

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE
L'ENSEIGNNMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Africaine AHMED DRAYA ADRAR

Faculté des Science de la Technologie

Département des Science de la Technologie

Domaine : Science de la Technologie

Filière : électrotechnique

Spécialité : commande électrique

Intitulé



Etude d'une ferme typique en termes d'autosuffiance en électricité par les énergies renouvelables

Présentation:

Mr.Moumni Amel

Mr. Hadji Nesrine

Devant le jury :

Président :

Promoteur :

Examineur : Dahbi Hassan

Année Universities: 2019/2020

Remerciements

Avant tout je remercie ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté Pour accomplir Ce travail de recherche.

Le travail présenté dans ce mémoire a été dirigé par Monsieur Dahbi Hassan. Je tiens à lui exprimer toute ma gratitude et ma reconnaissance d'avoir proposer et diriger ce travail. Ses qualités humaines, son esprit critique et particulièrement ses conseils et ses orientations ont apporté beaucoup à l'aboutissement de ce travail

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À mes très chers **parents**, qui ont toujours été là pour moi,
« Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous
m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance.

Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier ».

À mes sœurs pour leur encouragement.

Enfin, À tous mes collègues de la promotion. Pour leur sincère amitié et confiance, et
à qui je dois ma reconnaissance et mon attachement.

À tous (es) qui ont contribué de près ou de loin à ma réussite.

Nesrine Hadji

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

Mes chère **parents** symbole de tendresse profonde et permanente, de sacrifice et d'amour éternel, que dieu les protègent pour moi et leur accordent une bonne santé et une longue vie.

Mes chères frères

Mes enseignants depuis Mon enfance

Mes Amis (es) et mes collègues

A tout ceux qui m'on aidé à réaliser de près ou de loin ce mémoire

A ceux qui me sont chère et ceux que j'ai aimé du fond du Mon Coeur.

Moumni Amel

SOMMAIRE

Listes des figures	
Liste des tableaux	
Résumé	
Introduction général	01
Chapitre I: GENERALITES SUR LES ENERGIES RENOUVELABLES	
I.1 Introduction	04
I.2 Description	04
I.2.1 L'énergie hydraulique	04
I.2.2 Energie Marin	07
I.2.3 L'énergie de la géothermie	08
I.2.4 l'énergie éolienne	09
I.2.4.1 Principaux composants d'une éolienne	10
I.2.4.2 Le Principe de fonctionnement d'une centrale éolienne	12
I.2.4.3 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne	15
I.2.5 L'énergie solaire	15
I.2.5.1 L'énergie photovoltaïque	16
I.2.5.2 Solaire thermique	17
I.2.5.3 Solaire thermodynamique	18
I.2.6 Energie biomasse	20
I.2.6.1 Classification et source de la biomasse	21
Conclusion	21
Chapitre II: SYSTEME HYBRIDE	
II.1 Introduction	24
II.2 Définition d'un système hybride	24
II.3 Structure des systèmes de generation	25
II.4 L'architecture d'un système hybride	25
II.4 .1 Architecteur à bus à CC	25
II.4.2 Architecture à bus à courant alternatif (AC)	26
II.4.3 Architecture mixte à bus à CC/CA	28
II.5 Classification des systèmes hybrides	29

II.6 Les composants d'un système hybride	30
II.6.1 Description de la chaîne de conversion éolienne.	31
II.6.2 Description de la chaîne de Conversion d'énergie photovoltaïque	36
II.7 Système de stockage	42
II.8 Générateur diesel	43
Conclusion	44

Chapitre III: APPROCHES THEORIQUES ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGETIQUES DANS NOTRE

III.1 Introduction	46
III.2 Le pompage photovoltaïque	46
III.2.1 Classification selon la conception de la pompe :	48
III.2.2 Classification selon la position de pompe	51
III.3 Les types de moteurs	52
III.4 Dimensionnement et choix de la pompe	53
III.5 Les pivots solaires	58
III.5.1 description des techniques d'irrigation	59
III.5.2 Classification des Systèmes d'irrigation	59
III.5.3 Le système d'irrigation par pivot solaire	63
III.6 L'éclairage public	68
III.6.1 L'objectif d'éclairage	68
III.6.2 Généralités sur le matériel d'éclairage public	68
III.6.3 Différent source d'éclairage	73
III.6.4 Dimensionnement d'un éclairage	74
III.6.5 Les étapes à suivre pour l'étude de l'éclairage	77
III.6.6 Principe de conception d'un projet d'éclairage public	78
III.6.7 Commande automatique d'éclairage publique	79
III.6.8 L'éclairage par un système photovoltaïque :	79
Conclusion	79

Chapitre VI: PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUES ET ESTIMATION DE CONSOMATION

VI.1 Introduction	87
IV.2 Présentation du site du projet (ADRAR)	87
VI.3 Proposition plan de la ferme	87

VI.4 Système de pompage	88
VI.4.1 Estimations des besoins en eau	89
VI.4.2 Rayonnement solaire	90
VI.4.3 Hauteur manométrique total	90
VI.5 Dimensionnement de la station de pompage	90
VI.5.1 Choix de la pompe	91
VI.5.2 Le convertisseur DC/AC (onduleur)	93
VI.6. Les fiches des calculs	93
VI.6.1 Fiche de calcul N01 : Besoin énergétique journalier	93
VI.6.2 Fiche de calcul N02 : Dimensionnement et choix des modules	95
VI.6.3 Fiche de calcul N03 : Dimensionnement et choix de la batterie	97
VI.6.4 Fiche de calcul 04 : Dimensionnement et choix du régulateur de charge/de l'onduleur	99
VI.6.5 Fiche de calcul 05 : Câblage, chute de potentiel et fusibles	101
VI.7 Eclairage public	103
Conclusion	104
Conclusion générale	106
Références bibliographiques	108
Annexe	116

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I	
Figure I.1: les types des turbines.	07
Figure I.2: énergie géothermique.	09
Figure I.3: Composants d'une éolienne.	10
Figure I.4: Constitution de la nacelle.	12
Figure I.5 : Turbine Savonius.	13
Figure I.6 : Turbine Darrieus	
Figure I.7 : Configurations à axe horizontal.	14
Figure I.8: Fonctionnement de cylindro-paraboliques	18
Figure I.9: les concentrateurs à lentilles de Fresnel	19
Figure I.14: les capteurs paraboliques	19
Figure I.15: Les centrales à tour	20
Figure I.16 : énergie de la biomasse.	21
CHAPITRE II	
Figure II.1: Architecteur à bus à CC	26
Figure II.2: Architecteur à bus à AC	27
Figure II.3 : Architecteur à bus CC-CA	28
Figure II.4: Organigramme de classement en fonction de la structure d'un (SEH)	30
Figure II.5: Théorie de Betz	33
Figure II.6: Diagramme de la puissance utile sur l'arbre en fonction de la vitesse du vent.	34
Figure II.7 : Principe de fonctionnement d'une cellule PV	37
Figure II.8 : Caractéristique d'une cellule PV	38
Figure II.9: Principe de conversion d'un Système photovoltaïque connectés au réseau	40
Figure II.10: Composantes d'un générateur de modules photovoltaïque.	41
Figure II.11: Association en série	42
Figure II.12: Association en parallèle	42
Figure II.13: Organigramme descriptif de différents types de stockage	43
Figure II.14: Générateur diesel	44
CHAPITRE III	
Figure III.1 : Caractéristiques du débit pour le pompage au fil du soleil et avec batterie	47
Figure III .2: Classification des pompes	48

Figure III.3 :Pompe à piston pour de grandes profondeurs et de petits débits d'eau	49
Figure III.4 :Caractéristiques d'une pompe volumétrique	49
FigureIII.5 :Cheminement de l'écoulement dans une pompe centrifuge à étages multiples	50
Figure III.6 :Caractéristiques d'une pompe centrifuge	51
Figure III.7 :Pompe centrifuge surface	51
Figure III.8 :Moteur à courant continu avec balais	52
Figure III.9 : Chaîne de conversion d'un pompage PV au fil du soleil	54
Figure III.10 : Système de pompage photovoltaïque avec stockage	55
Figure III.11 : Pivot solaire	58
Figure III.12 : Différentes méthodes d'irrigation pratiquées	59
Figure III.13 : Irrigation par basins	60
Figure III.14 :L'irrigation par sillons	61
Figure III.15 :L'irrigation par palanche	62
Figure III.16 : L'irrigation au goutte à goutte	62
Figure III.17 : L'irrigation par aspersion	63
Figure III.18 :Le système d'irrigation par pivot solaire	63
Figure III.19 :Schéma de principe d'un pivot solaire	64
Figure III.20 :L'élément central	65
Figure III.21 :Schéma d'une rampe pivotante	66
Figure III.22 : Schéma d'un Le motoréducteur	66
Figure III.23 : l'éclairage extérieur	68
Figure III.24 : l'éclairage intérieur	68
Figure III.25 : Les différents types des lampes	70
FigureIII.26 : types des lampes	72
Figure III.27 : Variation relative du flux lumineux des lampes en fonction de la durée d'utilisation	73
Figure III.28 : Dimensions d'un lieu	74
Figure III.29 : Forme classique avec bras lumineux	80
Figure III.30 : Forme classique avec point lumineux intégré	81
Figure III.31 : Forme complètement intégrée	82
Figure III.31 : Forme complètement intégrée	83
Figure III.32 : lampadaires hybrides utilisant les energies eolienne et solaire	84
CHPITRE VI	

FIGURE VI.1: Site d'ADRAR	87
FigureVI.2: Plan de la ferme	88
Figure VI.3 : Caractéristiques électriques de la pompe PS1600	92
Figure VI.4: Besion énergiique journalier	94
Figure VI.5: dimensionnement et choix des modules	96
Figure VI.6: dimensionnement et choix des batteries	98
Figure VI.7: dimensionnement et choix du régulateur de charge/de onduleur	100
Figure VI.8 : Câblage, chute de potentiel et fusibles	102
Figure VI.9 : éclairage public EPS-ECO40	103

LISTE DES TABLEAU

CHAPITRE II	
Tableau II.1: Classification des systèmes hybrides	29
Tableau II.2 : classification des systèmes hybrides par gamme de puissance	31
CHAPITRE III	
Tableau III.1 : tableau de différente source d'éclairage	69
Tableau III.2 : les différents types des lampes	71
Tableau III.3: coefficient de réflexion	75
Tableau III.4: facteur d'eclairage	75
Tableau III.5: facteur utilance pour $j=0$	76
Tableau III.6: facteur utilance pour $j=1/3$	76
Tableau III.7: distance entre luminair	77
CHAPITRE VI	
Tableau VI.1: Estimation des besoins en eau.	89
Tableau VI.2 : Les besoins journaliers moyens mensuels en eau des palmiers / hectare	90
Tableau VI.3 : Les valeurs globales de l'irradiation journalière mensuelle pour une inclinaison optimale	90
Tableau VI.4 : Caractéristiques électriques d'une gamme de pompes E.CO.ME.S SOLAIRE	92
Tableau VI.5: Caractéristiques électriques de l'onduleur.	93
Tableau VI.6: caractéristique de éclairage public EPS-ECO40	103

Résumi

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'exploitation des sources d'énergie renouvelables dans le domaine d'électricité. Où on a brièvement évoqué les types d'énergies renouvelables avec comment l'exploiter dans un système hybride et son importance. Puis on a présenté des méthodes simplifiées pour le dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome destiné pour l'alimentation d'une ferme proposée où on a étudié et dimensionner le système de pompage et l'éclairage pour satisfaire les besoin de la ferme.

Mots clé : dimensionnement, système de pompage, éclairage public, photovoltaïque, hybride, énergie renouvelable.

المخلص

هذا العمل عبارة جزء من استغلال مصادر الطاقة المتجددة في مجال الكهرباء. حيث تطرقنا بإيجاز إلى أنواع الطاقات المتجددة وكيفية استغلالها في نظام هجين وأهميتها. بعد ذلك، تم تقديم طرق مبسطة لتحديد حجم النظام الكهروضوئي المستقل لتشغيل مزرعة مقترحة حيث تم تصميم نظام الضخ والإضاءة وحجمهما لتلبية احتياجات المزرعة.

كلمات مفتاحية: حساب الأبعاد، نظام الضخ، الإنارة العمومية، الكهروضوئي، النظام الهجين، الطاقات المتجددة.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Aujourd'hui, plus de 85% d'énergie utilisée dans le monde provient de gisement de combustible fossile (charbon, pétrole, gaz) ou d'uranium, constitués au fil des âges et de l'évolution géologique. La limitation de la quantité de ces réserves, la crise successive du pétrole en 1973 et l'accroissement de la demande d'énergie dans tous les pays du monde ont conduit les pays industrialisés à chercher et à développer de nouvelles sources d'approvisionnement. La filière nucléaire était déjà lancée, mais son choix à grande échelle peut amener des conséquences graves, surtout à l'environnement, à cause de la pollution et aussi les accidents nucléaires.

