovoltaïque basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire de l'électricité lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière [4].

Une cellule photovoltaïque ou photopile, unité de base d'un système photovoltaïque, est un composant électronique fabriquée à partir de deux couches de silicium. Une couche dopée P (dopée au bore) et l'autre couche dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P), ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches [5].

La plupart des cellules PV mesure autour de 100 cm² et ne produisent qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 W avec une tension de moins d'un volt, entre 0.3V et 0.7 V.

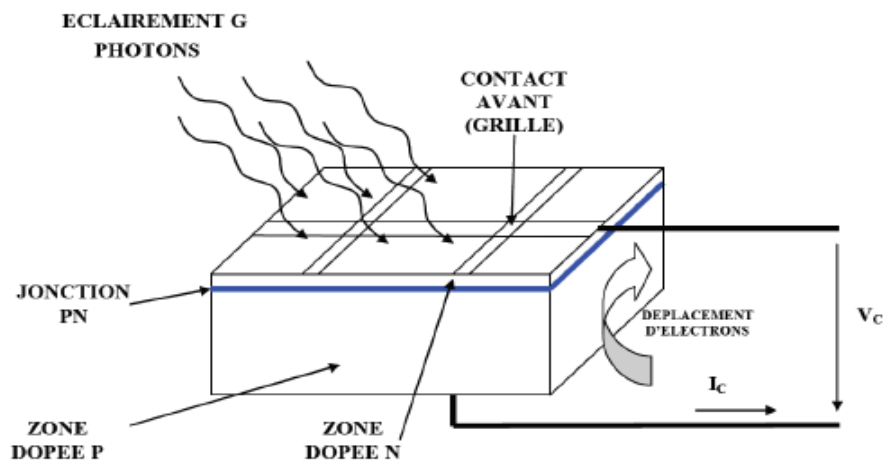


Figure I.6 : Principe de fonctionnement d'une photopile

Principalement, Il existe trois types de cellules photovoltaïques, cellules monocristallines, poly cristallines et cellules amorphes. Chaque type est caractérisé par un rendement et un coût qui lui est propre [2].

a) Les cellules monocristallines

Elles sont composées de fines tranches coupées à partir d'un seul cristal de silicium. Elles ont un meilleur rendement entre 12% et 17%.

b) Les cellules poly-cristallines

Ces cellules sont composées de fines tranches coupées à partir d'un bloc de cristaux de silicium. Elles ont un faible rendement entre 11% et 13%.

c) Les cellules amorphes

Elles sont d'une très fines couche d'un matériau photosensible déposées sur un support à bas coût tel que le verre, l'acier inoxydable ou le plastique. Les coûts de production du procédé des couches minces sont inférieurs à ceux de la technologie cristalline. Leur rendement est plus faible entre 5% et 10%.

Afin de produire une tension et une puissance conséquentes, les cellules sont assemblées entre elles en série pour former un module. L'association de ces modules en série et/ou parallèle constituent les panneaux PV, eux-mêmes interconnectés pour former un générateur PV. Le générateur PV (GPV) est dimensionné selon la puissance nécessaire pour une installation donnée. La production d'électricité par un GPV est liée à l'intensité, à la durée de l'ensoleillement et à l'orientation du panneau par rapport au soleil [4].

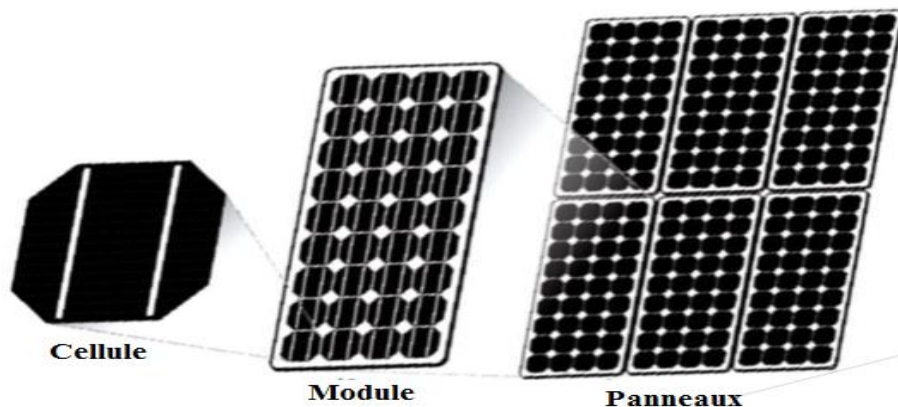


Figure I.7: Cellule – Module - Panneaux

Les connections en série de plusieurs modules augmentent la tension du GPV. En effet, cette association fait en sorte que toutes les cellules soient traversées par un même courant électrique. Tandis que, dans un groupement de plusieurs modules en parallèle, elles augmentent le courant du GPV pour une même tension.

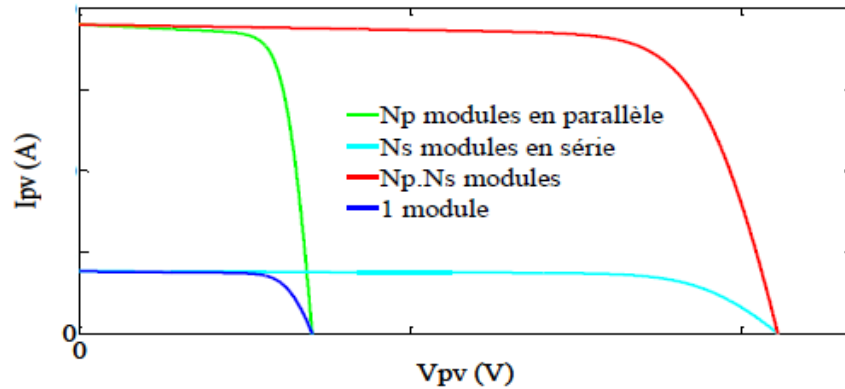


Figure I.8: Caractéristique résultante pour différents assemblages de modules PV

La figure I.8 montre les caractéristiques résultantes pour différents assemblages de modules PV identiques.

I.3.1.1. Types des systèmes photovoltaïques

En fonction du service et des applications recherchés les systèmes photovoltaïques peuvent être classifiés comme suit :

a) Systèmes PV autonomes

Ces systèmes fournissent directement l'énergie électrique sans être connecté au réseau électrique. Dans la majorité des cas, un système autonome exige des batteries pour stocker l'énergie électrique [6]. La figure (I.9) représente le schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome.

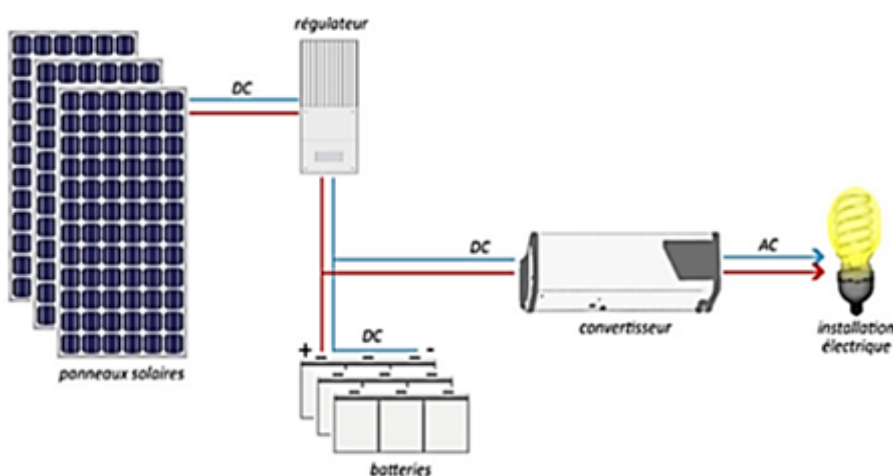


Figure I.9: Schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome

b) Systèmes PV connectés au réseau

Le champ photovoltaïque est couplé au réseau électrique par des convertisseurs électriques. Ces systèmes peuvent être petits, tels que les systèmes résidentiels ou des grands systèmes comme le cas d'une centrale électrique photovoltaïque. La Figure (I.10) représente une structure d'un système PV connecté au réseau [6].

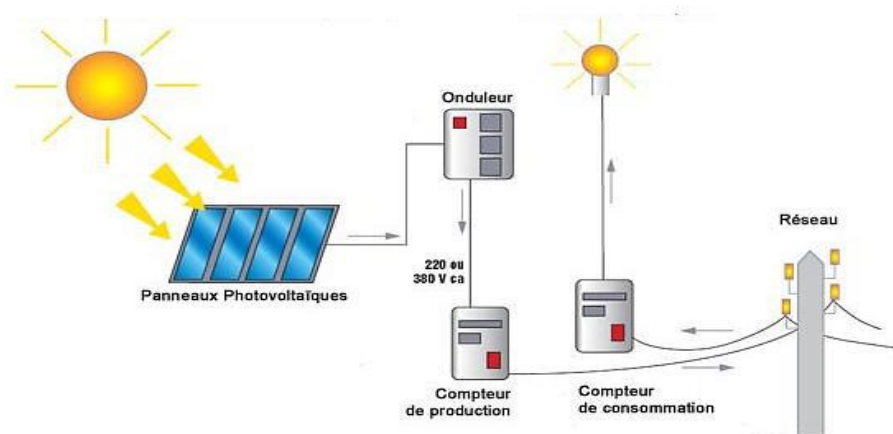


Figure I.10: Structure d'un système PV connecté au réseau

I.3.1.2. Avantages et inconvénients d'un système PV

Le système photovoltaïque a beaucoup d'avantages [7]:

- ✓ Energie solaire inépuisable ;
- ✓ Carburant gratuit;
- ✓ Energie solaire fournissant de l'électricité aux zones rurales les plus isolées ;
- ✓ Panneaux solaires demandant très peu d'entretien ;
- ✓ Panneaux solaires silencieux et non dérangeants ;
- ✓ Panneaux solaires recyclables.

Malgré cela, les sources photovoltaïques présentent aussi quelques inconvénients:

- Tributaires aux conditions météorologiques ;
- Fabrication du module PV qui relève de la haute technologie ;
- Coût élevé des installations PV ;
- Faible rendement des conversions d'un module PV ;
- Taille des installations pour des productions importantes d'énergie.

I.3.2. Energie éolienne

Un aérogénérateur, plus ordinairement appelé éolienne, est un dispositif qui permet de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice. Le schéma des principaux organes du système de conversion éolien est représenté par la figure (I.11).

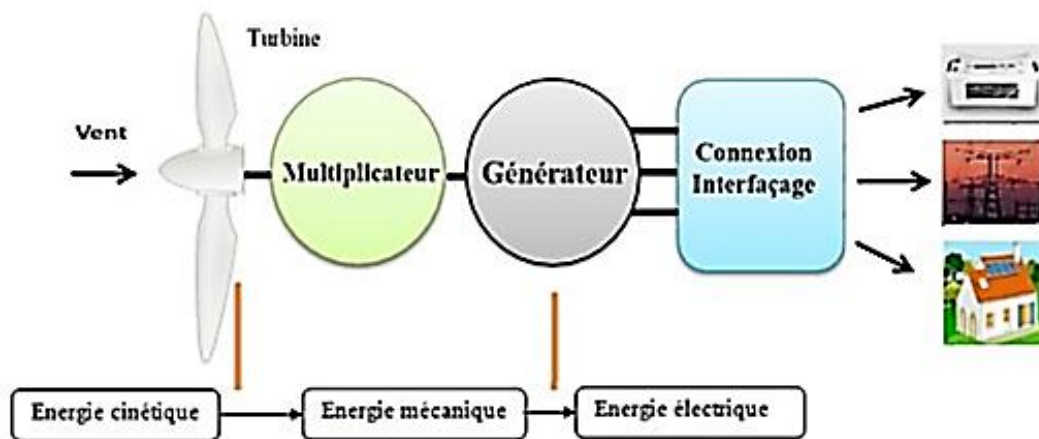


Figure I.11: Principaux organes du système de conversion éolien

L'énergie éolienne est modulaire, ce qui permet de maintenir en fonctionnement la plus grande partie de l'installation lorsqu'une pièce est défectueuse. Elles sont rentables dans les régions bien ventées. Néanmoins, elles sont tributaires aux conditions météorologiques avec des coûts de construction élevés, les bruits et l'impact visuel sont des plus gênants.