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 (cellules solaires ou photopiles). La conversion de la lumière en électricité (conversion photovoltaïque) se produit dans des matériaux semi-conducteurs. Le photovoltaïque peut jouer un rôle important dans la transition vers un système d'approvisionnement énergétique durable pour le XXI^e siècle et est susceptible de couvrir une part importante des besoins en électricité de plusieurs pays.

L'Algérie avec sa situation géographique, favorise le développement de l'utilisation des énergies solaire et éolienne. Elle occupe une position privilégiée dans l'exploitation d'énergie solaire 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. Elle reçoit le maximum d'énergie lors du solstice d'été (21 ou 22 juin) et le minimum lors du solstice d'hivers (21 ou 22 décembre).

Dans ces dernières années, la production d'électricité à partir de la conversion photovoltaïque augmente dans le monde d'une façon remarquable. Cependant, la part de cette conversion en électricité reste faible comparativement à celle des autres énergies renouvelables, telles que l'énergie éolienne. Cette dernière représente un potentiel important à la région sud Adrar très précisément, elle donne une autre extension pour notre pays pour se diversifier au point de production d'électricité d'origine renouvelable dans les décennies à venir.

INTRODUCTION GENERALE

Considérant leurs caractéristiques saisonnières respectives, ces deux énergies ne se concurrencent pas mais au contraire peuvent se valoriser mutuellement. C'est pourquoi on propose ici un système hybride composé de ces deux sources d'énergie, qui consiste en l'exploitation optimale de la complémentarité entre elles. Cette complémentarité d'énergie est accompagnée par un système de stockage assuré par des batteries au plomb.

L'utilisation de l'énergie hybride (solaire-éolien) est de plus en plus utilisée dans diverses applications en sites isolés telles l'éclairage, les télécommunications, la réfrigération ou le pompage. Son utilisation au niveau du pompage s'est répandue rapidement surtout dans les régions rurales et sahariennes. L'ampleur de l'utilisation de l'énergie hybride nous amène à étudier un système de pompage éolien-photovoltaïque d'eau composé d'un générateur hybride couplé directement à un moteur à courant continu à aimants permanents qui entraîne une pompe centrifuge.

Dans le cadre de collaboration entre l'université et le milieu social nous avons proposé ce sujet, d'autant plus que notre wilaya est une zone désertique et qu'il contient des énergies renouvelables qu'en peut l'exploiter dans le domaine agricole. A Travers cette étude en vas faire un modèle théorique d'une ferme autosuffisante en électricité par les énergies renouvelables .

Et Pour atteindre cette objectif, nous avons scindé notre mémoire en quatre chapitres. Le premier chapitre présente les différents types des énergies renouvelables (l'énergie solaire et éolien, biomasse, l'énergie de mer et hydraulique). Le deuxième est consacré à une étude qui décrit les différentes architectures et les composantes du système hybride photovoltaïque-éolien. Pour Le troisième chapitre Nous mettons une approche théorique et pratique des indicateurs énergétiques dans notre étude, est dans le dernier chapitre Nous avons montré un modèle d'une ferme alimenté 100 % par les énergies renouvelables.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES ENERGIES RENOUVELABLES

Chapitre I : GENERALITE SUR LES ENERGIES RENOUVLABLES

I.1 Introduction

Si l'on veut sortir du tout pétrole, IL n'y a qu'une seule solution: développer les énergies renouvelables. [1]

Les énergies renouvelables sont des énergies issues du soleil, du vent, de la géothermie, des chutes d'eau, des marées ou de la biomasse ; leur exploitation n'engendre pas ou peu de déchets et d'émissions polluantes : ce sont les énergies de l'avenir ! Aujourd'hui, elles sont sous-exploitées par rapport à leur potentiel. Ainsi, les énergies renouvelables couvrent seulement 20 % de la consommation mondiale d'électricité (en intégrant l'hydroélectricité). Ces énergies regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue. [2]

Toutes les énergies utilisées par l'homme proviennent de l'une des sources suivantes:

➤L'énergie rayonnante émise par le Soleil (énergie solaire), principalement sous deux formes: [1]

- L'énergie solaire directe.
- L'énergie solaire capturée sous la forme de combustibles biomasse ou fossiles.
 - L'énergie géothermique de l'intérieur de la Terre.
 - L'énergie des marées provenant de l'attraction de la lune.
 - L'énergie nucléaire.

I.2 Description

Les énergies sont dites "renouvelables" tant qu'elles dépendent du système écologique de la Terre, de l'insolation et de l'énergie géothermique de la Terre. En pratique, les sources énergétiques renouvelables font allusion à [1]:

- L'énergie hydraulique.
- L'énergie de la mer.
- L'énergie géothermique.
- L'énergie éolienne.
- L'énergie solaire.
- L'énergie biomasse.

I.2.1 L'énergie hydraulique

L'hydraulique est actuellement la première source renouvelable d'électricité. La puissance hydroélectrique installée dans le monde en 2004 était estimée à 715 GW, soit environ 19% de la puissance électrique mondiale. Près de 15 % de toute l'électricité installée en Europe est d'origine hydraulique. On discerne la petite hydraulique (Inférieure à 10 MW) et la grande hydraulique (supérieure à 10 MW).

Chapitre I : GENERALITE SUR LES ENERGIES RENOUVLABLES

Dans le cadre de la production décentralisée on va considérer essentiellement le petit hydraulique [3]. La petite hydraulique est constituée en grande majorité par des centrales au fil de l'eau qui les rend fortement dépendantes du débit des cours d'eau. [2]

La conversion de l'énergie hydraulique en énergie mécanique se fait par l'intermédiaire d'une turbine. Celle-ci, comme la roue hydraulique, est un moteur et ne produit que de l'énergie mécanique. C'est d'ailleurs sous cette forme qu'elle a été longtemps utilisée pour l'entraînement direct des machines avant l'avènement de la génératrice électrique.

L'exploitation de cette énergie par une turbine nécessite non-seulement une certaine quantité d'eau, mais également une différence d'altitude. Elle se base sur la transformation de l'énergie cinétique et potentielle contenue dans l'eau en énergie mécanique puis en énergie électrique. Elle n'est par conséquent possible que dans les endroits qui présentent un débit suffisant et une dénivellation. Cette dénivellation peut être naturelle, lorsque l'eau est captée en altitude puis amenée à la turbine située en contrebas par une conduite forcée ou artificielle, lorsque l'on crée une chute en installant un seuil ou barrage sur une rivière dans un endroit approprié. [4]

Diverses applications en cours de développement pour exploiter d'autres formes de l'énergie hydraulique. On peut citer, par exemple, les hydroliennes qui exploitent l'énergie cinétique des courants marins.

La puissance hydraulique disponible pour une installation est donnée par la formule suivante:

$$P = g Q h \rho \quad (I.1)$$

– ρ Est la masse volumique de l'eau (1000 Kg/m³ à 10°C).

– Q Est le débit passant dans l'installation [m³/s].

– gH Est l'énergie hydraulique massique disponible. Celle-ci s'exprime par:

$$gH = \frac{1}{\rho} (P_1 - P_2) + \frac{1}{2} (c_1^2 - c_2^2) + g(Z_1 - Z_2) \quad [J/Kg] \quad (I.2)$$

Dans l'équation précédente, le terme P représente la pression, C la vitesse et Z l'altitude par rapport à un niveau de référence. Les indices 1 et 2 représentent les points de référence en entrée et en sortie de la turbine. Ils sont définis selon des normes internationales précises. En admettant que les niveaux Z_0 et Z_3 sont soumis à la même pression atmosphérique et que les vitesses de l'écoulement dans ces bassins sont nulles.

La puissance fournie au réseau est donnée par:

$$P_{el} = P_h \cdot \eta_h \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot \eta_t \quad [W] \quad (I.3)$$

Chapitre I : GENERALITE SUR LES ENERGIES RENOUVLABLES

Où:

- P_h Représente la puissance hydraulique telle que définie précédemment.
- η_h Représente le rendement de la turbine. Ce rendement varie en fonction du débit.
- η_m Représente le rendement de différentes parties mécanique telles que paliers. Ce rendement est pratiquement constant.
- η_g Représente le rendement de la génératrice. IL varie selon la puissance mécanique de la turbine.
- η_t Représente le rendement d'un éventuel transformateur.

D'après la chute disponible, les turbines fonctionnent selon deux modes différents:

- Les turbines à action, qui exploite l'énergie hydraulique mise à disposition uniquement sous forme d'énergie cinétique. Ces turbines ont des roues dénoyées qui tournent dans un bâti à dépression.
- Les turbines à réaction, qui exploite l'énergie hydraulique mise à disposition uniquement sous forme d'énergie de pression et cinétique. Les roues de ces turbines sont immergées dans l'écoulement.

Le types de turbine à installer dans l'écoulement dépend non-seulement de la hauteur de chute, mais également de débit disponible. Les différents types sont décrits ci-après. Les rendements annoncés ne sont valables que pour des machines ayons été développées en laboratoire. [4]

- ✚ La turbine Pelton.
- ✚ La turbine Francis.
- ✚ La turbine diagonale.
- ✚ La turbine Kaplan.
- ✚ La roue à eau par-dessus.
- ✚ La turbine Banki ou Cross flow.
- ✚ La vie d'Archimède inversée.



La turbine Pelton

La turbine Francis

La turbine diagonale



La turbine Banki

La turbine Kaplan

La roue à eau par-dessus



La vie d'Archimède inversée

Figure I.1: les types des turbines.

I.2.2 Energie Marin

Le champ de gravitation de la lune et du soleil provoque de manière naturelle la montée et la descente des eaux des océans le long des côtes. Comme la lune est la plus proche des deux de la terre, et bien que sa masse soit beaucoup plus faible, c'est elle qui a un effet dominant sur les marées. L'effet du satellite de notre planète sur les océans est donc environ 2,2 fois celui de soleil; on pourrait donc considérer que l'énergie des marées est principalement d'origine lunaire! [5]

Les ressources énergétique marines dépendent des caractéristiques de l'environnement Marin local: Vent, vagues, courants, température.

Chapitre I : GENERALITE SUR LES ENERGIES RENOUVLABLES

Ces ressources sont fluctuantes dans le temps et certaines sont très variables spatialement (les zones de courants notamment). Il est donc important de les connaître avec précision pour évaluer le potentiel énergétique réel et la rentabilité économique d'un projet d'énergie marine. D'autre part, les caractéristiques de l'environnement physique vont influencer sur aspects structurels (résistance aux vents et aux vagues par exemple). Il en est de même pour les caractéristiques du fond Marin qui vont déterminer le type de fondation possible. Mais l'environnement Marin ne se limite pas aux aspects physiques. Il faut bien entendu prendre en compte l'environnement biologique (faune, flore) et bien apprécier l'impact des projets sur les équilibres écologiques existants. [5]

Les ressources énergétiques marines ayant une capacité de production industrielle à court et moyen terme sont principalement de cinq types:

- L'énergie éolienne, produit par le vent, pour laquelle de nombreuses installations industrielles sont en fonctionnement.
- L'énergie marémotrice, dont un exemple est l'usine de la Rance, mais pour laquelle il y a peu de projets dans l'avenir en raison notamment de l'impact de ces installations sur l'environnement
- L'énergie hydro-cinétique (ou hydrolenne), produit par les courants, pour laquelle divers concepts de production ont été développés et quelques prototypes sont en cours de test.
- L'énergie houlomotrice, produit par les vagues dont les modes de production sont également en phase de développement et pour certains en phase de test.
- L'énergie thermique des mers, dont les concepts de production visent à exploiter la différence entre la température de surface et celle en grande profondeur.

I.2.3 L'énergie de la géothermie

Classiquement, trois types de géothermie sont distingués selon le niveau de température disponible à l'exploitation:

- La géothermie à haute énergie ou géothermie privilégiée qui exploite des sources hydrothermales très chaudes, ou des forages très profonds où de l'eau est injectée sous pression dans la roche. Cette géothermie est surtout utilisée pour produire de l'électricité. [6]
- La géothermie de basse énergie: géothermie des nappes profondes (entre quelques centaines et plusieurs milliers de mètres) aux températures situées entre 30 et 100 °C.

Chapitre I : GENERALITE SUR LES ENERGIES RENOUVLABLES

- La principale utilisation est appliquée pour les réseaux de chauffage urbain.
- La géothermie de très basse énergie: géothermie des faibles profondeurs aux niveaux de température compris entre 10 et 30°C. Sa principale utilisation est le chauffage et la climatisation individuelle. Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie de profondeur (haute et basse énergie), présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent). C'est donc une source d'énergie quasi-continue, car elle est interrompue uniquement par des opérations de maintenance sur la centrale géothermique ou le réseau de distribution de l'énergie. [2]



Figure I.2: énergie géothermique.

I.2.4 l'énergie éolienne

L'énergie éolienne est une énergie renouvelable non dégradée, géographiquement diffusée et surtout en corrélation saisonnière (l'énergie électrique est largement plus demandée en hiver et c'est souvent à cette période que la moyenne des vitesses des vents est la plus élevée). [7]

De plus c'est une énergie qui ne produit aucun rejet atmosphérique Ni déchet radioactif; elle est toutefois aléatoire dans le temps et son captage reste assez complexe, nécessitant des mâts et des pâles de grandes dimensions (jusqu'à 60m pour des éoliennes de plusieurs mégawatts) dans des zones géographiquement dégagées pour éviter les phénomènes de turbulences. [8]

L'énergie éolienne fait partie des nouveaux moyens de production d'électricité décentralisée proposant une alternative viable à l'énergie nucléaire sans pour autant prétendre la remplacer (l'ordre de grandeur de la quantité d'énergie produite étant largement plus faible).

Les installations peuvent être réalisées sur terre mais également en mer ou la présence du vent est plus régulière. [9]

I.2.4.1 Principaux composants d'une éolienne

Une éolienne est généralement constituée de trois éléments principaux:

- Le mat
- Le rotor
- La nacelle

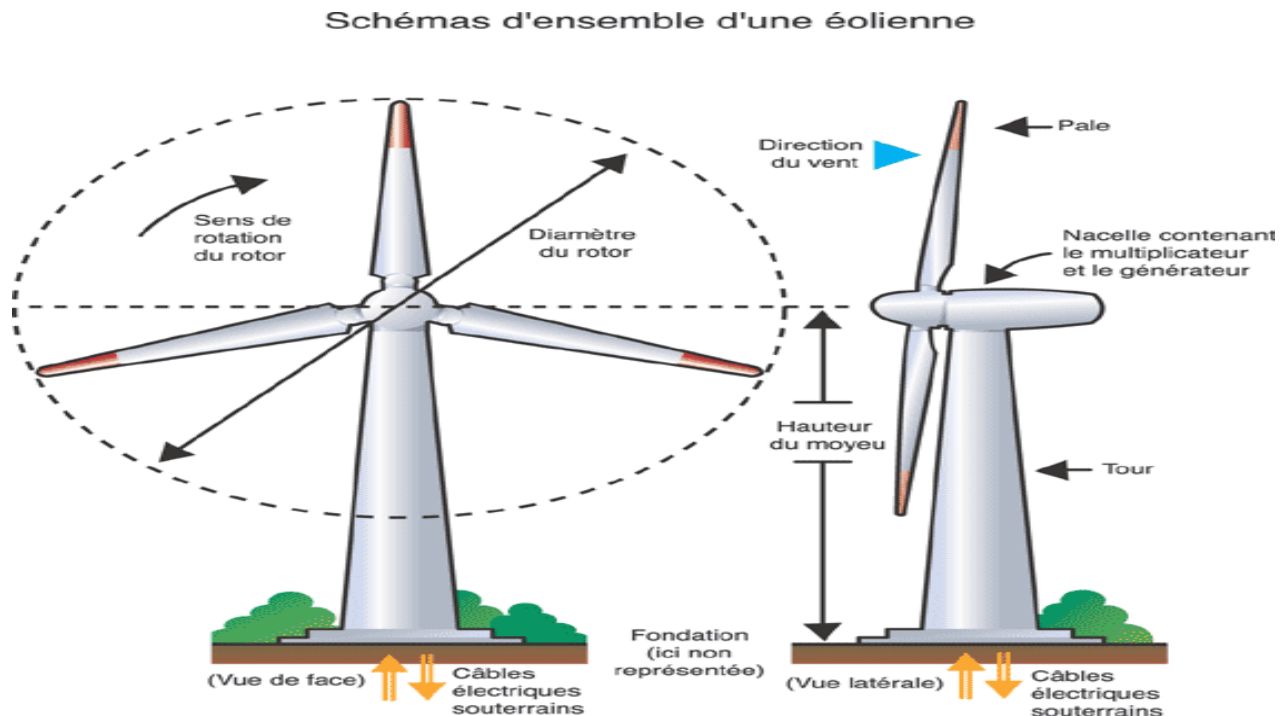


Figure I.3: Composants d'une éolienne.

- **Le mât:** qui supporte la nacelle et le rotor de la turbine. IL est important que le mât soit haut du fait de l'augmentation de la vitesse du vent en hauteur. A titre d'exemple le mât d'une éolienne de 500kW est à une hauteur de 40 à 60m, il peut être plein ou tubulaire. Ce dernier est plus coûteux mais il a l'avantage de permettre un accès aisé à la nacelle pour la maintenance. [10]
- **Le rotor:** Le rotor, est formé par les pales assemblées dans leur moyeu. Pour les éoliennes destinées à la production d'électricité, le nombre de pales varie généralement de 1 à 3, le rotor tripale étant de loin le plus répandu car il représente un bon compromis entre le coût, le comportement vibratoire, la pollution visuelle et le bruit.[11]
- **La nacelle :** La nacelle, étant le cœur de l'éolienne, elle est montée au sommet du mât, et constituée des composants essentiels à la conversion d'énergie qui sont attachés entre eux, le multiplicateur, le générateur, les systèmes de frein et d'orientation de l'éolienne, et tous les équipements automatisés d'asservissement de l'ensemble des fonctions de l'éolienne.[12]

Chapitre I : GENERALITE SUR LES ENERGIES RENOUVLABLES

a. La génératrice (ou Alternateur): Une génératrice est un dispositif, permettant de produire de l'énergie électrique à partir d'une autre forme d'énergie. Dans le cas d'une éolienne ce sera l'énergie mécanique. La génératrice d'éolienne est constituée d'une partie fixe qu'on appelle le stator, et d'une partie tournante qui se nomme le rotor.

b. Le multiplicateur: Le multiplicateur est un système d'engrenages qui entraîne une génératrice. Il multiplie la vitesse d'entrée pour atteindre la vitesse de sortie exigée par la génératrice.

c. Le système de refroidissement: C'est un système qui permet de refroidir les moteurs qui deviennent très chauds lorsqu'ils tournent, et qui risquent d'être endommagés. Comprend généralement un ventilateur électrique utilisé pour refroidir la génératrice et un refroidisseur à huile (ou eau) pour le multiplicateur.[13]

d. L'arbre :

- Arbre primaire: IL est entraîné par le rotor et relié au multiplicateur. IL est relié à l'arbre secondaire par l'intermédiaire du multiplicateur.
- Arbre secondaire: IL transmet la puissance du multiplicateur à la génératrice. Permettant de limiter la fréquence de rotation en cas de vent violent.

e. Le moteur d'orientation: Le dispositif d'orientation de l'éolienne est utilisé pour tourner le rotor dans la direction face au vent, C'est ainsi qu'on assure que l'éolienne produit autant d'électricité que possible.

f. Le système de commande: Le dispositif d'orientation est composé d'un certain nombre d'ordinateurs qui surveillent sans cesse l'état de l'éolienne.

g. La girouette: La girouette s'oriente selon la direction du vent et informe le système de commande de la direction du vent.

h. Le frein mécanique: Le frein mécanique est placé sur le petit arbre secondaire, qui relie le multiplicateur et la génératrice, Il sert à freiner le mouvement du rotor. On l'utilise lorsque l'éolienne doit être réparée ou maintenue.

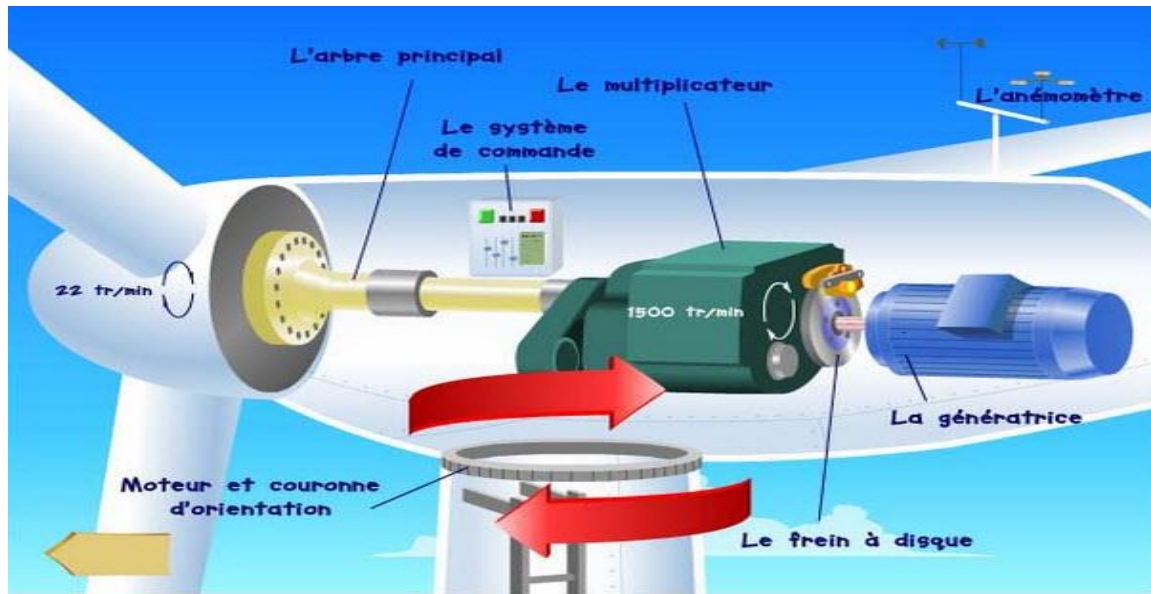


Figure I.4: Constitution de la nacelle.

I.2.4.2 Le Principe de fonctionnement d'une centrale éolienne

Le Principe de fonctionnement d'une centrale éolienne peut s'énoncer comme suit [1]: A la hauteur de nacelle souffle un vent de vitesse V_{vent} . Tant que cette vitesse est en dessous de la vitesse de seuil, les pales sont en drapeau (la surface de ces derniers est perpendiculaire à la direction du vent) et le système est à l'arrêt. À la vitesse seuil; détectée par l'anémomètre, un signal est donné par le système de commande pour la mise en fonctionnement. Le mécanisme d'orientation fait tourner la nacelle face au vent, les pales sont ensuite placées avec l'angle de calage adéquat et commencent à tourner. Une puissance P_{vent} est alors captée et transmise à l'arbre avec un coefficient de performance.

Au rendement du multiplicateur pré, cette même puissance est retransmise à l'arbre de la génératrice à une vitesse plus élevée. Cette puissance mécanique va enfin être transformée en puissance électrique débitée par la machine.

On distingue alors deux cas, soit l'éolienne est reliée au réseau de distribution (directement ou à Travers des convertisseurs statiques) soit elle alimente, en autonome, une charge isolée à Travers ou sons des convertisseurs statiques [10]. Généralement les éoliennes sont classées en deux catégories:

- Éolienne à axe horizontal
- Éolienne à axe vertical

Chapitre I : GENERALITE SUR LES ENERGIES RENOUVLABLES

a) Les éoliennes à axe vertical

Les éoliennes à axe vertical ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité paradoxalement en contradiction avec le traditionnel moulin à vent à axe horizontal. Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol donc facilement accessibles. De nombreuses variantes ont été testées depuis les années vingt, dont beaucoup sans succès, mais deux structures sont parvenues au stade de l'industrialisation:

- Le rotor de **Savonius** dont le fonctionnement est basé sur le principe de "traînée différentielle" utilisé dans les anémomètres: les efforts exercés par le vent sur chacune des faces d'un corps creux sont d'intensité différente, il en résulte alors un couple moteur entraînant la rotation de l'ensemble. L'effet est ici renforcé par la circulation d'air entre deux demi-cylindres qui augmente le couple moteur [14].
- Le rotor de **Darrieus**, du nom de l'ingénieur français Georges Darrieus qui breveta sa conception en 1931, est un rotor dont la forme la plus courante rappelle vaguement un fouet à battre les œufs. IL se présente sous deux formes principales figure I.6, qui fonctionne selon le principe de la différence des forces de portance produites par les efforts aérodynamiques agissant sur les aubes. Malheureusement, elle ne peut pas démarrer qu'à vitesse du vent assez grande. Lorsqu'elle démarre sa vitesse de rotation peut être importante puisque la vitesse du vent apparent s'ajoute à la vitesse de bout de pale pour des configurations déterminées [15].



Figure I.5 : Turbine Savonius. **Figure I.6** : Turbine Darrieus.

b) Les éoliennes à axe horizontal

Les éoliennes à axe horizontal sont de loin les plus utilisées. Les différentes Constructions des aérogénérateurs utilisent des voilures à deux, trois ou plusieurs pales [16]. Toutefois, les structures les plus courantes sont à trois pales. Une éolienne à axe horizontal est constituée donc d'une hélice perpendiculaire au vent montée sur un mat dont les pales sont profilées aérodynamiquement à la manière d'une aile d'avion. Par conséquent, ce type de turbines doit toujours être orienté face au vent [17].