I.3.2.1. Configurations d'aérogénérateurs

Plusieurs configurations d'aérogénérateurs sont possibles. Selon la structure d'un système éolien, nous distinguons deux grandes familles : éoliennes à axe vertical et éoliennes à axe horizontal

a) Eoliennes à axe vertical

Les éoliennes à axe vertical ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité. Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol, donc facilement accessibles. Certaines de ces éoliennes doivent être entraîné au démarrage, pour cette raison, ce type d'éoliennes est très peu répandu et assez mal connu.

Il existe principalement trois technologies : turbines Darrieus classiques, turbines Darrieus à pâles droites (type H), turbine de type Savonius (figure I.12) [8].



Turbine Darrieus classique Turbine Darrieus (type H) Turbine de type Savonius

Figure I.12 : Eoliennes à axe vertical.

b) Eolienne à axe horizontal

Les éoliennes à axe horizontal sont les plus utilisées, parce qu'elles [9] :

- ✓ Présentent un rendement aérodynamique plus élevé ;
- ✓ Démarrent de façon autonome ;
- ✓ Présentent un faible encombrement au niveau du sol.

Malgré cela, elles possèdent certains inconvénients :

- Coût de construction très élevé ;
- Appareillage se trouvant au sommet de la tour, ce qui gêne l'intervention en cas d'incident.

Une éolienne à axe horizontal est généralement constituée par les trois éléments de base qui sont : le mât (tour ou pylône), le rotor (moyeu et pales) et la nacelle (figure I.13).

a) Un mât

Ayant un rôle de supporter l'ensemble rotor, nacelle pour éviter que les pales ne touchent le sol, mais aussi de placer le rotor à une hauteur suffisante, pour lui permettre de tourner à une vitesse importante.

b) Rotor

Il est composé de plusieurs pales (en général trois) et du moyeu. Le rotor est entraîné par l'énergie du vent, il peut être couplé directement ou indirectement à une pompe (cas des éoliennes de pompage) ou plus généralement à un générateur électrique.

c) Nacelle

Montée au sommet du mât, abritant les composants mécaniques, pneumatiques, certains composants électriques et électroniques, nécessaires au fonctionnement de la machine.

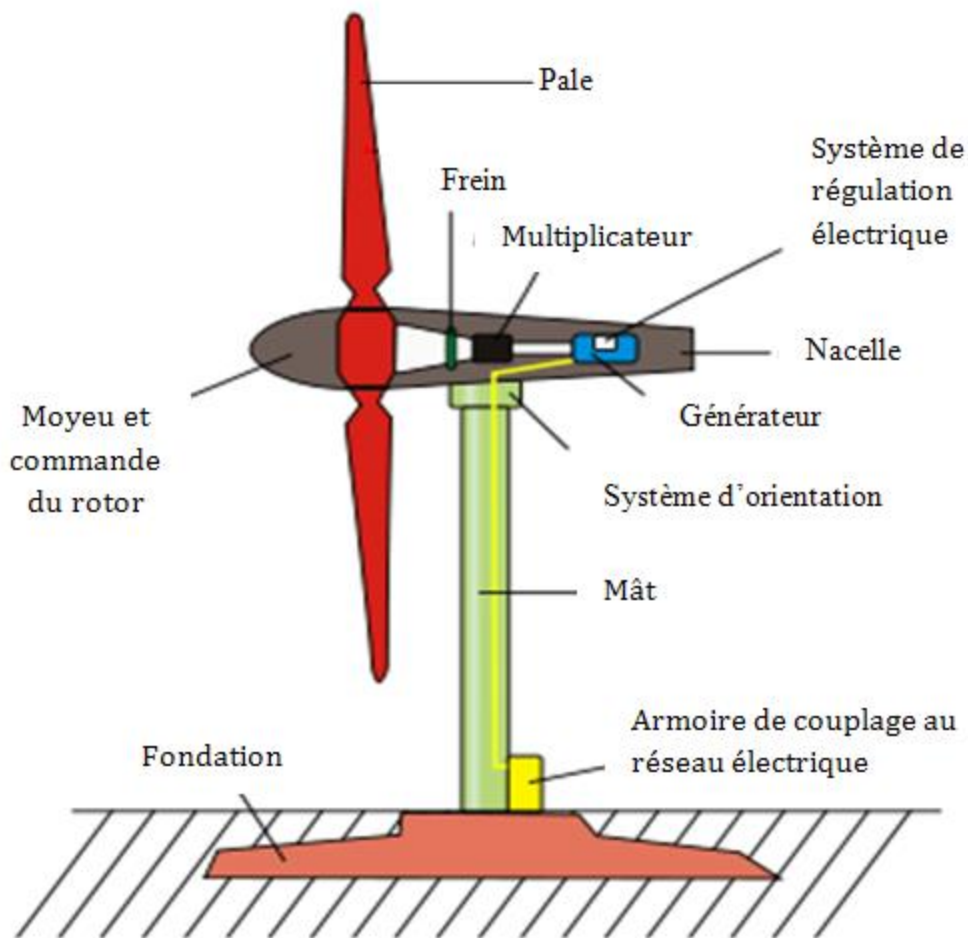


Figure I.13 : Composantes d'une éolienne à axe horizontal

Dans le cas des éoliennes produisant de l'électricité, un poste de livraison situé à proximité du parc éolien permet de relier ce parc au réseau électrique pour y injecter l'intégralité de l'énergie produite.

I.3.3. Système de stockage

L'utilisation de sources d'ER induit le concept de stockage d'électricité en raison du caractère intermittent de ces sources (comme l'énergie solaire et éolienne...). L'utilisation du moyen de stockage d'électricité est très variée; elle dépend de la nature des besoins et du type d'applications, particulièrement, les SEH géographiquement isolés et non raccordés au réseau, qui intègrent au moins une source d'ER nécessitant un système de stockage. Deux types de stockage sont utilisés dans les SEH : le stockage à court terme et le stockage à long terme.

La stratégie de stockage à court terme permet de filtrer les fluctuations des ER et de réduire également le nombre de cycles démarrage/arrêt des générateurs diesels, donc la consommation de carburant. Par contre, le stockage à long terme est utilisé pour assurer une continuité d'approvisionnement de l'énergie pour une durée relativement longue (des heures ou même des jours).

Le système de stockage peut être aussi utilisé avec les systèmes raccordés au réseau électrique, afin d'éliminer les fluctuations de puissance à court terme, de plus d'assurer la continuité du service en cas de défaillance du réseau [10].

I.3.3.1. Technologies des systèmes de stockage

Le stockage de l'énergie est une action qui permet de placer une quantité d'énergie dans un lieu donné afin de l'utiliser ultérieurement. L'opération de stockage d'énergie est toujours associée à l'opération inverse consistant à récupérer l'énergie stockée. L'énergie électrique peut être stockée sous différentes formes: mécanique, électromagnétique, électrochimique et thermique [10].

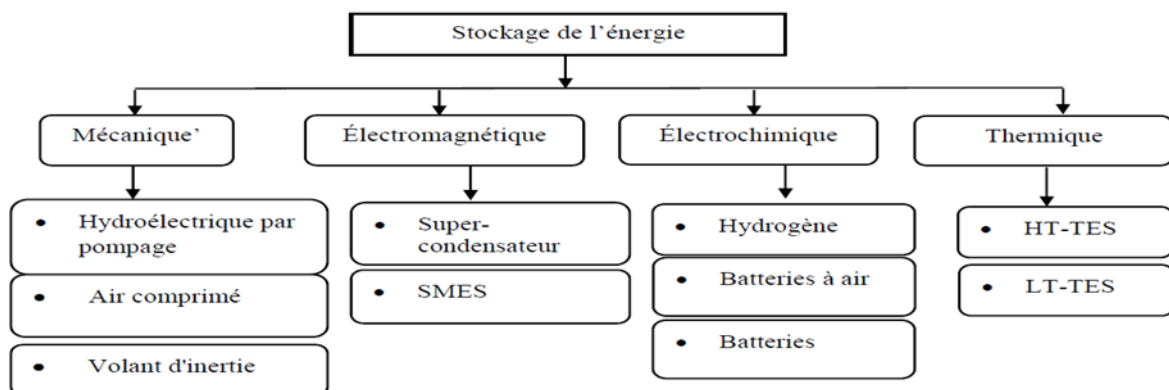


Figure I.14 : Classification des technologies de système de stockage

a) Les technologies de stockage mécanique

Représentées par le stockage hydroélectrique par pompage (PHS), le stockage d'énergie par air comprimé (CAES) et le stockage d'énergie par volant d'inertie (FES).

a) Les technologies de stockage électromagnétique

Représentées sont des super-condensateurs et le stockage d'énergie magnétique supraconducteur (SMES).

b) Les technologies de stockage thermique

Le stockage thermique est formé par le stockage d'énergie thermoélectrique à haute température (HT-TES) et le stockage d'énergie thermoélectrique à basse température (LT-TES).

c) Les technologies électrochimiques

Elles sont divisées en stockage à base d'hydrogène, batteries à air et stockage d'énergie par batterie (BES). Le BES peut être distingué en batteries plomb-acide (Pb-acide), en batteries au nickel-cadmium (Ni-Cd) ou en nickel-métal-hydrure (Ni-MH), en soufre (NaS) et en batteries lithium-ion (Li-ion).

i. Batterie au Plomb-acide (Pb-acide)

Elle présente plusieurs avantages, c'est la moins chère par rapport à d'autres technologies, elle est presque entièrement recyclable (plus de 90%) et leur autodécharge est faible. Cependant, ce genre de batteries est sensible aux décharges trop profondes conduisant à une diminution importante de leur durée de vie.

ii. Batterie au lithium-Ion (li-Ion)

Les performances de ce type sont bien meilleures que les autres. Leur autodécharge est très faible (1 % par mois), cela signifie que l'énergie massique stockée est relativement bien supérieure, caractérisée par une tension de fonctionnement élevée permettant la réduction du nombre d'éléments pour une tension donnée et leur durée de vie élevée; Mais le coût est beaucoup plus élevé à cause de leur fabrication qui nécessite un investissement bien supérieur que celui des batteries au Plomb. En plus, la batterie lithium contient un pourcentage élevé de métaux lourds et dangereux, en effet leur recyclage est compliqué et n'atteint pas la maturité.

iii. Batterie au nickel-cadmium (Ni-Cd)

Elle est robuste, mais souffre d'un coût élevé, d'une tension de cellule relativement faible, une autodécharge assez rapide (20% par mois). Telle la batterie lithium-Ion, leur recyclage est compliqué à cause du cadmium qui est un métal lourd et polluant.

À cause des limites des batteries au lithium-Ion et aux alcalines, nous préférons la batterie au plomb. Dans notre travail, nous proposons un système de contrôle de la charge et de la décharge de batteries, afin de prolonger la durée de vie et éviter la dégradation due aux décharges profondes ou des surcharges.

De nos jours, les technologies les plus émergentes dans les SEH sont les technologies électrochimiques et principalement les systèmes de stockage d'énergie à batterie. En particulier les trois types des batteries : plomb-acide, nickel-cadmium et lithium-ion, en raison de leurs maturités et de leurs faibles coûts. Ils présentent la propriété de pouvoir transformer de l'énergie chimique générée par des réactions électrochimiques en énergie électrique, sans émission de polluants.

I.3.3.2. Caractéristiques des batteries

Les paramètres techniques les plus représentatifs identifiés d'un accumulateur sont [11] :

a) Capacité nominale

C'est la quantité d'énergie que l'on peut stocker dans une batterie, elle s'exprime en ampères-heures (Ah).

b) Tension d'utilisation

C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.

c) Durée de vie et cycle de vie

Les deux caractéristiques définissent la durabilité d'un système de stockage. La durée de vie est mesurée en années. D'autre part, la durée de vie du cycle est mesurée dans les cycles de charge-décharge.

d) Profondeur de décharge

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisée pendant un cycle de charge/décharge.

e) Autodécharge

Définit l'énergie perdue par un système de stockage pendant le temps de non-utilisation. Ce paramètre est mesuré par la relation entre l'énergie perdue pendant une certaine période de temps (heure, jour ou mois) et la capacité énergétique du dispositif de stockage.

f) Rendement

C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.

g) Etat de charge (EDC)

C'est la quantité d'énergie disponible divisée par la capacité nominale de la batterie. Si $EDC = 1$, la batterie est chargée et quand : $EDC = 0$, la batterie est vide.