Par comparaison à la turbine à axe vertical, pour la même vitesse de vent, les éoliennes à axe horizontal sont capables de produire plus d'énergie grâce à un meilleur coefficient de puissance. Par ailleurs, elles ont un coût moindre et une efficacité accrue due à leur position à plusieurs dizaines de mètres du sol [18]. Parmi les machines à axe horizontal, il faut différencier les éoliennes dont l'hélice est en « amont », et celle dont l'hélice est en « aval » par rapport au vent [12]. (Figure I.7):

- **Amont:** Le vent souffle sur le devant des pales en direction de la nacelle. Les pales sont rigides. Et le rotor est orienté selon la direction du vent par un dispositif.[19]
- **Aval:** Le vent souffle sur l'arrière des pales en partant de la nacelle [19]. La configuration « aval » est utilisée plus particulièrement pour les petites éoliennes qui sont munies de pâles plus fragiles.

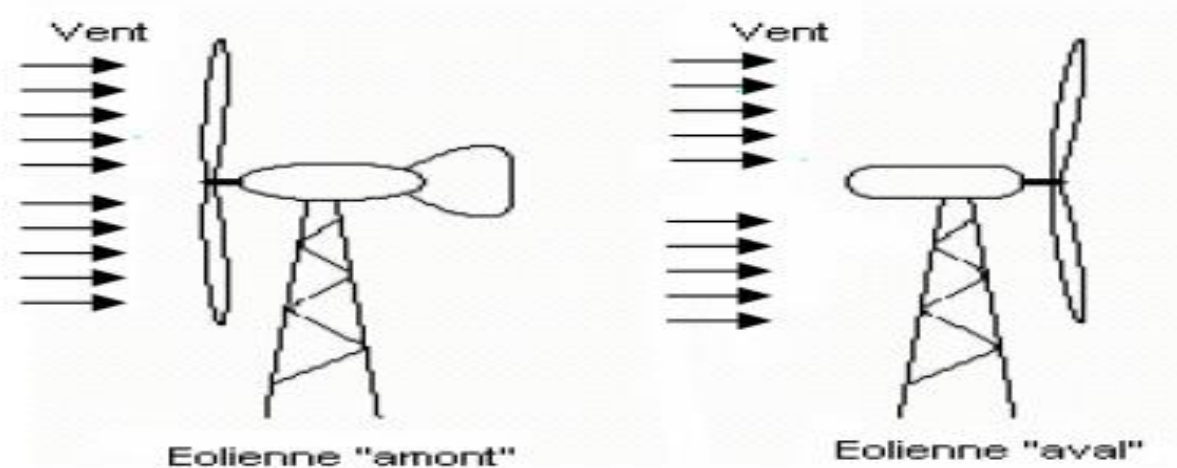


Figure I.7 : Configurations à axe horizontal.

Chapitre I : GENERALITE SUR LES ENERGIES RENOUVLABLES

I.2.4.3 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne

Avantages

Ecologiquement:

- L'énergie éolienne est une énergie propre.
- Elle ne nécessite aucun carburant.
- Elle ne crée pas de gaz à effet de serre.
- Elle ne produit pas de déchets toxiques ou radioactifs.
- Elle n'est pas une énergie à risque.

Economiquement:

- Les éoliennes peuvent alimenter des sites isolés et non raccordés au réseau électrique général.
- L'énergie éolienne est la moins coûteuse par rapport aux autres énergies renouvelables (pour les sites bien ventés). [20]

Inconvénients

- Le problème majeur de l'énergie éolienne, est l'instabilité de la puissance fournie, car lorsqu'elle est inférieure à la capacité du réseau, on utilise des sources de puissance complémentaire (groupes électrogènes). Quand cette puissance dépasse la capacité de la charge du réseau, l'intervention d'un système de régulation (stockage, ajout de charge de délestage ...) est nécessaire.
- Coût d'achat et d'installation élevés ne rendant pas rentable l'investissement que sur plus de 10 ans.
- La perturbation de l'écologie locale des sites: il faut éviter que les fermes soient situées sur le couloir de migration des oiseaux mais plus globalement celle de la faune et de la flore en général. [20]

I.2.5 L'énergie solaire

L'énergie qui nous vient du soleil représente la quasi-totalité de l'énergie disponible sur terre. Bien entendu elle est d'abord disponible directement sous forme de la lumière et de chaleur, mais elle est aussi à l'origine de la biomasse (photosynthèse) du cycle de l'eau, sous forme stockée durant des millions d'années, de nos réserves de gaz pétrole et charbon [21].

L'énergie solaire est produite par les réactions de fusion thermonucléaire: les noyaux d'hydrogènes (protons) s'assemblent en noyaux d'hélium (deux protons +deux neutrons).

Chapitre I : GENERALITE SUR LES ENERGIES RENOUVLABLES

Cette énergie est émise dans l'espace par la surface du soleil, notamment sous forme d'ondes électromagnétiques dans le domaine visible, ultraviolet et infrarouge, donc beaucoup de lumière.

L'exploitation de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes: l'une produit des calories, c'est l'énergie solaire thermique, et l'autre produit de l'électricité par effet photovoltaïque.

I.2.5.1 L'énergie photovoltaïque

Comme énergie renouvelable, l'énergie photovoltaïque est considérée comme une énergie propre et durable. [21]

Le mot photovoltaïque vient du grec photos, qui signifie lumière et de Volta de nom du physicien italien qui, en 1800, découvrit la pile électrique. Mais c'est le savant français Antoine Becquerel qui le premier, en 1939, mit en évidence cette conversion particulière de l'énergie: la variation de la conductivité d'un matériau sous l'effet de la lumière. Tout élément photovoltaïque est convertisseur d'énergie qui transforme la lumière en courant électrique. Ceci établi, voyons comment se produit cette conversion d'énergie. Elle met en jeu trois phénomènes physiques, intimement liés et simultanés:

- L'absorption de la lumière dans le matériau.
- Le transfert d'énergie des photons aux charges électrique.
- La collecte des charges.

Les avantages:

- L'énergie solaire est maîtrisable et adaptable aux situations de toutes les régions.
- Le photovoltaïque est une technologie sûre et sans risque. En général, les panneaux photovoltaïques sont garantis 25 ans (et peuvent fonctionner 40 ans quasiment sans diminuer leur rendement).
- L'investissement et le rendement sont prévisibles à long terme.
- Ce sont des systèmes simples et rapide et installer qui nécessitent très peu de maintenance (d'où des frais de maintenance relativement faibles).
- Le solaire photovoltaïque ne comporte aucune pièce en mouvement, la production électrique est réalisée sans combustion, il n'existe donc Ni d'usure due aux mouvements, Ni d'usure thermique comme pour les chaudières.
- Ce système produit de l'électricité sur place, il peut donc être installé là où on en a besoin, sans être raccordé à un quelconque réseau et son extension est facile. [22]

Chapitre I : GENERALITE SUR LES ENERGIES RENOUVLABLES

Les inconvénients:

- La fabrication des panneaux photovoltaïques relève de la haute technologie demandant énormément de recherche et développement et donc des investissements coûteux.
- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles
- La production d'électricité ne se fait que le jour alors que la plus forte demande se fait la nuit.
- Stockage de l'énergie électrique dans des accumulateurs qui sont le plus souvent des batteries au plomb.
- Le photovoltaïque souffre d'une "pénurie" de silicium: l'accroissement de la demande ayant été sous-estimé, la production de cet élément chimique n'arrive pas à couvrir la demande actuelle des industries électroniques et solaires. [22]

I.2.5.2 Solaire thermique

L'énergie solaire thermique installée dans le monde fin 2009 était de 172.4 GW soit une Surface équivalente d'environ 246.2 millions de mètres carrés. Entre 2007 et 2008, la Progression du marché a été légèrement moins soutenue avec une croissance d'environ 15 %. En 2010, le marché européen du solaire thermique s'est élevé à 2,6 GW, soit une surface de capteurs de 3,69 millions de mètres carrés [23]. Le principe de l'énergie thermique consiste à transformer le rayonnement solaire en énergie thermique grâce à un fluide qui circule dans des panneaux exposés au soleil [22].

a) Le fonctionnement d'un système solaire thermique

- **Le captage et l'absorption:** Le capteur est la source de chaleur de l'installation solaire. C'est là que le rayonnement solaire capté est absorbé pour chauffer le fluide caloporteur. Tous les capteurs visent à convertir le rayonnement solaire en chaleur avec un rendement élevé et à fournir cette chaleur aux consommateurs aussi efficacement que possible.[24]
- **Le transfert de chaleur:** L'énergie captée est transformée en chaleur, ensuite par circulation du fluide caloporteur dans les tuyauteries vers l'échangeur de chaleur à plaque.
- **Le stockage:** Puisque les apports et les besoins énergétiques sont généralement déphasés l'un par rapport à l'autre, on aura besoin du stockage.
- **L'appoint:** L'énergie solaire ne peut dans la plupart des cas assurer la totalité des besoins en énergie. Pour faire face à des périodes défavorables (hiver, demi-saison, longue période de mauvais temps) et satisfaire les besoins en eau chaude, on a besoin

Chapitre I : GENERALITE SUR LES ENERGIES RENOUVLABLES

d'une énergie d'appoint. Ainsi, la plupart des unités de stockage sont équipées d'un dispositif d'appoint qui prend le relais en cas de besoin.

I.2.5.3 Solaire thermodynamique

La conversion thermodynamique de l'énergie solaire permet d'obtenir de l'électricité à partir d'un moteur thermique dont la source chaude reçoit sa chaleur de capteurs, généralement à concentration. Toutefois, les coûts de cette filière et les difficultés technologiques rencontrées limitent aujourd'hui

- **Captation avec concentration**

L'expérience des trente dernières années montre que quatre principales technologies permettent en pratique de réaliser la concentration du rayonnement solaire dans des conditions techniques et économiques viables: [25]

- **Les capteurs cylindro-paraboliques**

Les capteurs cylindro-paraboliques sont des cylindres de section droite parabolique, qui permettent de concentrer le rayonnement solaire sur un tube rectiligne.

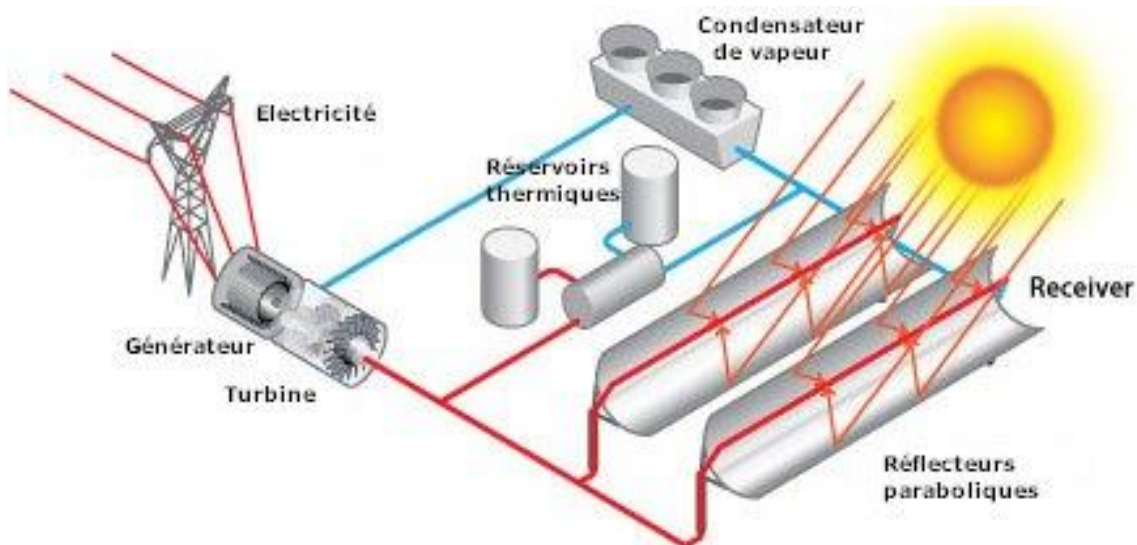


Figure I.8: Fonctionnement de cylindro-paraboliques

- **Les concentrateurs à lentilles de Fresnel**

Les concentrateurs linéaires de Fresnel ou CLFR utilisent d'étroits miroirs plans rectangulaires pour concentrer la lumière solaire sur un absorbeur fixe constitué d'une série de tubes parallèles.



● **Figure I.9:** les concentrateurs à lentilles de Fresnel

- **Les capteurs paraboliques**

Cette parabole est composée de miroirs. La parabole est quant à elle reliée à un récepteur. Le miroir parabolique réfléchit les rayons émis par le soleil en un point de convergence appelé foyer, qui est situé dans le récepteur. Le récepteur monte donc en température. Ce dernier est composé d'un moteur appelé moteur Sterling qui est capable de convertir l'énergie thermique en énergie mécanique pour ensuite la reconvertir en énergie électrique. Comme pour la centrale vue auparavant, la parabole suit le déplacement du soleil pour profiter de l'ensoleillement maximum.