I.3.4. Convertisseurs

Chaque source est connectée à un convertisseur qui permet de contrôler son point de fonctionnement et de le relier au bus commun avec l'adaptation nécessaire. Différentes topologies de connexion des sources de production d'énergie, soit des sources d'ER ou des sources conventionnelles dans les SEH sont proposées dans la littérature. Cependant, le choix du convertisseur se fait selon :

- Configuration du bus dans le SEH où les sources sont connectées,
- Objectifs que l'on souhaite réaliser, par exemple : maximisation de la production de puissance des sources, adaptation de la tension....

Dans le cas d'un SEH autonome de structure à bus DC, un onduleur doit être utilisé pour alimenter une charge si elle est alternative.

I.4. Conclusion

Dans ce chapitre, une brève description des systèmes d'énergie hybride a été présentée. Les principales notions liées à la technologie utilisée dans les systèmes à énergies hybrides ont été données, ainsi que les avantages et les inconvénients de ces systèmes.

Chapitre II
Système de pompage

II.1. Introduction

La disponibilité en eau et son utilisation efficace sont essentielles et il faut pouvoir l'extraire pour subvenir aux besoins divers domestiques ou industriels. L'outil essentiel pour l'extraction de l'eau est la pompe. Le pompage est une activité qui consiste à utiliser une pompe pour déplacer un fluide. Selon la source d'énergie disponible (solaire, électrique, éolienne) et selon l'utilisation (zone urbaine, zone rurale) l'architecture de la chaîne d'énergie et le choix des pompes seront différents.

II.2. Chaîne d'énergie du pompage d'eau

Les coûts de raccordement à un réseau urbain peuvent vite devenir élevés dès que l'on s'éloigne des villes. L'alternatif pour pallier à cet désagrément est sans doute l'utilisation des solutions technologiques à savoir, le pompage solaire (photovoltaïque), le pompage éolien, le pompage thermique.

La figure II.1 montre les différentes solutions qui permettent de disposer de l'énergie hydraulique.

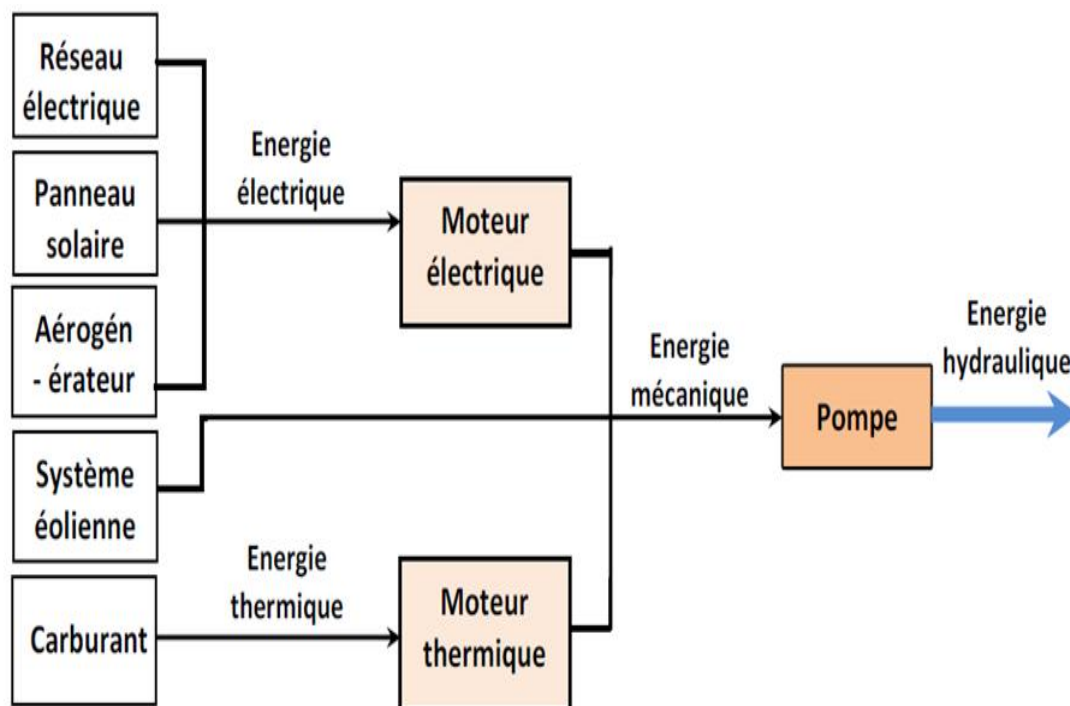


Figure II.1 : Différentes techniques de pompage d'eau.

II.3. Eléments du système de pompage d'eau

II.3.1. Pompe

Les pompes sont des machines servant à élever les liquides ou les mélanges de liquides d'un niveau inférieur à un niveau supérieur. Son fonctionnement consiste à produire une différence de pression entre la région d'aspiration et la région de refoulement au moyen de l'organe actif de la pompe. Du point de vue physique, la pompe transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique [12].






II.3.1.1. Différents types des pompes




L'énergie requise pour faire fonctionner une pompe dépend des nombreux facteurs rencontrés dans l'étude des écoulements [13]:

- Les propriétés du fluide : masse volumique, viscosité, compressibilité.
- Les caractéristiques de l'installation : longueur, diamètre, rugosité, singularités ...
- Les caractéristiques de l'écoulement : vitesse, débit, hauteur d'élévation, pression ...

a) Classification selon la conception de la pompe

Tableau II.1. Classification des pompes.

Pompes Volumétriques	Pompes Rotatives		
	 <p>Pompe à vis</p>	 <p>Pompe à engrenages</p>	 <p>Pompe à palettes</p>
	Pompes Alternatives		
	 <p>Pompe à pistons</p>	 <p>Pompe à membrane</p>	

Pompes Rotor -dynamique			
	Pompes centrifuges	hélico centrifuges	Pompes hélices

Devant la grande diversité de situations possibles, on trouve un grand nombre de pompes que l'on peut classer en deux grandes familles [14]:

- **Les pompes volumétriques**

Une pompe volumétrique est une pompe dans laquelle une certaine quantité de fluide est forcée à se déplacer jusqu'à l'orifice de sortie.

- **Les pompes centrifuges**

Une pompe centrifuge est une machine rotative qui pompe un liquide en le forçant au travers d'une roue à aube ou d'une hélice appelée turbine. C'est le type de pompe industrielle le plus commun.

L'utilisation d'un type de pompes ou d'un autre dépend des conditions d'écoulement du fluide.

b) Classification selon la position de pompe

En fonction de l'emplacement physique de la pompe, nous distinguons les pompes de surface et les pompes immergées.

b)-1. Pompes de surface

Le terme surface définit la position d'une pompe par rapport au liquide à pomper. Elle est dite pompe de surface, car prévue pour être posée en dehors du liquide à aspirer.

b)-2. Pompes immergées

Les pompes de refoulement sont immergées dans l'eau et ont soit leur moteur immergé avec la pompe (pompe monobloc), soit le moteur en surface. La transmission de puissance se fait alors par un long arbre reliant la pompe au moteur. Dans les deux cas, une conduite de refoulement après la pompe permet des élévations de plusieurs dizaines de mètres, selon la puissance du moteur.

II.3.1.2. Caractéristiques des pompes volumétriques et centrifuges

a) Pompe volumétrique

- Faible débit et une grande HMT
- Débit et puissance absorbée sont proportionnels à la vitesse.
- Le couple est en fonction de la HMT.
- Le couple de démarrage est de 3 à 5 fois le couple nominal.

b) Pompe centrifuge

- Grand débit
- Le débit est proportionnel à la vitesse lorsqu'elle atteint une certaine valeur
- La puissance absorbée est proportionnelle au cube de la vitesse
- Le Couple est en fonction du carré de la vitesse.
- La pression est proportionnelle à la vitesse
- Couple de démarrage est quasiment nul

II.3.2. Moteur

La pompe nécessite une énergie mécanique en entrée. Cette énergie mécanique est fournie dans la plupart des cas par un moteur électrique (électropompe), qui peut être à courant continu ou alternatif, et d'autre cas par un moteur thermique (Motopompe) Diesel ou essence. Quelques avantages et inconvénients de chacun sont donnés ci-dessous :

Tableau II.2. Avantages et inconvénients pour les deux moteurs, MCC et MAS.

types de moteur	Avantages	Inconvénients
Moteur à courant Continu	Facilité de régulation (variation de vitesse, couple, ...) Rendement de 90%	Coût d'entretien : le système balai/collecteur nécessite beaucoup d'entretiens
Moteur asynchrone	Fiabilité Nécessite peu d'entretien Rendement de 90%	Difficulté de commande Coût de régulation (nécessite la réalisation de commandes vectorielles)

II.3.3. Sources d'énergie

Il existe nombreuses variétés de source d'énergie capable de produire l'énergie d'entraînement, à savoir :

- Energie électrique du réseau collectif.
- Energie solaire (photovoltaïque),
- Energie éolienne (Electrique, mécanique),

II.4. Différentes architectures envisageables des systèmes de pompage

II.4.1. Pompage avec réseau électrique

L'eau dans son usage domestique suit un cycle d'utilisation qui peut se résumer en 4 étapes :

- Extraction de l'eau,
- Traitement de l'eau,
- Utilisation domestique de l'eau,
- Epuration et rejet de l'eau traitée.

Cette eau est généralement mobilisée grâce à des motopompes alimentées par le réseau électrique. Le dimensionnement du groupe de pompage dépend du réseau à alimenter.

Un exemple d'une station de pompage se composant d'un total de 3 pompes en parallèle permet alors le relèvement de l'eau depuis le réservoir intermédiaire vers le réservoir de tête.



Figure II.2 : Station de pompage alimentée par le réseau électrique.

II.4.2. Pompage photovoltaïque

Le pompage de l'eau est l'une des applications les plus courantes utilisant de l'énergie solaire pour l'irrigation ou l'alimentation en eau potable. La performance du pompage photovoltaïque dépend des caractéristiques du site (ensoleillement, température, obstacles géographiques), du rendement des modules photovoltaïque, mais aussi des caractéristiques des autres équipements (modules photovoltaïque, onduleur, moteur, pompe, etc.).

II.4.3. Composants du système de pompage photovoltaïque

Un système de pompage solaire d'eau est généralement composé des éléments suivants [15] :

- Des panneaux solaires photovoltaïques pour capter l'énergie du soleil et la convertir en électricité.
- Une pompe immergée ou montée en surface constituée d'un moteur électrique à courant alternatif ou continu.
- Une unité de conditionnement de puissance, constituée d'un convertisseur permettant de faire varier la fréquence et la tension de sortie en fonction de la puissance disponible du générateur solaire.
- Un câblage électrique et les informations relatives aux contrôles de sécurité.
- Une infrastructure hydraulique qui conduit l'eau de sa source à la consommation.

II.4.4. Méthodes de pompage photovoltaïque

a- Pompage au fil du soleil

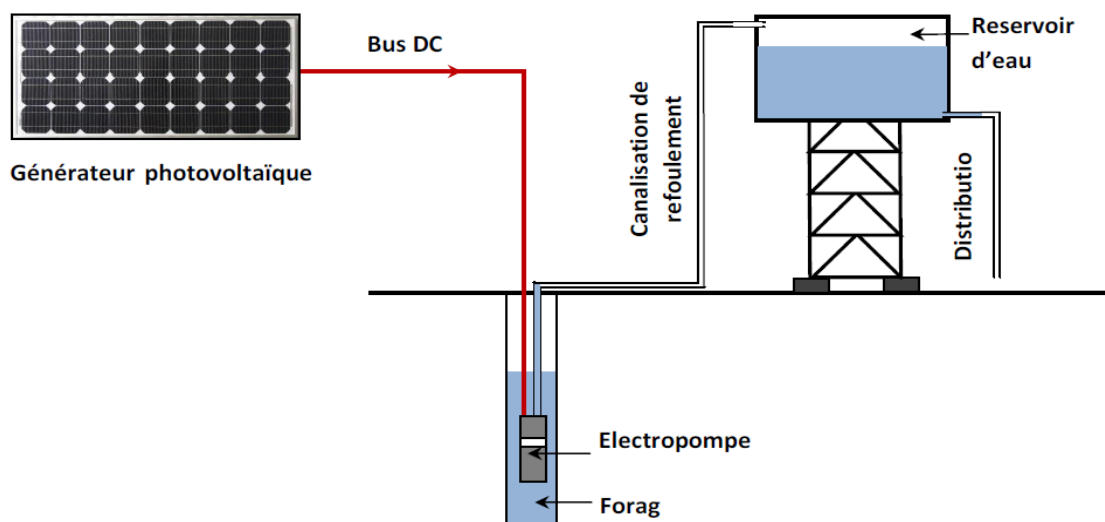


Figure II.3 : Schéma du principe de pompage au fil du soleil.

Dans les systèmes de pompage photovoltaïque, nous avons deux techniques possibles : pompage au fil du soleil figure II.3 et pompage avec stockage d'énergie.

Dans le cas où l'énergie solaire est consommée en temps réel ; on parle alors d'un pompage au fil du soleil sans batterie. Cette technique permet d'utiliser directement une puissance continuellement variable, celle issue des modules photovoltaïques. Le débit de pompage va donc évoluer avec l'intensité de l'ensoleillement [16].

Avantages :

- Economie du coût des batteries et par conséquent leur maintenance
- Système photovoltaïque plus simple, plus fiable et moins coûteux
- Meilleur rendement énergétique

Inconvénients :

- Perte d'énergie au début et à la fin de la journée
- Le débit de la pompe n'est pas constant et le rabattement du forage peut-être trop élevé durant certaines périodes de la journée.

b- Pompage avec batterie

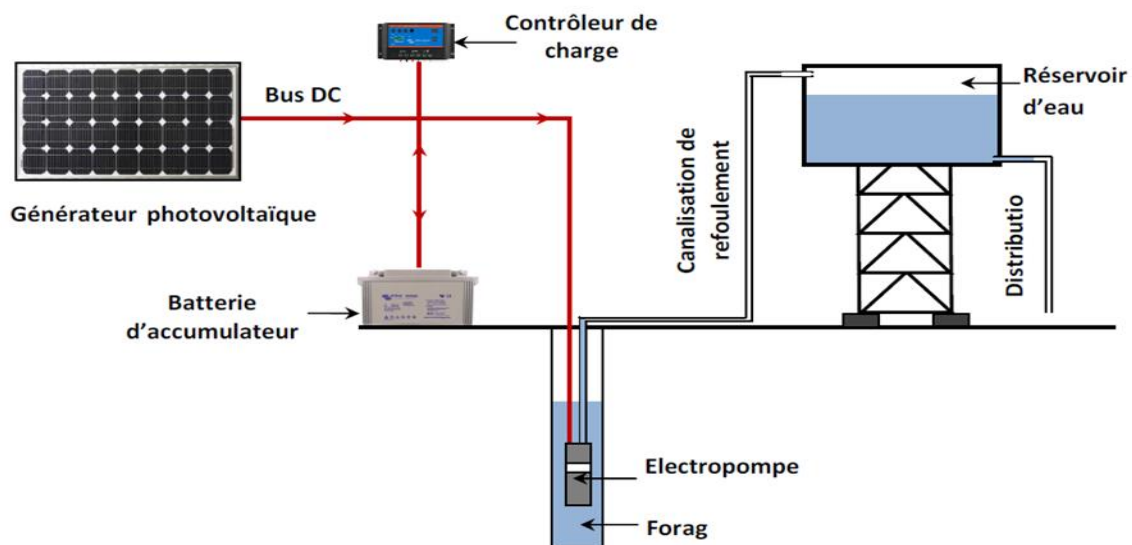


Figure II.4 : Schéma du principe de pompage avec stockage d'énergie.

La deuxième technique consiste à utiliser un stockage d'énergie (figure II.4), cette fois-ci, via des batteries. Ces batteries stockent l'énergie produite par les cellules photovoltaïques lors des périodes d'ensoleillement afin de pouvoir restituer cette énergie pour pomper l'eau en

temps voulu. Le débit de pompage peut se faire à la demande, lorsque les utilisateurs en ont besoin [15][17].

Avantages :

- Débit de la pompe régulier et à pression fixe.
- Possibilité de pomper l'eau lorsque le soleil est absent.

Inconvénients :

- Coût élevé d'entretien et maintenance des batteries
- Changement des batteries tous les 5 à 7 ans
- Les batteries introduisent un certain degré de perte de rendement d'environ 20% à 30% de la production d'énergie.
- Coût élevé du système photovoltaïque.

Dans le cas où le moteur est à courant alternatif, un convertisseur électronique appelé onduleur est nécessaire pour convertir le courant continu provenant du générateur photovoltaïque en courant alternatif.

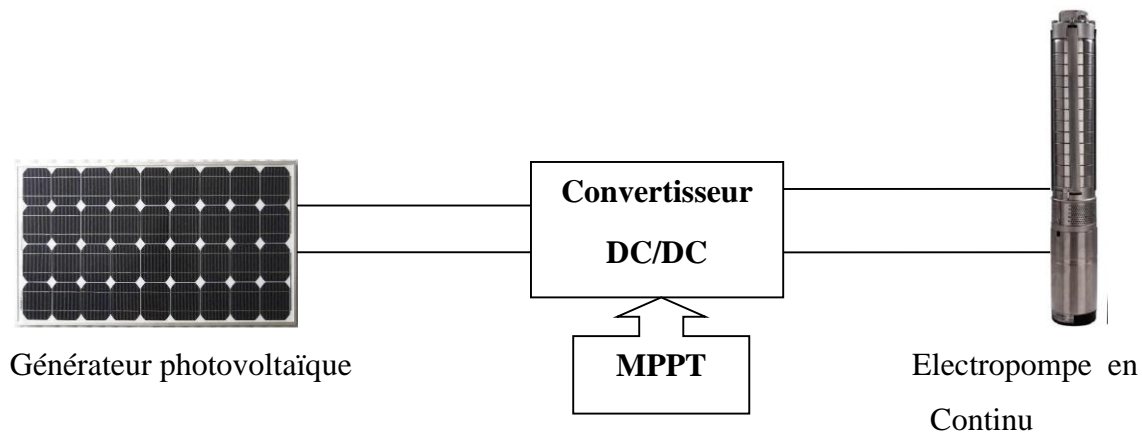


Figure II.5 : Diagramme du pompage PV par électropompe DC

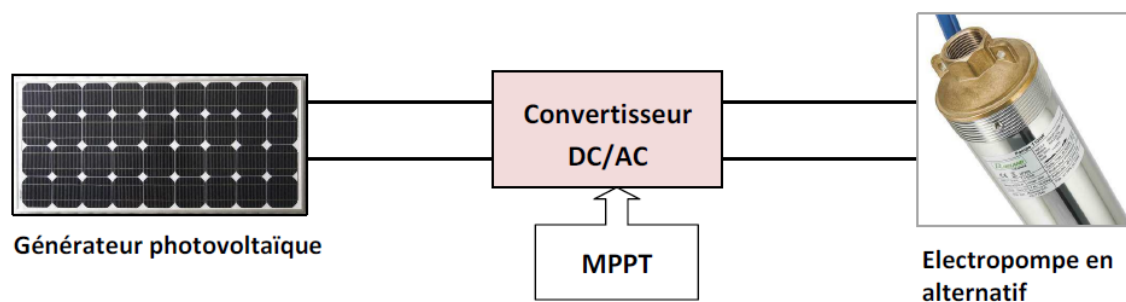


Figure II.6 : Diagramme du pompage PV par électropompe AC

II.4.5. Pompage éolien

L'énergie mécanique récupérée par les éoliennes peut servir à actionner directement la pompe (éolienne de pompage mécanique) ou à produire de l'énergie électrique alimentant à son tour une motopompe, l'éolienne est alors appelée aérogénérateur (Figure II.7)[18].

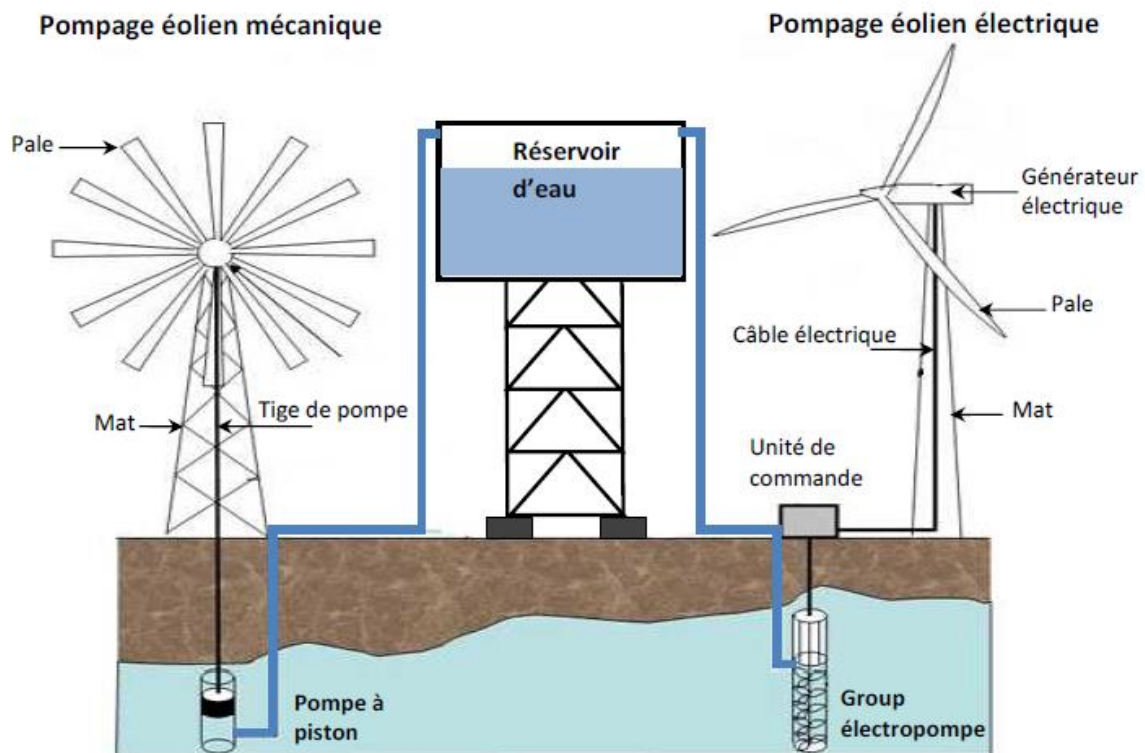


Figure II.7 : Installation du système de Pompage éolien électrique et mécanique.

a) Pompage éolien mécanique

C'est un système qui convient assez bien pour les zones peu ventées, avec des besoins en eau journaliers n'excédant pas les 20m³ et des profondeurs de puits ne dépassant pas les 50m.

L'éolienne de pompage mécanique est un système très ancien visible dans beaucoup de nos campagnes. Ce système, à la technologie éprouvée, reste très utilisé pour créer des points d'eau dans des endroits isolés dont le raccordement au réseau est impossible ou trop cher.

b) Pompage éolien électrique

Un rotor éolien muni de deux à trois pales est couplé à une génératrice à aimant permanent qui alimente directement un moteur à induction triphasé qui à son tour est couplé à une pompe, qu'elle soit de surface ou immergée. Pour un site isolé et assez bien venté, l'utilisation de l'énergie éolienne pour le pompage de l'eau peut s'avérer indispensable et très compétitive par rapport à d'autres sources d'énergie. Des deux systèmes éoliens de pompage décrit plus haut,

on peut conclure que le pompage éolien électrique est nettement plus performant que le pompage éolien mécanique. Dans le cas des puits profonds et des grands débits, l'alternatif pompage éolien électrique reste l'unique solution.

II.4.6. pompage hybride (photovoltaïque éolien) avec stockage

Les solutions technologiques nouvelles proposées par les générateurs hybrides, même si elles sont très complexes comparativement aux solutions courantes mono source, présentent par contre un intérêt évident considérable par leur flexibilité incomparable, leur souplesse de fonctionnement et leur prix de revient vraiment attractif, et dans notre étude nous avons opté pour un système de pompage hybride qui est une combinaison de panneaux photovoltaïques et d'une éolienne et des batteries de stockages pour bénéficier de tout les avantages de chaque élément et avoir un système optimal.