La température peut atteindre 1000°C sur le récepteur mais le moteur n'a pas besoin d'une chaleur intense pour permettre des rendements en électricité optimaux.



Figure I.14: les capteurs paraboliques

- **Les centrales à tour**

Dans les centrales à tour des milliers de réflecteurs mobiles, appelés héliostats, redirigent le rayonnement solaire incident vers un absorbeur situé au sommet d'une tour, permettant ainsi d'obtenir à la fois de fortes concentrations et des puissances importantes. Cette technologie nécessite un double mouvement de poursuite du soleil pour chaque héliostat, mais permet elle aussi d'atteindre des températures très élevées (750 à 1000 °C).



Figure I.15: Les centrales à tour

Les avantages et les inconvénients d'un système solaire thermique

Les avantages:

- C'est une source d'énergie inépuisable et gratuite.
- Les centrales permettent d'avoir un rendement et bonnes performances.
- IL n'y a pas d'émissions polluantes.

Les inconvénients:

- Ces centrales ont besoin d'un espace vaste et une surface au sol importante.
- Elles requièrent un très fort ensoleillement.

I.2.6 Energie biomasse

La biomasse désigne l'ensemble des matières organiques pouvant se transformer en énergie. On entend par matière organique aussi bien les matières d'origine végétale (résidus alimentaires, bois, feuilles) que celles d'origine animale (cadavres d'animaux, êtres vivants du sol). Il existe trois formes de biomasse présentant des caractéristiques physiques très variées:

- Les solides (ex: paille, copeaux, bûches).
- Les liquides (ex: huiles végétales, bio-alcools).
- Les gazeux (ex: biogaz).



Figure I.16 : énergie de la biomasse.

La biomasse est une réserve d'énergie considérable née de l'action du soleil grâce à la photosynthèse. Elle existe sous forme de carbone organique. Sa valorisation se fait par des procédés spécifiques selon le type de constituant. La biomasse n'est considérée comme une source d'énergie renouvelable que si sa régénération est au moins égale à sa consommation. Ainsi, par exemple, l'utilisation du bois ne doit pas conduire à une diminution du nombre d'arbres. La valorisation énergétique de la biomasse peut produire trois formes d'énergie utile, en fonction du type de biomasse et des techniques mises en œuvre:

- De la chaleur.
- De l'électricité.
- Une force motrice de déplacement.

On distingue trois procédés de valorisation de la biomasse: la voie sèche, la voie humide et la production de biocarburants. [26]

I.2.6.1 Classification et source de la biomasse

Fonction de son origine, la biomasse peut être classifiée:

- **La biomasse naturelle:** c'est la principale source d'énergie des pays en voie de développement. Elle est produite par les écosystèmes naturels. Cependant, ce n'est pas la plus adéquate pour l'exploitation massive de l'énergie, et son utilisation peut provoquer une dégradation accélérée des écosystèmes.

Chapitre I : GENERALITE SUR LES ENERGIES RENOUVLABLES

- **Les cultures énergétiques:** IL s'agit de la culture dédiée uniquement à la production d'énergie, et non-à des fins alimentaires. Dans cette catégorie, on peut en différencier deux types. Les cultures croissance rapide, comme l'eucalyptus ou le peuplier et les cultures d'espèces végétales annuelles, comme le cardon cynara.
- **La biomasse résiduelle :** elle est générée par les résidus des processus de production agricole, forestière et industrielle.[27]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné une brève description des diverses énergies renouvelables dans le monde entier, mais dans notre pays en particulier et grâce aux moyens disponibles, nous pouvons bénéficier de l'énergie solaire et éolienne. Après cette description, on a opté pour une chaîne hybride composée de deux chaînes de conversion d'énergie éolienne et photovoltaïque avec batteries de stockage.

CHAPITRE II

SYSTEME HYBRIDE

II.1 Introduction

Parmi les systèmes les plus prometteurs pour l'utilisation des énergies renouvelables, il y a les Systèmes d'Énergie Hybrides (SEH). Pour les régions isolées ou éloignées, le prix d'extension du réseau électrique s'avère prohibitif et le surcoût de l'approvisionnement en combustible augmente radicalement avec l'isolement. Le terme « Système d'Énergie Hybride » fait allusion aux systèmes de génération d'énergie électrique utilisant plusieurs types de sources. Dans cette notion, on exclut les grands réseaux interconnectés dans lesquels les sources peuvent aussi être de plusieurs types. La combinaison des sources d'énergie renouvelable comme l'éolienne, le photovoltaïque ou les petites centrales hydroélectriques peut constituer un complément ou une alternative aux groupes électrogènes diesels utilisés généralement pour la génération d'électricité dans les régions isolées. [27]

Dans ce chapitre on présentera la définition et les différentes architectures des systèmes hybrides, nous nous intéresserons en particulier aux systèmes de production existants, en particulier relatifs aux sources d'énergie photovoltaïque et d'énergie éoliennes qui se prêtent le mieux à une production d'électricité, ainsi qu'à leurs différents constituants.

II.2 Définition d'un système hybride

Le système hybride de production d'énergie est un système qui combine et exploite différentes sources d'énergies disponibles et facilement mobilisables. Ce type de système associe au moins deux technologies complémentaires, une source classique, qui est généralement un générateur diesel et une source ou plus d'énergie renouvelable en vue d'obtenir et de maintenir une production énergétique continue et durable. [28]

Les SEH sont généralement conçus pour répondre à un besoin énergétique allant du simple éclairage jusqu'à l'électrification complète de villages ou de petites îles. [27]

La combinaison de plusieurs sources d'énergies renouvelables permet d'optimiser au maximum les systèmes de production d'électricité, aussi bien du point de vue technique qu'économique. Il existe plusieurs combinaisons de systèmes hybrides, à savoir: éolien-diesel, photovoltaïque-diesel, et éolien- photovoltaïque-diesel.

Ces mêmes sources d'énergies peuvent être combinées avec d'autres sources telles que l'énergie hydrauliques. Les méthodes d'évaluation des systèmes hybrides (éolien/photovoltaïque) autonomes et leurs avantages se sont beaucoup développées ces dernières années. [29]

II.3 Structure des systèmes de génération

En plus d'un ou plusieurs générateurs diesels (GD) et d'au moins une source d'énergie renouvelable, un SEH peut aussi incorporer un système de distribution à courant alternatif (CA), un système de distribution à courant continu (CC), un système de stockage, des convertisseurs, des charges, des charges de délestage et une option de gestion des charges ou un système de supervision. Toutes ces composantes peuvent être connectées en différentes architectures. [30]

II.4 L'architecture d'un système hybride

Les générateurs électriques (photovoltaïques, éolien) d'un SEH peuvent être connectés en différentes configurations. Ces configurations constituées par des sources d'énergies renouvelables, des batteries et des générateurs diesels se résument en trois types:

- Architecteur à bus à CC.
- Architecteur à bus CC-CA (la connexion et mixte, bus à CC et bus à CA).
- Architecteur à bus à CA.

II.4 .1 Architecteur à bus à CC

Dans le système hybride présenté dans la figure (II.1), la puissance fournie par chaque source est centralisée sur un bus à CC. Ainsi, les systèmes de conversion d'énergie à CA fournissent d'abord leur puissance à un redresseur pour être convertie en CC. Le ou les générateurs diesels sont connectés en série avec l'onduleur pour alimenter les charges à CA. Les générateurs diesels ne peuvent donc pas alimenter les charges à CA directement. L'onduleur doit alimenter les charges à CA à partir du bus à CC et doit suivre la consigne fixée pour l'amplitude et la fréquence [29].

Les batteries et l'onduleur sont dimensionnés pour alimenter des pics de charge, alors que le générateur diesel est dimensionné pour alimenter les pics de charge et les batteries en même temps. La puissance délivrée peut être contrôlée par la commande du courant d'excitation de la partie électrique du générateur diesel ou en incorporant un régulateur de charge dans les sources d'énergie renouvelable [27].

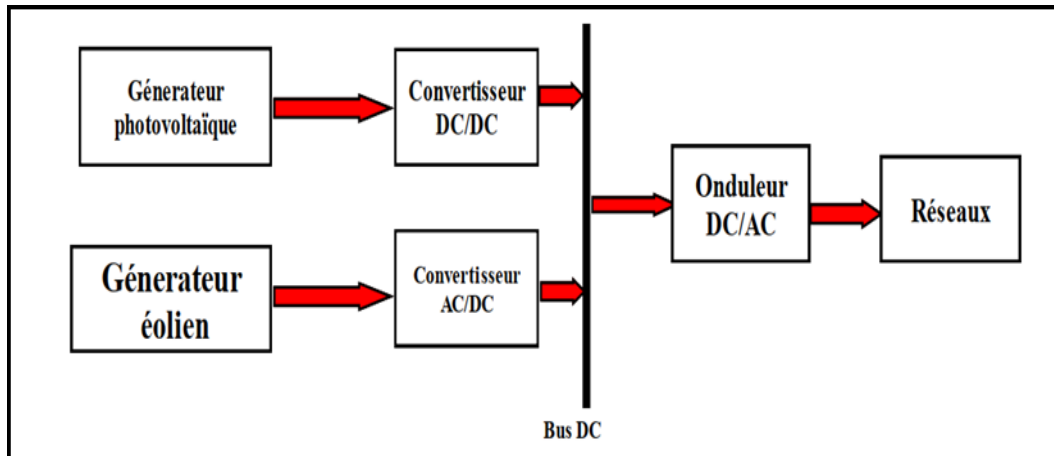


Figure II.1: Architecteur à bus à CC

a) Les avantages et les inconvénients

Avantages

- La connexion de toutes les sources sur un bus à CC simplifie le système de commande
- Le générateur diesel peut être dimensionné de façon optimale, c'est-à-dire de sorte à fonctionner à puissance nominale pendant le processus de chargement des batteries jusqu'à un état de charge de 75 à 85 %.

Désavantages

- Le rendement de l'ensemble du système est faible, parce qu'une certaine quantité d'énergie est perdue à cause des batteries et des pertes dans les convertisseurs.
- Les générateurs diesels ne peuvent pas alimenter directement la charge, l'onduleur doit donc être dimensionné pour assurer le pic de charge.

II.4.2 Architecture à bus à courant alternatif (AC)

Dans cette topologie, tous les composants du système hybride sont reliés à la charge alternative ou au réseau, comme montrée sur la figure (II.2). Cette configuration se distingue par rapport à la configuration antérieure, dans le fait que chaque convertisseur peut être synchronisé avec son générateur de sorte qu'il puisse alimenter la charge indépendamment et simultanément avec les autres convertisseurs [27], Ceci offre une flexibilité pour que les sources d'énergie puissent satisfaire la demande de la charge

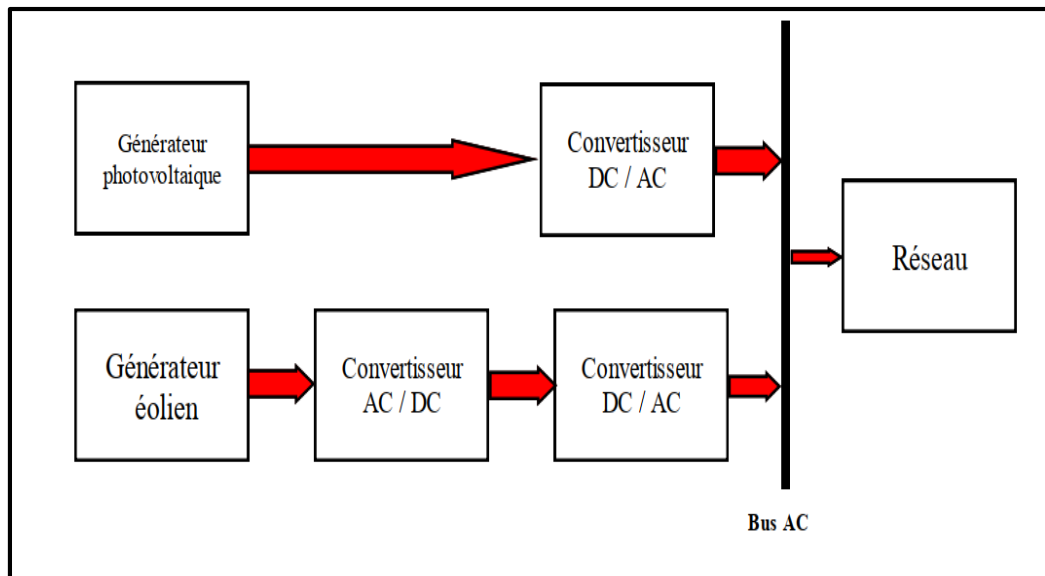


Figure II.2: Architecteur à bus à AC

a) Les avantages et les inconvénients

Avantages

- Un découplage des différentes sources de production, ce qui permet d'agir de façon assez indépendante les unes sur les autres
- Le générateur diesel peut fixer la tension et la fréquence de bus AC
- Capacité d'augmenter et de réduire la tension à l'aide d'un simple dispositif passif (transformateur)
- Appareillage de connexion bon marché et disponible facilement
- Les circuits triphasés produisent un champ magnétique rotatif permettant des moteurs compacts et efficaces
- La fréquence peut être utilisée comme moyen de contrôle (dérive de fréquence).[29]

Inconvénients

- le rendement de l'ensemble du système est faible, parce qu'une certaine quantité d'énergie est perdue à cause des batteries et des pertes dans les convertisseurs
- La connexion de toutes les sources sur un bus à CA complique le système de commande.