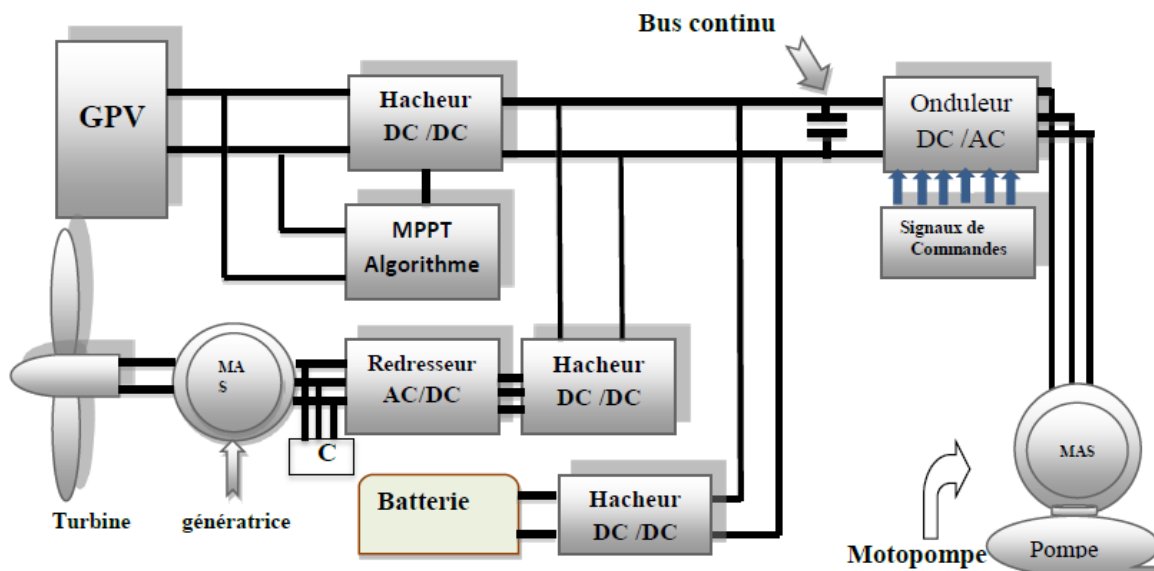


Figure II.8 : Schéma simplifié du système de pompage multi-sources (photovoltaïque, éolienne)

II.5. Conclusion

Plusieurs architectures envisageables des systèmes de pompage ont été présentées dans ce chapitre, pompage avec réseau électrique, pompage photovoltaïque et pompage éolien. Ensuite, on a présenté les pompes volumétriques et les pompes centrifuges, leurs principes de fonctionnement, leurs avantages et inconvénients. Nous avons également montré l'intérêt du pompage dit « au fil du soleil » et le pompage avec stockage d'énergie ainsi que les avantages et les inconvénients de ces deux types de pompage, et enfin le pompage hybride photovoltaïque éolien avec batteries.

Chapitre III
Dimensionnement d'un
système de pompage
hybride

III.1. Introduction

Dans ce qui suit, nous allons entamer le dimensionnement du système de pompage multi-sources comprenant un générateur photovoltaïque comme source principale, un système éolien comme source complémentaire, des batteries pour la compensation et un château d'eau d'une capacité jugée suffisante pour subvenir aux besoins en eau d'une localité située en plein Sahara à la région d'Adrar. Le dimensionnement de ce système joue un rôle primordial pour un bon fonctionnement de l'installation.

Nous allons aussi présenter une stratégie de contrôle et de supervision du système multi-sources par un algorithme de gestion d'énergie qui va contrôler les échanges d'énergie entre les différents composants du système.

III.2. Dimensionnement d'un système de pompage

III.2.1. Définition du dimensionnement

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 une production suffisante pour couvrir l'ensemble de la consommation électrique des utilisateurs.
- Garantir le coût minimum de l'énergie consommée par les utilisateurs.

Cette phase de conception s'appelle le dimensionnement. Il s'agit notamment de déterminer quelle sera la puissance et la capacité des différents éléments. Cependant, à 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.

En effet, comment dimensionner chacun des éléments en termes de puissance et de capacité afin d'assurer une alimentation permanente de la charge, tout en obtenant une énergie au moindre coût ?

Répondre à ce problème d'optimisation, plusieurs solutions ont été proposées. Il s'agit de fournir au concepteur une solution permettant de dimensionner de manière optimale un système autonome de production d'électricité.

III.3. Données de base

a) Débit (Q) :

Le débit (Q) est la quantité d'eau que la pompe peut fournir durant un intervalle de temps donné. Le débit est habituellement donné en litre par heure (l/h) ou gallon par heure (gal/h). En pompage, le débit (le besoin en eau) est souvent exprimé en mètre cube par jour (m³/j)[14].

b) Hauteur Manométrique totale (HMT)

HMT est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Cette hauteur peut être calculée comme suit [14]:

$$HMT = H_g + P_c \quad (1)$$

Avec :

- H_g : est la hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation ($H_r + H_d$). Pour une pompe de surface sur un plan d'eau, H_g sera choisi en fonction de la hauteur de la pompe à son niveau le plus bas.
- P_c : Pertes de charges produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites.

c) Niveau statique (Ns) :

Le niveau statique d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau avant pompage[14].

d) Niveau dynamique (Nd) :

Le niveau dynamique d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau pour un pompage à un débit moyen[14].

e) Rabattement (Rm) :

Est le rabattement maximal acceptable avant de stopper la pompe. Il représente la différence entre le niveau statique et le niveau dynamique[14].

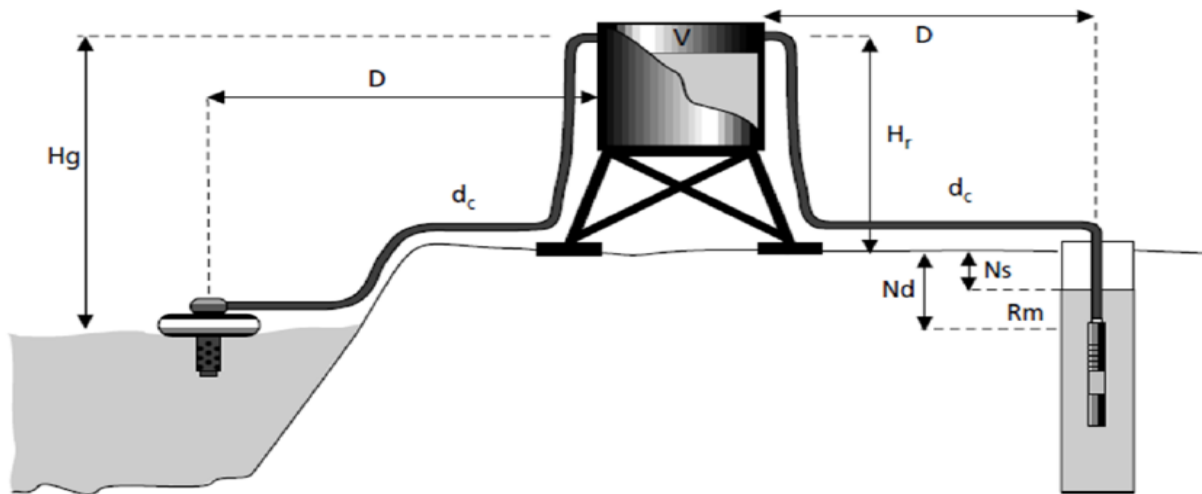


Figure III.1: Données de base d'une pompe

III.3.1. Etapes de dimensionnement d'un système de pompage multi-sources

Les différentes étapes pour le dimensionnement d'un système de pompage sont [19] :

- Evaluation des besoins en eau ;
- Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire ;
- Détermination de l'énergie solaire et du vent disponible ;
- Choix des composants.

III.3.1.1. Evaluation des besoins en eau

La détermination des besoins en eau pour la consommation d'une population donnée dépend essentiellement de son mode de vie.

Les besoins en eau estimés pour les zones rurales des pays pauvres sont de l'ordre de 25 litres par personne et de 30 litres par tête de bétail.

Les besoins d'eau pour l'irrigation dépendent du type de culture, des facteurs météorologiques comme la température, l'humidité, la vitesse du vent, l'évapotranspiration du sol, la saison de l'année considérée et de la méthode d'irrigation. Cependant, il est important de se baser sur la pratique et l'expérience locale. La capacité du réservoir sera déterminée selon les besoins en eau journaliers et l'autonomie requise du système [2].

III.3.1.2. Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire

Le calcul de l'énergie hydraulique nécessaire nous mène à dimensionner la pompe, et pour la dimensionner nous devons tenir compte de deux facteurs suivants [20]:

- La quantité d'eau requise.
- La hauteur que doit convaincre la pompe.

La puissance hydraulique P_h nécessaire pour faire déplacer l'eau d'un point à un autre est donnée par :

$$P_h = \rho \times g \times HMT \times q_v \quad (2)$$

Avec, g : Accélération de la pesanteur (9.81m/s^2), HMT : Hauteur manométrique totale, q_v : Débit volumique (m^3/s) et ρ : Masse volumique d'eau (1000kg/m^3).

III.3.1.3. Choix des composantes

Nous allons dimensionner les différents éléments de ce système pour un réservoir d'eau, un débit nominal et une hauteur géométrique.

a) Dimensionnement des panneaux

La puissance du générateur photovoltaïque (P_{pv}) à installer doit tenir compte de l'énergie journalière demandée par la charge (E_c), de la durée de pompage nécessaire pour satisfaire les besoins journaliers en eau (τ_p), ainsi que des pertes attribuables à la température et à la poussière. La dimension théorique sera de :

$$P_{pv} = \frac{E_c}{\tau_p(1-\Sigma p_{pertes})} \quad (3)$$

Le nombre de panneaux nécessaires se calcule par :

$$N_p = \frac{P_{pv}}{P_m} \quad (4)$$

▪ Détermination de la taille des batteries

$$C_{batt} = \frac{E_c \times N_{jaut}}{V_{batt} \times DOD \times \eta_{batt}} \quad (5)$$

Avec, N_{jaut} : le nombre de jours d'autonomie des batteries, V_{batt} : la tension nominale de la batterie, DOD : le taux de décharge maximum des batteries et η_{batt} : le rendement des batteries.

▪ Nombre de batteries

$$N_{batt} = \frac{C_{batt}}{C_{batt-u}} \quad (6)$$

Avec C_{batt-u} : la capacité unitaire d'une batterie.

- **Nombre de batterie en série**

$$N_{batt,s} = \frac{\text{tension de fonctionnement}}{\text{tension de la batterie}} \quad (7)$$

- **Nombre de batterie parallèle**

$$N_{batt,p} = \frac{N_{batt}}{N_{batt,s}} \quad (8)$$

b) Dimensionnement du moteur asynchrone

Le dimensionnement du moteur, réside dans le calcul de la puissance électrique qu'il lui faut pour entrainer la pompe, cette puissance est exprimée en (W) et se calcule par la puissance mécanique requise par la pompe et le rendement du moteur :

$$P_{ele} = \frac{P_{mec}}{\eta_m} \quad (9)$$

Avec : P_{mec} : puissance mécanique requise par la pompe et η_m : le rendement du moteur.

En tenant compte des pertes de puissance au niveau de l'onduleur, la puissance reçue par le moteur sera égale à la puissance délivrée par l'ensemble des modules PV soustraites des pertes au niveau de l'onduleur. Nous aurons par la suite :

$$P_d = \frac{P_{ele}}{\eta_{ond}} \quad (10)$$

Avec η_{ond} : le rendement de l'onduleur.

Les besoins journaliers énergétiques en électricité peuvent être évalués comme suit :

$$E_c = P_d \tau_p \quad (11)$$

Avec : E_c : Energie électrique journalière demandée par la charge en (kWh/j), τ_p : Temps de pompage nécessaire pour satisfaire le besoin en eau.

Le temps de pompage est donné par :

$$\tau_p = \frac{V}{Q_n} \quad (12)$$

Avec : V : Quantité d'eau requise (m^3) et Q_n : Débit nominal (m^3/h).

c) Dimensionnement de la pompe

La puissance hydraulique nécessaire pour faire déplacer l'eau d'un point à un autre est donnée par l'équation suivante :

$$P_{mec} = \frac{P_h}{\eta_p} \quad (13)$$

d) Dimensionnement de l'onduleur [21]

Le choix et le nombre d'onduleurs repose sur 3 critères :

- La compatibilité en puissance
- La compatibilité en tension
- La compatibilité en courant

A partir de ces 3 critères, le dimensionnement des onduleurs va imposer la façon de câbler les modules entre eux.

i. Compatibilité en puissance

$$P_{ond-min} = 0,9 \times P_{ch} \quad (14)$$

$$P_{ond-max} = 0,95 \times P_{ch} \quad (15)$$

$$P_{max} = N_{pvs-max} \times N_{ch} \times P_c \times N_{tr} \quad (16)$$

Avec N_{ch} : le nombre maximal de shunt en parallèle, P_c : puissance crête du panneau, $N_{pvs-max}$: nombre maximal de panneaux en séries et N_{tr} : nombre de tracker de l'onduleur.

ii. La compatibilité en tension

Un onduleur est caractérisé par une tension d'entrée maximale admissible U_{max} . Si la tension délivrée par les modules est supérieure à U_{max} , l'onduleur sera irrémédiablement détruit. Le dépassement de la valeur U_{max} pour la tension d'entrée est, par ailleurs, la seule cause d'endommagement définitif de l'onduleur.

Le nombre minimum et maximum de modules photovoltaïques en série se calcule par les formules suivantes :

$$N_{pvs-min} = Ent \left[\frac{U_{mppmin-ond}}{V_{mpp-pv} \times 0.85} \right] \quad (17)$$

$$N_{pvs-max} = Ent \left[\frac{U_{mppmax-ond}}{V_{mpp-pv} \times 1.15} \right] \quad (18)$$

V_{DCmax} est la tension maximale supportée à l'entrée de l'onduleur.

$$V_{DCmax} = 1,15 \times V_{co} \times N_{pvs-max} \quad (19)$$

iii. La compatibilité en courant

Le nombre maximum de chaînes photovoltaïques en parallèles se calcule par la formule simple suivante :

$$N_{ch=Ent} \left[\frac{I_{max-ond}}{I_{cc-pv} \times 1.25} \right] \quad (20)$$

e) Dimensionnement du réservoir d'eau [22]

Le concepteur devra déterminer la dimension optimale du réservoir d'eau non seulement selon la durée anticipée de stockage pour pallier les variations journalières, mais aussi et surtout selon les besoins des utilisateurs et bien sûr, selon le coût du système de stockage.

Le dimensionnement du réservoir repose donc sur un certain nombre de facteurs qu'il faudra avoir évalués au préalable :

- Lorsque la pompe est au fil du soleil, le réservoir doit pouvoir stocker l'eau nécessaire pour la journée, ou au moins pouvoir stocker l'eau fournie par la pompe.
- Le réservoir peut permettre de tirer l'eau de façon constante afin de maximiser le débit du forage ou du puits, surtout en période sèche.
- Le réservoir doit permettre une certaine autonomie durant les journées peu ensoleillées.

La taille du réservoir solaire dépend du nombre de personnes et de la consommation d'eau par personne et par jour. La consommation d'eau est estimée en fonction du type de bâtiment et du confort de l'aménagement. Le volume du réservoir doit représenter 1 à 1,5 fois la consommation d'eau quotidienne du village :

$$L_{rmin} = N_{fa} (N_{per} C_{per} + C_{b\acute{e}ta} C_{irr}) \quad (21)$$

Avec : L_{rmin} : Taille minimale du réservoir, N_{fa} : Nombre de familles du village, N_{per} : Nombre moyen des personnes pour chaque famille, C_{per} : Consommation moyenne d'eau quotidienne pour une personne, $C_{b\acute{e}ta}$: Quantité moyenne d'eau destinée pour la consommation des bétails d'une famille quotidienne et C_{irr} : Quantité moyenne d'eau destinée pour l'irrigation des plantes du jardin d'une famille.

Mais la taille maximale du réservoir est calculée comme suit :

$$L_{rmax} = 1.5N_{fa}(N_{per}C_{per} + C_{b\acute{e}ta}C_{irr}) \quad (22)$$

III.3.2. Application

Nous allons dimensionner un système de pompage à une base de vie située en plein Sahara dans la région d'Adrar où un forage est utilisé pour remplir un château d'eau d'une capacité de 100 m³.

III.3.2.1. Caractéristiques de la région d'Adrar

La Wilaya d'ADRAR s'étend sur la partie du Sud-ouest Algérien et couvre une superficie globale de 427.968 Km², soit 17,98 % du territoire national.

Selon le Code des agglomérations de l'office national des statistiques, la Wilaya d'Adrar compte 11 Daïra et 28 communes avec une population de 399 714 habitants et une densité de 0,94 habitant /km², répartis comme suit [23]:

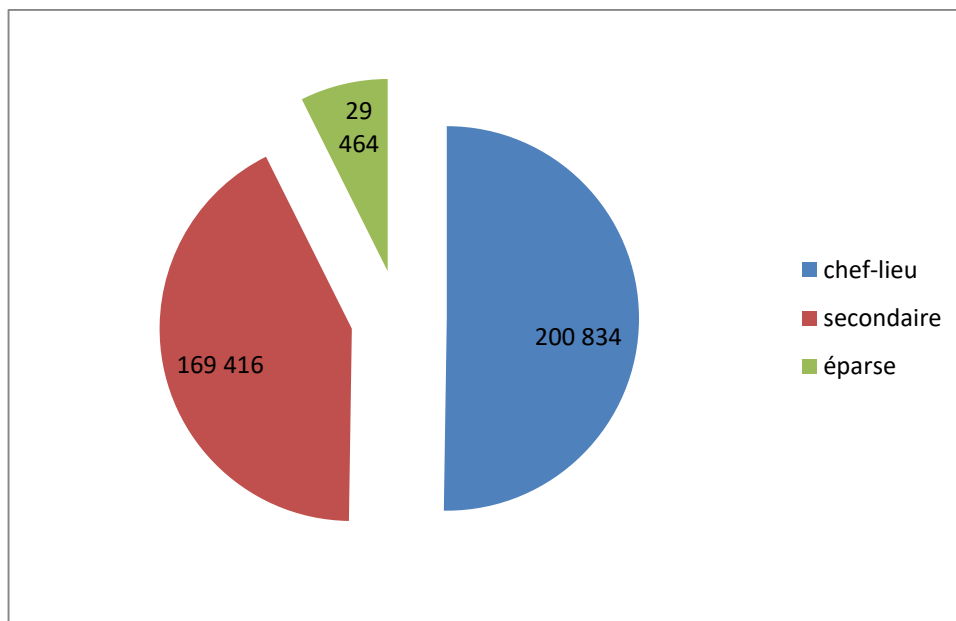


Figure III.2: Répartition de la population d'ADRAR

La région d'Adrar se caractérise par un relief d'aspect désertique et se divise en trois grands ensembles géomorphologiques différents que sont :

- Les Plateaux : Couvrent de très grandes surfaces et sont constituées de formation géologiques différentes (plateau du Tanezrouft).
- Les Ergs : Massifs dunaires s'étendant sur près de la moitié de la wilaya.

- Les Sebkhass : Correspondent aux puits les plus bas et appartiennent généralement aux anciens lits d'oueds très larges, elles sont formées de dépôts Co fluviaux gypseux. Exemple de La sebkha de Timimoune, la sebkha de Timokten et de Bouda.

Avec un climat de type continental désertique, la région d'Adrar est caractérisée par un régime pluviométrique très faible, d'une moyenne annuelle de 13mm, avec des précipitations rares et irrégulières d'une année à une autre et par un régime thermique qui présente lui aussi de grandes variations avec des hivers rigoureusement froids et de étés très chauds.

Tableau III.1. Données climatiques de la région d'Adrar

Grandeurs	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Températures max (°)	20,5	23,2	27,7	33,2	37,2	43,2	46	44,3	40,5	33,2	25,5	15,5
Températures min (°)	3,8	6,6	10,5	15,5	25,5	27,7	26,6	23,8	17,1	10,5	5,5	5,5
Humidité	46	40	32	25	23	20	23	29	39	48	50	50
Vents (m/s)	5,6	5,3	7,1	7,8	6	7,3	8,1	6,5	4,5	4,6	5,8	5,8

III.3.2.2. La durée du jour

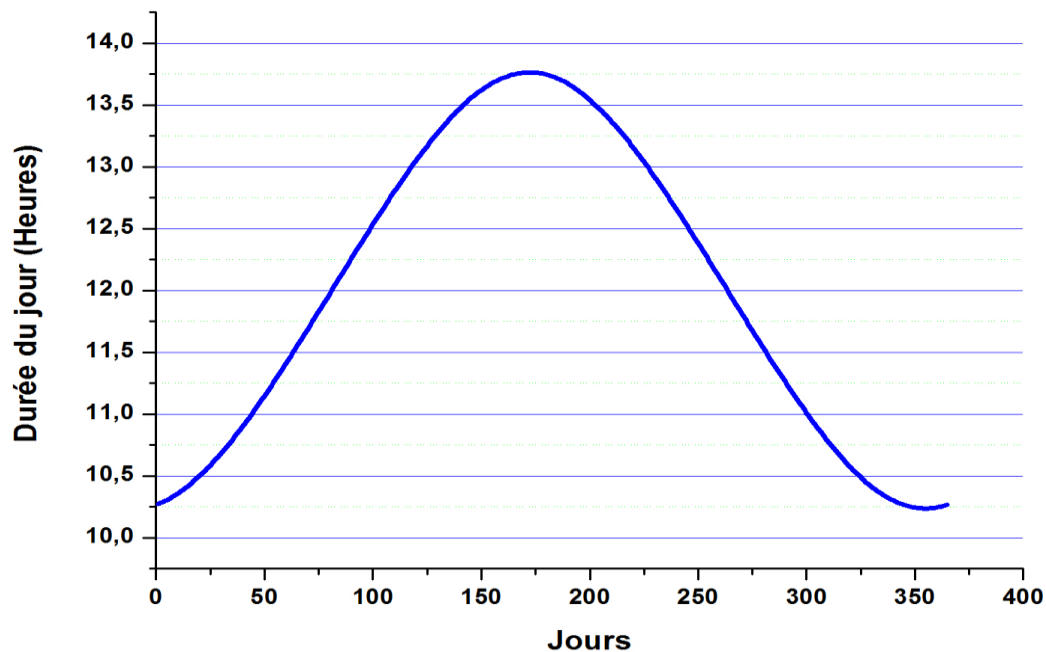


Figure III.3: Variation de la durée du jour à Adrar au cours d'une année

La durée du jour est le temps qui sépare le lever et le coucher du soleil. Deux instants particuliers de la journée qui donne une hauteur h du soleil nulle sont appelés : le lever et le coucher du soleil.

Pour les données du site d'Adrar, la durée du jour est maximale, lorsque la déclinaison du soleil est maximale, et elle est minimale lorsque la déclinaison est minimale, ce qui correspond aux solstices d'été et d'hiver.

III.3.2.3. La durée d'insolation à Adrar

D'après les données de l'atlas solaire algérien, document consacré à l'évaluation du gisement solaire en Algérie :

- La moyenne annuelle de durée d'insolation « *calculée* » pour un ciel totalement clair à Adrar est de 11.83 h.
- La moyenne annuelle de durée d'insolation « *mesurée* » pendant 1992 - 2002 est de 9.40 h.

III.3.2.4. Potentiel éolien à Adrar

L'étude du potentiel éolien de la région d'Adrar est basée sur les vitesses horaires de vent de la période 2003-2008 mesurées par l'ONM[24].

La station de mesure est placée à l'aéroport d'Adrar, ses coordonnées géographiques sont $27,82^{\circ}\text{N}$ et $-0,18^{\circ}\text{E}$; l'anémomètre est placé à une hauteur de 10 m.