II.4.3 Architecture mixte à bus à CC/CA

La configuration à deux bus, à CC et à CA, est présentée dans la Figure (II.3). Celle-ci a des performances supérieures par rapport à la configuration antérieure. Dans cette configuration, les sources d'énergie renouvelable et les générateurs diesels peuvent alimenter une partie de la charge à CA directement, ce qui permet d'augmenter le rendement du système et de réduire la puissance nominale du GD et de l'onduleur. Le ou les générateur(s) diesel(s) et l'onduleur peuvent fonctionner en autonome ou en parallèle en synchronisant leurs tensions en sortie [4].

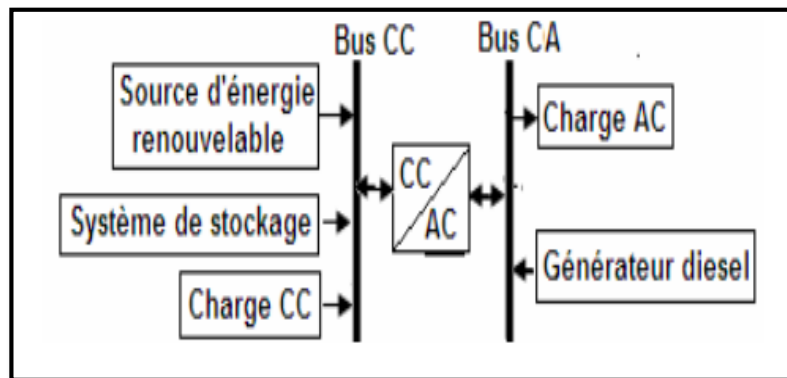


Figure II.3 : Architecture à bus CC-CA

Les convertisseurs situés entre les deux bus (le redresseur et l'onduleur) peuvent être remplacés par un convertisseur bidirectionnel, qui, en fonctionnement normal, réalise la conversion CC/CA (fonctionnement onduleur).

Quand il y a un surplus d'énergie de la part du générateur diesel, il peut aussi charger les batteries (fonctionner en redresseur). L'onduleur bidirectionnel peut alimenter les pics de charge quand le générateur diesel est surchargé.

a) Les avantages et les inconvénients

Avantages

- Le GD et l'onduleur peuvent fonctionner en autonome ou en parallèle. Quand le niveau de la charge est bas, l'un ou l'autre peut générer le nécessaire d'énergie. Cependant, les deux sources peuvent fonctionner en parallèle pendant les pics de charge.
- La possibilité de réduire la puissance nominale du GD et de l'onduleur sans affecter la capacité du système d'alimenter les pics de charge.

Désavantage

- La réalisation de ce système est relativement compliquée à cause du fonctionnement parallèle (l'onduleur doit être capable de fonctionner en autonome et non-autonome en synchronisant les tensions en sortie avec les tensions en sortie du GD). [31]

II.5 Classification des systèmes hybrides

- 1) **Selon la puissance:** Le champ d'application des SEH est très large et par conséquent, il est difficile de classer ces systèmes. On peut néanmoins essayer de réaliser un classement par gamme de puissance (Tableau II.1). Les seuils de puissance donnés ne sont que des ordres de grandeurs [32].

Tableau II.1: Classification des systèmes hybrides

Puissance du (SEH) [KW]	Applications
Faible : < 10	Système autonome : stations de télécommunication, de pompage de l'eau, autres applications isolées.
Moyenne : [10-250]	Micro réseaux : alimentation d'un village isolé, des zones rurales.
Grande : > 500	Grands réseaux isolés (ex : réseaux insulaires)

2) Selon la structure d'un (SEH)

Dans le classement en fonction de la structure du système, trois critères peuvent être pris en compte. Le premier critère est la présence ou non d'une source d'énergie classique (conventionnelle) qui peut être un générateur diesel, une micro turbine à gaz. Un second critère possible est la présence ou non d'un dispositif de stockage. Ce dernier peut être une batterie rechargeable, un électrolyseur avec réservoir d'hydrogène, des volants d'inertie...etc. [33].

La dernière classification possible est celle relative au type de sources d'énergie renouvelables utilisées. La structure du système peut contenir un système photovoltaïque, une éolienne, un convertisseur d'énergie hydraulique ou une combinaison de ces sources [34].

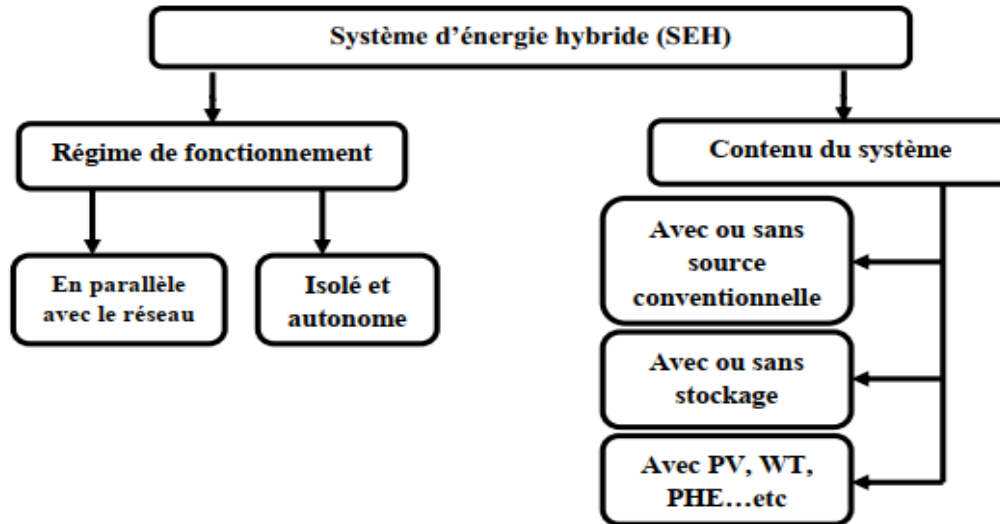


Figure II.4: Organigramme de classement en fonction de la structure d'un (SEH)

3) Selon leur fonctionnement

Il existe deux types de système de production hybride, système alterné et système parallèle. Le système alterné consiste en association d'un système éolienne, un système photovoltaïque et un groupe électrogène relié par un système de commutation entre les trois permettant d'assurer le passage d'un fonctionnement d'une source à une autre (selon les conditions météorologique jour et nuit), par contre le système parallèle relie les deux sources (éolienne, photovoltaïque) en même temps à la batterie et le groupe électrogène intervient en secours (quand les batteries sont déchargées).

Le système choisi dans notre étude est conçu de telle sorte à obtenir un fonctionnement parallèle des deux sources (éolienne, photovoltaïque) avec un groupe électrogène de secours, conçu pour l'alimentation d'un site isolé [35].

II.6 Les composants d'un système hybride

Les principaux composants d'un système hybride sont généralement les générateurs éoliens, photovoltaïques et générateurs diesels. Ceux-ci peuvent aussi inclure d'autres sources d'énergie renouvelable comme l'énergie hydraulique, géothermique, l'énergie contenue dans l'hydrogène (pile à combustible).

Les éléments de conditionnement et de conversion d'énergie et le système de stockage d'énergie à batteries, comme il existe d'autre forme de stockage tel que le stockage inertiel et le stockage d'hydrogène [28].

II.6.1 Description de la chaîne de conversion éolienne.

L'énergie d'origine éolienne fait partie des énergies renouvelables. L'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner l'arbre de son rotor: celle-ci est alors convertie en énergie mécanique elle-même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique accouplée à la turbine éolienne. Ce couplage mécanique peut être soit direct si la turbine et la génératrice ont des vitesses du même ordre de grandeur, soit réalisé par l'intermédiaire d'un multiplicateur dans le cas contraire. Enfin, il existe plusieurs types d'utilisation de l'énergie électrique produite: soit elle est stockée dans des accumulateurs, soit elle est distribuée par le biais d'un réseau électrique, soit elle alimente des charges isolées.

Le système de conversion éolien produit également des pertes. Ainsi, on peut indiquer un rendement de 59 % au rotor de l'éolienne, 96% au multiplicateur. Il faut en plus prendre en compte les pertes de la génératrice et des éventuels systèmes de conversion [27].

Les éoliennes sont divisées en trois catégories selon leur puissance nominale.

- Eoliennes de petite puissance: inférieur à 40 kW.
- Eoliennes de moyenne puissance: de 40 à quelques centaines de kW.
- Eoliennes de forte puissance: supérieur à 1 MW.

A titre de comparaison, le tableau ci-dessous propose une classification de ces turbines selon la puissance qu'elles délivrent et le diamètre de leur hélice [36].

Tableau II.2 : classification des systèmes hybrides par gamme de puissance

Echelle	Diamètre de l'hélice	Puissance délivrée
Petite	Moins de 12 m	Moins de 40 Kw
Moyenne	12 m à 45m	De 40 Kw à 1 Mw
Grande	46 m et plus	1 Mw et plus

a) Notions Théoriques sur L'éolien

- **Coefficient de Puissance C_p**

IL est défini par le rapport de la puissance P_t recueillie sur l'arbre moteur du capteur à la puissance cinétique qui passerait dans le disque du rotor en son absence [37]

$$C_p = \frac{P_t}{0.5 \cdot \rho \cdot S_t V_v^3} \quad (\text{II. 1})$$

Avec:

- P_t : Puissance de la turbine éolienne.
- $S_t = \pi \cdot R_t$, Surface balayée par la turbine éolienne.
- ρ : Masse volumique de l'air.
- V_v : La vitesse de vent.

Le coefficient C_p est variable, il est fonction de la vitesse du vent et de la vitesse de rotation de la turbine Ω_t , il est souvent représenté en fonction du ratio de vitesse λ et de l'angle de calage des pâles [38].

- **Couple produit par l'éolienne**

Le coefficient de couple C_m est assez proche du coefficient de puissance C_p , il est très utile afin d'estimer la valeur des couples, à différent point de fonctionnement [39].

Sa relation est déterminée par:

$$C_m = \frac{\Gamma_t}{0.5 \cdot \rho \cdot R_t \cdot V_v^3} \quad (\text{II.2})$$

Avec:

Γ_t : Couple de la turbine éolienne

R_t : Rayon de la turbine éolienne.

- **Vitesse Spécifique de L'éolienne**

Dit aussi paramètre de rapidité ou encore rapport de vitesse en bout de pôle (tip-speed ratio), comme étant le rapport de la vitesse d'extrémité des pales sur la vitesse du vent: [40]

$$\lambda = \frac{R_t \cdot \Omega_t}{V_v} \quad (\text{II. 3})$$

Avec Ω_t : La vitesse de la turbine

- Limite de Betz

La théorie globale du moteur éolien à axe horizontal a été établie par Betz. Il suppose que les pales sont placées dans un air animé à l'infini amont d'une vitesse V_1 et à l'infini aval d'une vitesse V_2 .

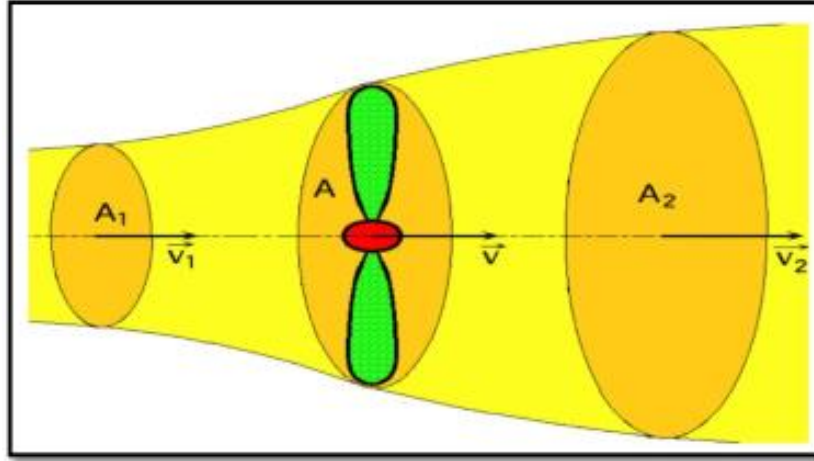


Figure II.5: Théorie de Betz

Avec:

V_1 : La vitesse du vent avant les pales de l'éolienne.

V_2 : La vitesse du vent après prélèvement de l'énergie par les pâles de l'éolienne.

A partir de l'énergie cinétique des particules de la masse d'air en mouvement passant par la section de la surface active S de la voilure, la puissance de la masse d'air qui traverse la surface équivalente à la surface active S de l'éolienne est donnée par :[40]

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_v^3 \quad (\text{II.4})$$

P_v : Puissance de vent

Selon la loi de Betz, cette puissance ne pourra jamais être extraite dans sa totalité la puissance maximale pouvant être recueillie par une éolienne est égale à la limite de Betz:

$$P_{max} = \frac{16}{27} \cdot P_v = 0.59 \cdot P_v \quad (\text{II.5})$$

b) Zone de fonctionnement d'une éolienne

Une turbine éolienne est dimensionnée pour développer sur son arbre une puissance nominale P_n qui est obtenue à partir d'une vitesse du vent V_n . Lorsque la vitesse du vent est supérieure à V_n , un système de freinage se met en marche afin d'éviter la destruction mécanique, de sorte que sa vitesse de rotation reste pratiquement constante [41]. La figure suivante illustre les différentes zones de fonctionnement de l'éolienne

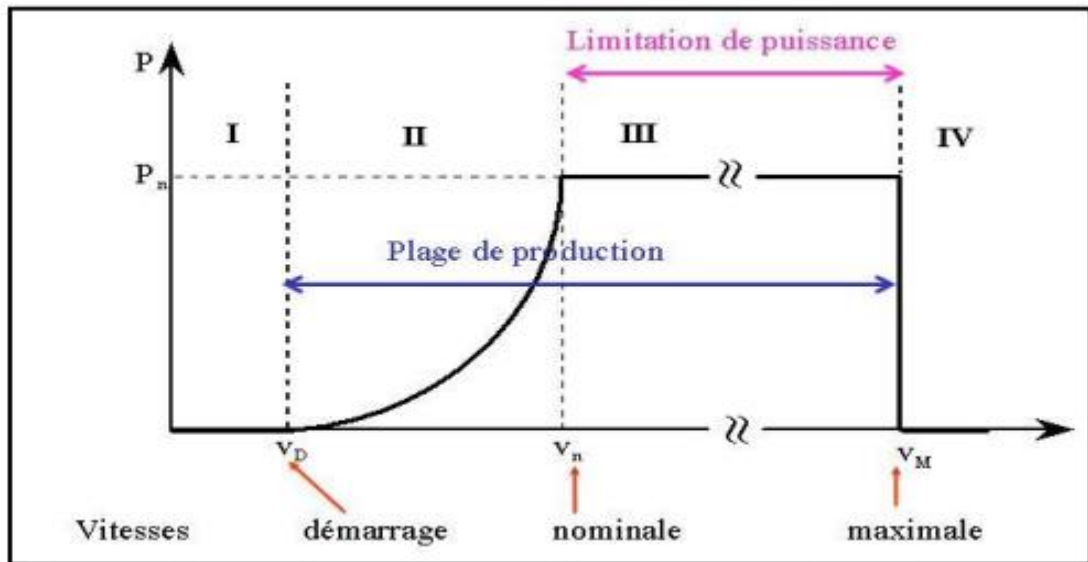


Figure II.6: Diagramme de la puissance utile sur l'arbre en fonction de la vitesse du vent.

Avec:

V_d : La vitesse de démarrage, à partir de laquelle l'éolienne commence à fournir de la puissance.

V_m : La vitesse maximale du vent, pour laquelle la turbine doit s'arrêter, pour des raisons de sécurité.

V_n : La vitesse nominale à partir de laquelle l'éolienne est en plein production.

Ainsi la caractéristique de puissance en fonction de la vitesse du vent comporte quatre zones: [38].

- La zone I, où la puissance est nulle ($P = 0$), la turbine ne fonctionne pas.
- La zone II, où la puissance fournie sur l'arbre dépend de la vitesse du vent V .
- La zone III, où la puissance est maintenue constante et égale à P_n .
- La zone IV, où le système de sûreté de fonctionnement arrête le transfert de l'énergie.

c) Type d'installation d'éolienne

Une éolienne occupe une faible surface au sol. Ceci est un énorme avantage pour son installation qui perturbe peu les sites et permet de conserver des activités industrielles ou agricoles à proximité.

On retrouve l'éolienne dite individuelle installée en site isolé elle n'est pas raccordée au réseau, et à d'autres éoliennes.

Sinon les éoliennes sont regroupées sous forme de fermes éoliennes. Les installations peuvent être réalisées sur terre ou de plus en plus en mer avec les fermes éoliennes offshore où la présence du vent est plus régulière [27].

d) Structures des Systèmes Eoliens

La configuration électrique d'un aérogénérateur a une grande influence sur son fonctionnement. On distingue deux types de fonctionnement [42] :

- Fonctionnement à vitesse fixe.
- Fonctionnement à vitesse variable.

1) Eolienne a vitesse constante (FIX)

Sont souvent munies d'un système d'orientation de pales permettant à la génératrice (généralement une machine asynchrone à cage d'écureuil) de fonctionner au voisinage du Synchronisme et d'être connectée directement au réseau sans dispositif d'électronique de puissance [43].

Avantage

- Système électrique simple
- Grand fiabilité
- Non nécessité de systèmes électrique de commande
- Moins cher

Inconvénients

- Une puissance extraite non-optimale: Ce type d'éoliennes n'offre quasiment pas de possibilité de réglage de la puissance générée.
- L'absence de gestion de l'énergie réactive par le générateur
- Asynchrone : La connexion directe au réseau d'une génératrice asynchrone nécessite l'ajout de bancs de condensateurs afin de limiter la puissance réactive appelée à ce réseau [44].

2) Eoliennes a vitesse variable

Sont souvent moins coûteuse car le dispositif d'orientation des pales est simplifié.

Lespales se caractérisent principalement par leur géométrie dont dépendront les performancesaérodynamiques et les matériaux dont elles sont constituées

(actuellement, les matériauxcomposites, la fibre de verre et plus récemment la fibre de carbone sont très utilisés car ilsallient légèreté et bonne résistance mécanique) [43].

Avantages

- Une meilleure extraction de l'énergie du vent [45].
- Augmentation du rendement énergétique
- Réduction des oscillations de couple dans le train de puissance
- Réduction des efforts subis par le multiplicateur de vitesse et les autres Parties mécaniques.

Inconvénients

- Utilisation de machines spéciales.
- Coûts supplémentaires plus importants (convertisseur, commande...).
- Complexité des convertisseurs de puissance utilisés.
- Gestion du transfert de puissance entre les convertisseurs, et placement au point de puissance optimum de l'éolienne.

II.6.2 Description de la chaîne de Conversion d'énergie photovoltaïque

Les panneaux PV sont capables de créer un courant électrique grâce à l'énergie qu'ils reçoivent du soleil sous forme d'ondes électromagnétiques appelées photons, c'est l'effetphotovoltaïque.

Un panneau PV est composé de plusieurs cellules associées en série ou en parallèle, qui sont des composants électroniques permettant cette transformation.

Ces cellules étant fragiles, elles sont enveloppées par une couche de verre, résistant aux chocs et aux intempéries etparfois recouvertes d'une couche antireflet [46].

a) La cellule photovoltaïque

Les cellules PV sont des dispositifs électroniques réalisés à l'aide des composants semi-conducteurs qui possèdent la particularité de produire l'électricité quand elles sont éclairées. --

- Elles sont généralement faites à base du silicium.

-, Elle fait appel généralement à une des trois technologies suivantes: [47]

- Les cellules de silicium monocristallin ont la meilleure efficacité, qui varie généralement de 13 à 18 %. Leur durée de vie est habituellement de plus de 25 à 30 ans.
- Les cellules de silicium poly-cristallin possèdent les mêmes caractéristiques physiques, cependant elles ont une efficacité légèrement inférieure, soit de 12 à 15 %.
- Les cellules de silicium amorphe est la troisième technologie utilisée. Il s'agit de déposer le silicium sur un substrat (substance porteuse). L'efficacité est moindre, variant de 6 à 10 %. Leur durée de vie est généralement inférieure à 20 ans.

b) Principe de fonctionnement d'une cellule PV

Le Principe de fonctionnement d'une cellule PV consiste à transformer des photons absorbés par un semi-conducteur en porteurs de charges électriques.

Cette dernière entraînera la création d'une différence de potentiel aux bornes des électrodes et d'un courant électrique dans un circuit connectés aux électrodes.

Les charges élémentaires qui vont produire le courant électrique sous illumination sont des électrons, charge négatives élémentaires; contenus dans la matière semi-conductrice. Tout solide est en effet constitué d'atomes que l'on peut décrire avec chacun un noyau (constitué de protons et de neutrons) et un ensemble d'électrons gravitant autour.

Les photons absorbés vont tout simplement transférer leur énergie aux électrons périphériques des atomes (les plus éloignés du noyau); leur permettant ainsi de se libérer de l'attraction de leur noyau. Ces électrons libérés sont susceptibles de produire un courant électrique si on les « attire » ensuite vers l'extérieur.

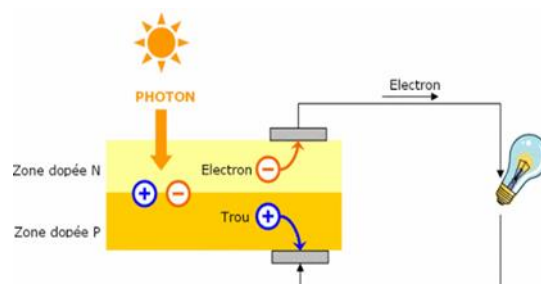


Figure II.7: Principe de fonctionnement d'une cellule PV

Lorsqu'on met en contact deux semi-conducteurs à dopage opposé (de type P et de type N), on obtient un élément très connu qui s'appelle jonction PN ou diode. Donc la jonction P-N est l'endroit où la zone de type P (majoritaire en trous, minoritaires en électrons) et la zone de type N (majoritaire en électrons, minoritaire en trous) se rencontre. Deux types de dopage sont possibles.

- Le dopage de type N, qui consiste à introduire dans la structure cristalline semi-conductrice des atomes étrangers pentavalents (ex: le phosphore) qui ont la propriété de donner chacun un électron excédentaire, libre de se mouvoir dans le Cristal [49].
- Le dopage de type P utilise des atomes trivalent (ex: le bore) dont l'insertion dans le réseau cristallin donnera un trou excédentaire [49]. L'échange de porteurs dans la zone de charge spatiale crée un champ électrique qui va contrebalancer la diffusion des charges et rétablir l'équilibre thermodynamique. Le courant est nul dans le cas d'une jonction PN non-polarisée.

c) Caractéristique d'une cellule photovoltaïque

La cellule étant chargée par une résistance, lorsque l'on éclaire la jonction p-n, on observe l'apparition d'un courant inverse I sous une tension en sens direct V . la jonction fonctionne en photopile, c'est l'effet PV.

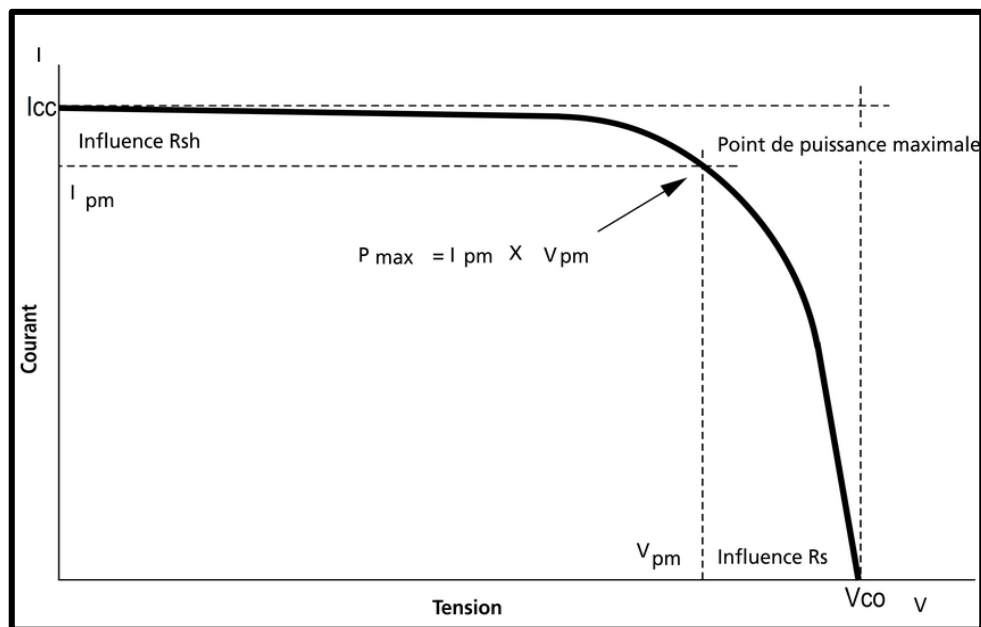


Figure II.8: Caractéristique d'une cellule PV

d) Système photovoltaïque

On appelle système photovoltaïque l'ensemble des composants nécessaire à l'alimentation d'une application en toute fiabilité. Il est composé d'un module photovoltaïque, d'un régulateur et d'une batterie. Un panneau photovoltaïque se compose de petites cellules qui produisent une très faible puissance électrique (1 à 3 W) avec une tension continue de moins d'1 V. Ces cellules sont disposées en série pour former un module ou panneau permettant de produire une puissance plus élevée. Les panneaux sont finalement interconnectés entre eux (en série et/ou en parallèle) pour obtenir un champ photovoltaïque. Il existe 2 types de systèmes photovoltaïques [48].