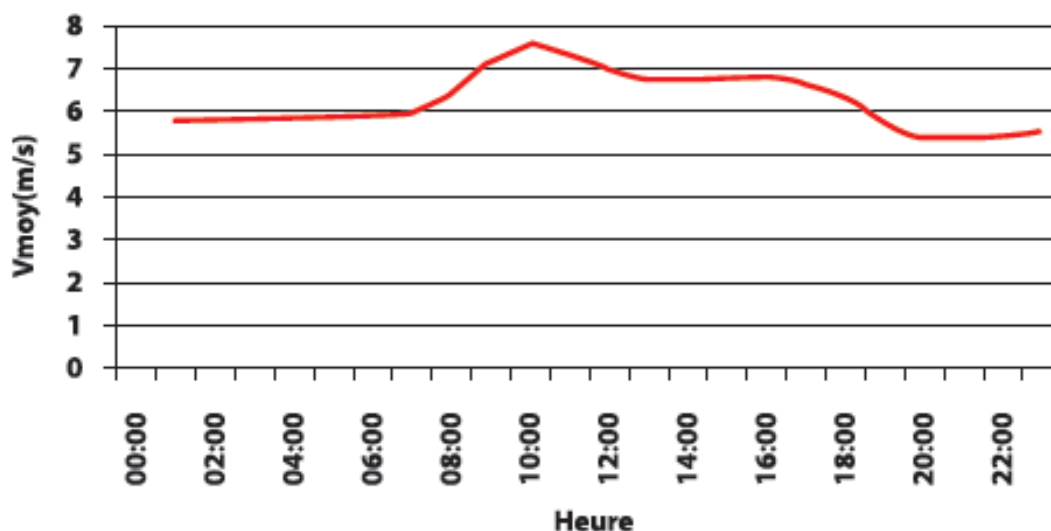


Figure III.4: variation journalier de la vitesse moyenne du vent

Les mesures disponibles sont des mesures horaires effectuées sur une période de six(6) années (2003 - 2008). Elles ont permis de tracer les variations journalières, mensuelle et annuelle de la vitesse moyenne du vent.

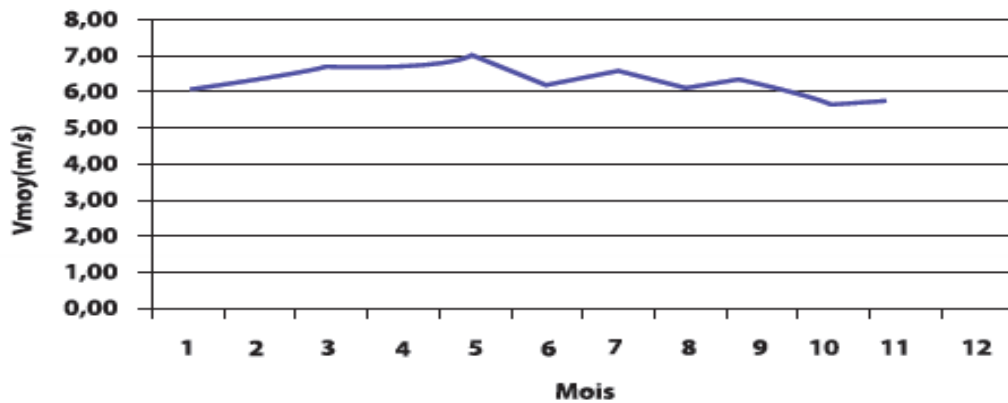


Figure III.5: Variation mensuelle de la vitesse moyenne du vent

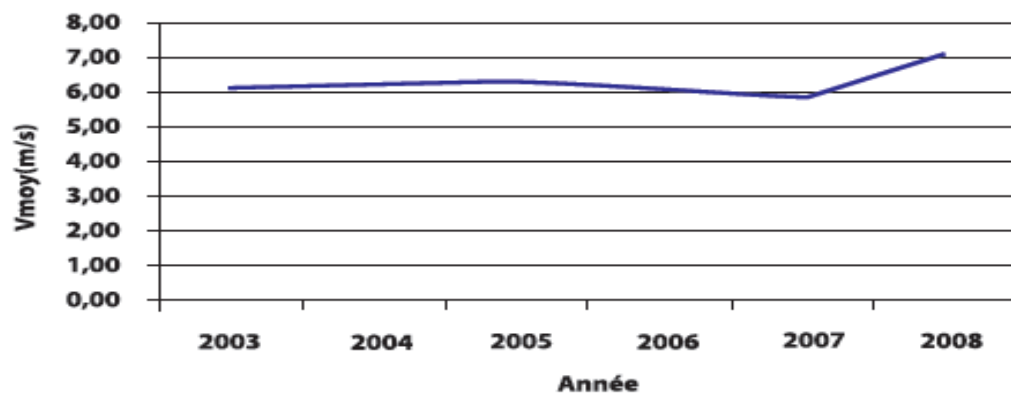


Figure III.6: Variation annuelle de la vitesse moyenne du vent

D'après les données météorologiques de la région on peut envisager l'utilisation d'un système hybride regroupant les deux sources d'énergies suivantes :

- Photovoltaïque avec batterie comme source principale.
- Eolien comme source complémentaire.

Afin de satisfaire les besoins quotidiens en eau, on a calculé les différents éléments de notre système pour :

- Réservoir d'eau : $V = 100 \text{ m}^3$,
- Une hauteur : $HMT = 20 \text{ m}$,
- Débit volumique : $q_v(\text{désiré}) = 20 \text{ m}^3/\text{h}$,
- Rendement de la pompe : $\eta_p = 55\%$,
- Rendement du moteur : $\eta_m = 85\%$,
- Rendement de l'onduleur : $\eta_{\text{ond}} = 95\%$,
- Pertes qu'on suppose égale à 20%.

Donc on aura :

Tableau III.2. Dimensionnement du système de pompage photovoltaïque

Symboles	Expressions	Résultats
Puissance hydraulique (P_{hyd})	$P_h = \rho \cdot g \cdot h \cdot q_v$	1090 W
Puissance mécanique (P_{mec})	$P_{\text{mec}} = \frac{P_h}{\eta_p}$	1981,81 W
Puissance électrique ($P_{\text{élec}}$)	$P_{\text{elec}} = \frac{P_{\text{mec}}}{\eta_m}$	2331,54 W
Puissance demandée par les modules (P_{dem})	$P_d = \frac{P_{\text{elec}}}{\eta_{\text{ond}}}$	2454,25 W
Temps de pompage nécessaires pour satisfaire les besoins en eau (τ_p)	$\tau_p = \frac{V}{Q_n}$	5 h
Energie électrique journalière demandée ($E_{\text{élec}}$)	$E_c = P_d \tau_p$	12271,26 Wh/j
Puissance du générateur PV (P_{pv})	$P_{\text{pv}} = \frac{E_c}{\tau_p(1-\sum p_{\text{pertes}})}$	3067,81 W
Nombre de panneaux (N_{pv})	$N_p = \frac{P_{\text{pv}}}{P_{\text{wc}}}$	30 panneaux

iv. Le choix de l'onduleur

Le dimensionnement de l'onduleur consiste à calculer le nombre d'onduleurs nécessaires pour le générateur photovoltaïque. Dans les petits systèmes hybrides un onduleur sera suffisant, mais pour un plus grand système hybride plusieurs onduleurs peuvent être

nécessaires. La tension continue de l'onduleur doit être égale à la tension du générateur et de fréquence égale à celle de la charge [25]. Pour les besoins de ce système, l'onduleur choisi est présenté par le tableau suivant :

Tableau III. 3. Les caractéristiques techniques de l'onduleur SMA Sunny Boy 3000 TL

SMA Sunny Boy 3000 TL			
Entrée (DC)		Sortie (AC)	
Puissance DC max	3200 W	Puissance nominale AC	3000 W
Tension DC max	550 V		
Plage de tension photovoltaïque MPPT	188 V- 440 V	Puissance AC max	3000 VA
Courant d'entrée max	17 A		
Nombre de MPP trackers	1	Courant de sortie max	16 A
Nombre max d'entrée (shunt)	2		

▪ **Groupement en série-parallel :**

Afin d'obtenir la puissance désirée, sous une tension convenable, il est nécessaire de montrer les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque (GPV).

Tableau III.4. Résultat de dimensionnement de l'onduleur SMA Sunny Boy 3000 TL

Compatibilité en puissance			Compatibilité en tension			Compatibilité en courant
P_{ond_min}	P_{ond_max}	P_{DCmax}	$N_{pvs-min}$	$N_{pvs-min}$	V_{max}	N_{ch}
2700 W	2850 W	4200 W	12	21	538,545 V	2

D'après les résultats du tableau ci-dessus on voit que notre onduleur ne supporte pas un nombre de 21 panneaux en séries, donc on va diminuer jusqu'à avoir la puissance P_{DCmax} compatible c'est-à-dire $P_{DCmax} \leq 3200$ W.

Du coup on prend $N_{pv-s} = 15$

Tableau III.5. Résultat de dimensionnement de l'onduleur.

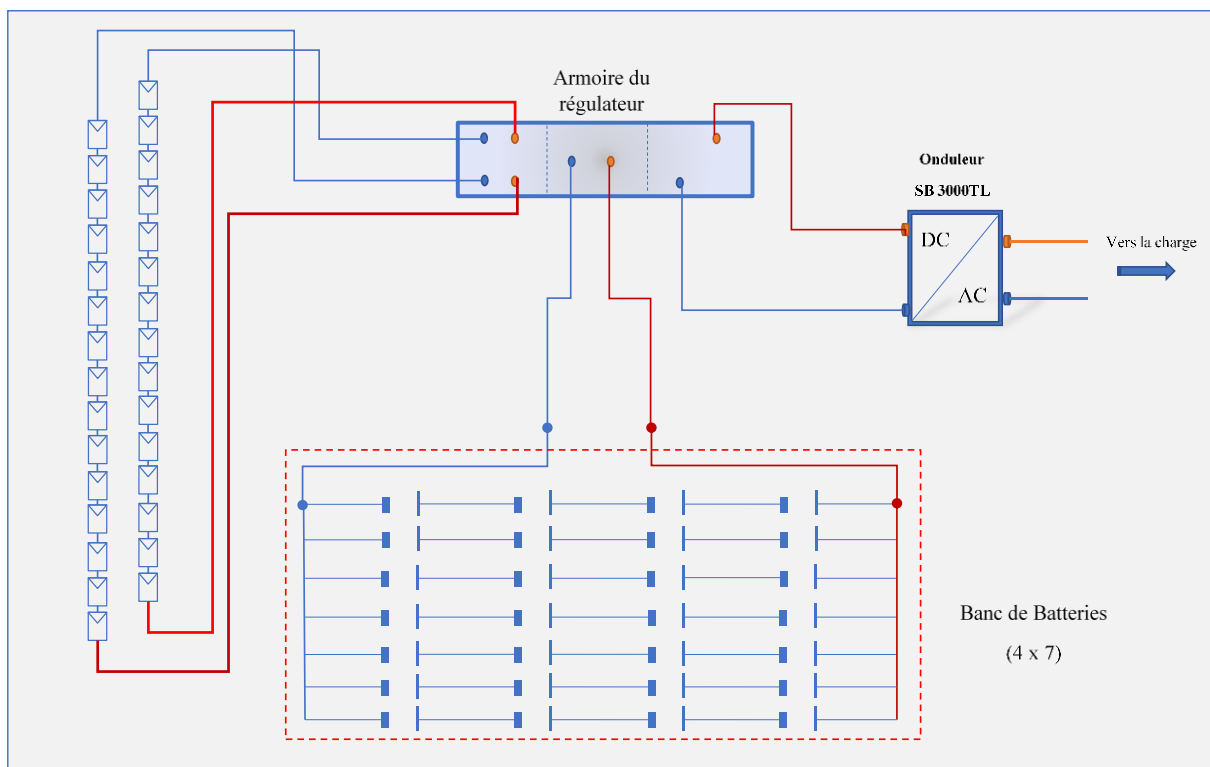
Compatibilité en puissance			Compatibilité en tension			Compatibilité en courant
P_{ond_min}	P_{ond_max}	P_{DCmax}	N_{pvs_min}	N_{pvs_min}	V_{max}	N_{ch}
2700 W	2850 W	3000 W	12	15	384,675 V	2

III.3.3. Dimensionnement des batteries

En utilisant les équations 5, 6, 7 et 8 on a trouvé les résultats suivants

Tableau III.6. Résultat de dimensionnement des batteries.

Capacité des batteries (Ah)	Nombre de batteries calculées	Nombre de batteries en série	Nombre de batteries en parallèle
4260,97 Ah	28	4	7

**Figure III.7:** Branchement des différents composants du système photovoltaïque avec batteries

III.3.4. Contrôle du système multi-sources de production d'énergie

Dans notre système nous prenons le système photovoltaïque de 30 panneaux comme générateur principal, tandis que le système éolien de 1KW sera un générateur complémentaire et les batteries seront pour utilisées pour la compensation. Un algorithme assure la gestion d'énergie des différentes sources.

III.3.4.1. Gestion du système multi-sources

III.3.4.1.1. Organigramme de gestion d'énergie

Afin de faire fonctionner le système global d'une manière parfaitement autonome, il est primordial de gérer de façon optimale le flux d'énergie entre les différents composants. L'algorithme de gestion a pour rôle de contrôler les échanges d'énergie entre les différents composants d'une part mais aussi de réguler le processus de charge/décharge du stockage (protection contre les surcharges et les décharges profondes), pour préserver les propriétés physico-chimiques des batteries et de prolonger leur durée de vie [26].

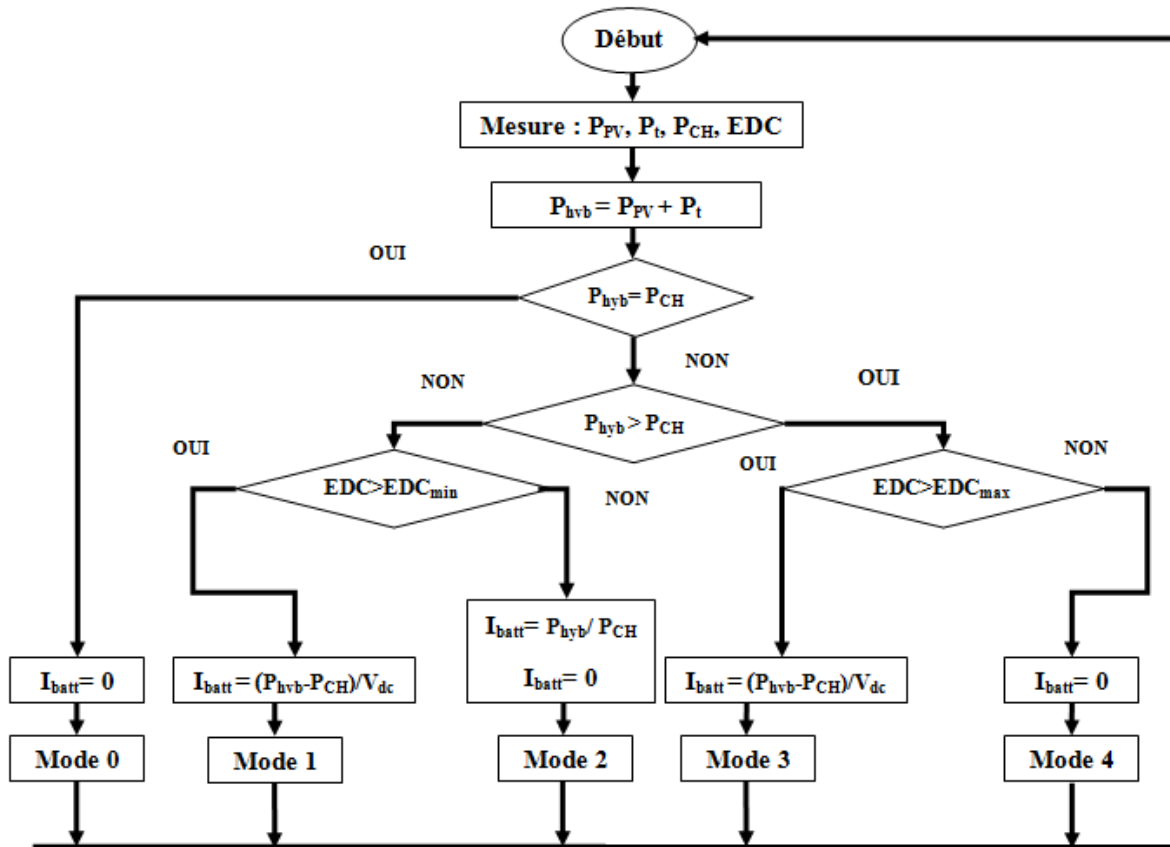


Figure III.8: Organigramme de gestion d'énergie dans le système global

A partir de cet algorithme, nous pouvons donc établir les modes de fonctionnement de ce système de gestion. On prend P_{hyb} la puissance fournie par les deux générateurs (photovoltaïque et éolien) et P_{ch} la puissance demandée par la charge.

III.3.4.1.2. Les modes de la gestion

Mode 0 : quand la puissance fournie par les deux générateurs photovoltaïque et éolien (P_{hyb}) est égale à la puissance demandée par la charge (P_{ch}), cela va conduire à l'alimentation directe de la charge.

Mode 1 : la puissance hybride (P_{hyb}) est inférieure à la puissance demandée par la charge (P_{ch}), ce manque de puissance sera compensé par la batterie étant donné que l'état de charge de la batterie est supérieur à EDC_{min} .

Mode 2 : est la situation où la puissance hybride (P_{hyb}) est insuffisante pour alimenter la charge, et l'état de charge de la batterie est inférieure à EDC_{min} . On déconnecte donc la batterie et vu que la demande de la charge n'est pas satisfaite, cette dernière va aussi se déconnecter. Dès que cela arrive la batterie se reconnecte à nouveau pour emmagasiner le peu d'énergie disponible.

Mode 3 : la puissance hybride (P_{hyb}) est supérieure à la puissance demandée par la charge (P_{ch}) et l'état de charge de la batterie est inférieur à EDC_{max} , on alimente la charge et on charge la batterie.

Mode 4 : la puissance hybride (P_{hyb}) est supérieure à la puissance demandée par la charge (P_{ch}) et l'état de charge de la batterie est supérieur à EDC_{max} , on déconnecte la batterie et la charge sera alimentée par les deux générateurs (photovoltaïque et éolien). Et le surplus d'énergie sera dirigé vers une résistance de délestage.

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les étapes nécessaires pour le dimensionnement d'un système de pompage multi-sources pour un site isolé situé dans la région d'Adrar, capable de fournir l'énergie nécessaire pour alimenter la charge.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire concerne une application des plus actuelles de l'énergie renouvelable, celle de l'utilisation de l'énergie solaire et de l'énergie éolienne.

Vu la grande superficie du territoire algérien, de nombreuses habitations sont isolées ou à une distance importante du réseau électrique. L'état a affiché sa volonté pour le développement des énergies renouvelables permettant au pays d'avoir une industrie nationale.

L'objectif principal est de dimensionner et de développer un algorithme de gestion d'énergie pour un système de pompage multi-sources composé d'un générateur photovoltaïque, un générateur éolien, d'un banc de batteries et d'un groupe motopompe doté d'un réservoir d'eau, pour assurer la satisfaction des besoins en eau pour un site isolée située à la région d'Adrar.

L'utilisation des énergies renouvelables dans les sites isolés pour différentes applications tel que le pompage d'eau présente un intérêt très important.

Un système multi-sources (Photovoltaïque, éolien, batteries) peut répondre au besoin en eau d'une localité isolée. Avec un algorithme de gestion qui assure la disponibilité de l'énergie, le bon fonctionnement malgré les changements climatiques et la protection des batteries contre les décharges et les surcharges ce qui va aider à augmenter leurs durées de vie.

D'une manière générale, cette étude a apporté les éléments nécessaires pour la mise en place du dimensionnement d'un système hybride autonome photovoltaïque éolien avec stockage

*Références
bibliographique*

- [1] I.Vechiu, ‘ modélisation et analyse de l’intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome ‘ Thèse Doctorat, Université du Havre, 2005.
- [2] D. Abbes, ‘ Contribution au dimensionnement et à l’optimisation des systèmes hybrides éoliens-photovoltaïques avec batteries pour l’habitat résidentiel autonome’, Thèse Doctorat, Université de Poitiers, 2012.
- [3] L. Stoyanov, ‘Etude de différentes structures de systèmes hybrides à sources d’énergie renouvelables ‘, Thèse doctorat, l’université technique de Sofia, 2011.
- [4] S.Vighetti, ‘Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau : Choix et dimensionnement des étages de conversion’, Thèse Doctorat, Université de Grenoble, 2010.
- [5] Dj.Rahem, ‘Optimisation et dimensionnement d’un système solaire de pompage d’eau’, Mémoire de fin d’études, Université Larbi Ben M’Hidi - Oum El Bouaghi ,2016
- [6] Y. Riffonneau, ‘gestion des flux énergétiques dans un système photovoltaïque avec stockage connecte au réseau– Application à l’habitat ‘, Thèse Doctorat, Université Joseph Fourier, 2009.
- [7] M. Zandi ; ‘contribution au pilotage des sources hybrides d’énergie électrique’, Thèse Doctorat ; NANCY Université - Institut National Polytechnique de Lorraine, 2010.
- [8] A. Benjemaa, ‘Coopération méta heuristique et logique floue pour le dimensionnement d’une installation hybride’. Thèse doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne, 2015
- [9] E. SADAoui, M. MEDDOURI, ‘Gestion d’énergie dans un système hybride (Photovoltaïque - Eolien)’, Projet de Fin de cycle, Université Abderrahmane Mira – Bejaia Faculté de Technologie Département de Génie Electrique, 2012.
- [10] M. A. Camara, ‘Modélisation du stockage de l’énergie photovoltaïque par super-condensateurs’, thèse doctorat, Institut Polytechnique de CONAKRY – Université Gamal Abdel Nasser –Guinee, 2011
- [11] E. Aitor, ‘Microgrid Hybrid Energy Storage Integration and Three Level NPC converter’, Thèse doctorat, Université Bordeaux 1, 2012
- [12] F. Ben Salaheddine, H. Ouahrani, ‘Mise au point d’un banc d’essai d’une motopompe centrifuge’, Mémoire de master, Université A. Mira de Bejaia, 2017.
- [13] A. Belaid, ‘Etude et conception d’une pompe Centrifuge’, mémoire de Master, Université de Biskra, 2017.

- [14] A. ADJATI, 'Etude des machines asynchrones a double étoile en pompage', Mémoire de Magister, Université A.MIRA-BEJAIA Faculté de Technologie Département de Génie Electrique, 2012.
- [15] L. Imorou, 'Etude et dimensionnement des systèmes de pompage photovoltaïque dans les localités rurales du benin : cas de adjakpata', Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur 2i avec le grade de master, Institut International d'Ingénierie. BURKINA, 2016.
- [16] H. Abderrazzak, 'Conception et dimensionnement d'un système Photovoltaïque pour habitation et pompage', Mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra, 2018.
- [17] M. degla, B. ben ahmed, 'Dimensionnement d'un Système de Pompage Photovoltaïque', Mémoire MASTER PROFESSIONNEL, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2017.
- [18] Recherche et développement, Bulletin des énergies renouvelables - N° 2 Décembre 2002 'Pompage éolien'.
- [19] M.L. Louazene, D. Korichi et B. Azoui, 'Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque application sur le site de ouargla'. Mars 2013.
- [20] Ch. Serir, 'Optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque'. Thèse de Magister, Université de Bejaia, 2012.
- [21] <http://www.photovoltaique.guidenr.fr>
- [22] Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric Schiller, Bocar Sada Sy, « LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens ». IEPF/Université d'Ottawa/EIER/CREPA.
- [23] A. Belfedhal, 'Etude et Simulation d'une Centrale Photovoltaïque connectée au Réseau Electrique à la Région d'Adrar', Mémoire de Magister, Université Ahmed Draïa Adrar, 2014.
- [24] Fatiha Sebaa-Ben Miloud et R. Aïssaoui, 'Etude du potentiel éolien d'Adrar Sélection de sites pour la ferme éolienne de 10 MW', Revue des Energies Renouvelables SMEE'10 Bou Ismail Tipaza, 2010.
- [25] Z. Benhachmi, « élaboration d'un modèle de dimensionnement d'un système hybride (solaire-éolien) alimentant une ferme dans la région des Aurès ». Mémoire de Magister. Université de Batna, 2012.
- [26] site : www.wikipedia.com

Annexes

A. Module solaire photovoltaïque

Différents types de panneau photovoltaïque existe sur le marché, mais notre choix est focalisé sur les : monocristallin. On a pris trois panneaux de puissances différentes du type ‘Condor’

❖ Caractéristiques électriques et mécaniques du modulePV

B. Batterie

Pour notre dimensionnement nous avons choisie des batteries de marque ‘condor’ de la gamme CGB 12-150 Ah

Batteries AGM-GEL

La batterie stocke l'électricité accumulée pendant la journée pour la redistribuer aux équipements nécessitant d'être alimentés.
Ce type de batteries est complètement étanche et sans entretien.



POINTS FORTS :

- Longue durée de vie
- Charge rapide, possibilité d'une intensité de charge élevée
- Supporte de très nombreux cycles de charge/décharge

La gamme

-CGB 12-100 Ah	-CGB 12-200 Ah
-CGB 12-120 Ah	-CGB 12-230 Ah
-CGB 12-150 Ah	-CGB 12-250 Ah