1) Systèmes photovoltaïques indépendants

C'est un système photovoltaïque qui alimente l'utilisateur en électricité (sans être connecté au réseau électrique). En effet, ces systèmes appelés aussi «autonomes» sont des systèmes qui ne dépendent pas de l'existence d'un réseau d'électricité. C'est bien souvent le seul moyen de s'électrifier lorsque le courant du réseau n'est pas disponible: dans les maisons en site isolé, sur des îles, en montagne et en désert [48].

1.1) Le système de régulation de charge

Les systèmes de régulation de charge sont des éléments d'un système photovoltaïque qui ont pour but de contrôler la charge et la décharge d'une batterie afin d'en maximiser la durée de vie.

Son rôle principal est de réduire le courant lorsque la batterie est presque entièrement chargée. Presque toutes les installations autonomes sont équipées d'un régulateur qui contrôle le flux d'énergie allant des cellules solaires vers la batterie et les utilisateurs [48].

1.2) Les batteries

IL existe très peu d'installations autonomes qui n'ont pas besoin de stocker de l'énergie, cependant, elles existent.

- L'énergie photovoltaïque peut faire fonctionner une pompe pour les besoins en eau dans une région isolée sans forcément avoir recours à une batterie de stockage.
- Une autre utilisation serait pour pomper l'eau d'une piscine.
- On peut aussi relier des ventilateurs directement sur les panneaux PV si on contente des heures de soleil pour leur fonctionnement. Une batterie s'impose, dans la majorité des cas. Cette batterie aura pour le rôle de maintenir en service une charge en période de faible ensoleillement ou en l'absence d'ensoleillement. Dans les systèmes nécessitant un stockage de l'énergie électrique, la batterie électrochimique à accumulateur constituera souvent l'option la plus simple et la plus adéquate; on se contente des heures de soleil pour leur fonctionnement.

2) Système photovoltaïque connectés au réseau

Par système photovoltaïque connecté au réseau, on entend un système dont le champ photovoltaïque est couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un convertisseur courant continu-courant alternatif. Le convertisseur ou onduleur remplit les fonctions suivantes:

- Conversion de courant continu en courant alternatif compatible avec la tension du réseau.
- Sécurité
- Optimisation de la tension continue de manière à ce que le champ de modules fonctionne dans des conditions de puissance optimales.

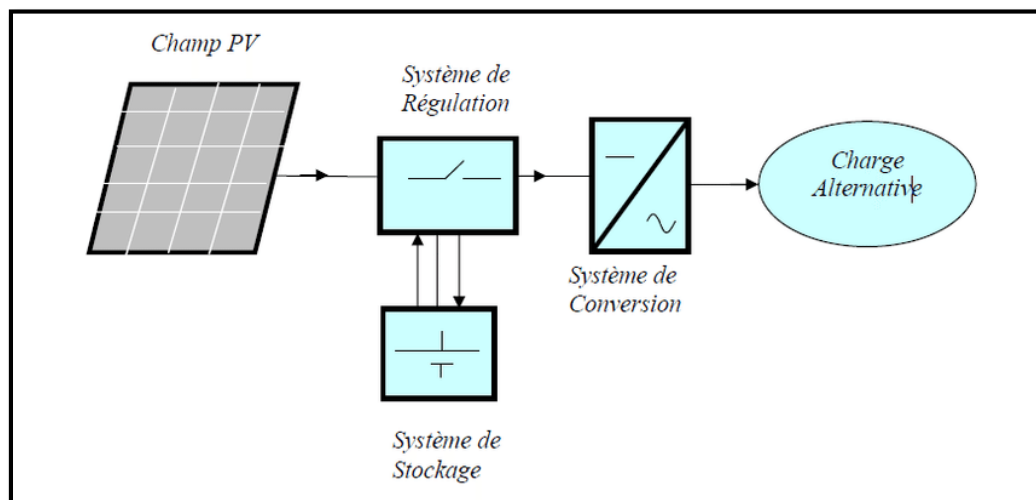


Figure II.9: Principe de conversion d'un Système photovoltaïque connectés au réseau

e) Générateur photovoltaïque

La puissance fournie par une seule cellule solaire étant très faible, plusieurs cellules sont associées encapsulées pour former un module [48].

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 [48].

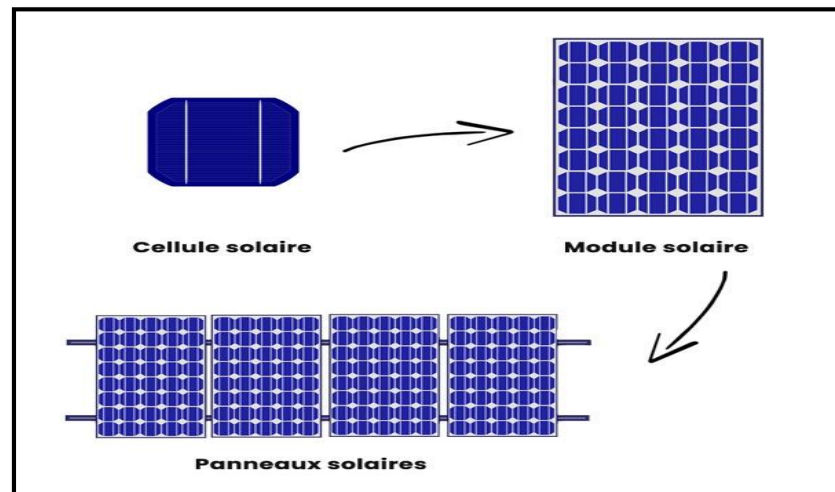


Figure II.10: Composantes d'un générateur de modules photovoltaïque.

1) Caractéristiques d'un Générateur photovoltaïque

Voici la description des paramètres d'un module [50]:

- **La puissance crête P_c :** la puissance maximale produite par un module photovoltaïque dans les conditions standards: ensoleillement de 1000 W/m^2 à l'horizontale, température ambiante de 25°C , masse d'air optique (AM) égale à 1,5.
- **La caractéristique $I(V)$:** Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
- **Tension à vide V_{co} :** Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement «plein soleil ».
- **Courant de court-circuit I_{cc} :** Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement «plein soleil ».
- **Point de fonctionnement optimum (U_m, I_m):** Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, $P_m = U_m \cdot I_m$
- **Rendement maximal:** Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.
- **Facteur de forme:** Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule: $V_{co} \cdot I_{cc}$ [50].

2) Association des cellules

- **Association en série:** En additionnant des cellules ou des modules identiques en série, le courant de la branche reste le même mais la tension augmente

proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série. La figure (II.11) montre l'intérêt de l'association des cellules ou modules photovoltaïques identiques en série.

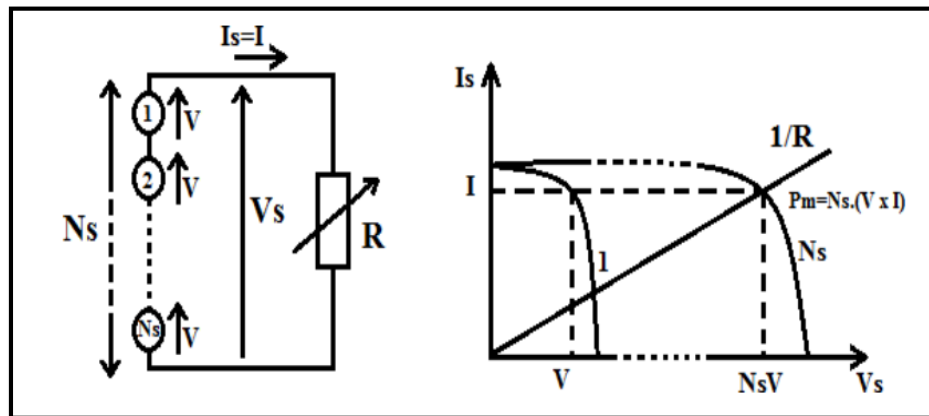


Figure II.11: Association en série

- Association en parallèle:** En additionnant les modules identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche. Comme illustré sur la figure (II.12).

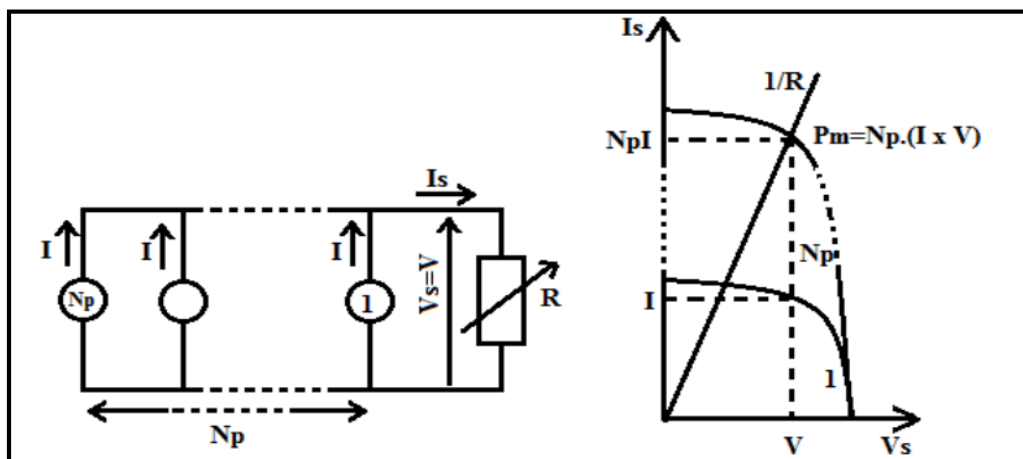


Figure II.12: Association en parallèle

II.7 Système de stockage

Les unités de stockage, sont des éléments indispensables dans les systèmes en site isolé. Correctement dimensionnées, 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.

Pour des raisons de sécurité, de satisfaction des charges électriques pendant les périodes d'absence d'une ressource primaire, mais aussi de coût, de nombreux domaines doivent disposer d'un système de stockage, Ce dernier peut se réaliser grâce aux batteries. Il y a d'autres formes de stockage, mais peu utilisées, comme le volant d'inertie [51].

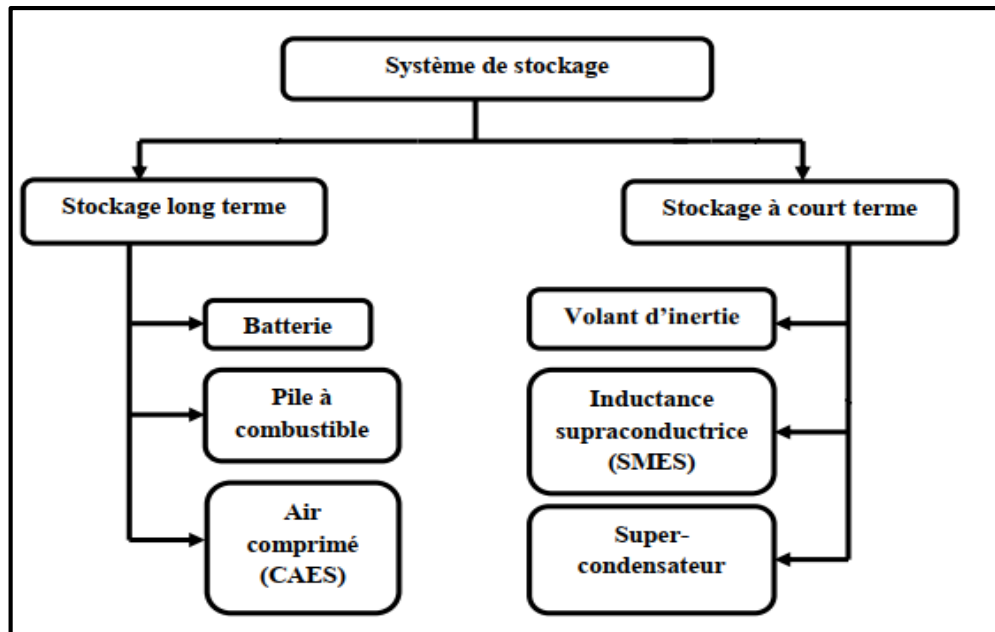


Figure II.13: Organigramme descriptif de différents types de stockage

II.8 Générateur diesel

Dans le cas d'un système d'énergie renouvelable, la production d'énergie électrique est réalisée en fonction des ressources (vent, soleil...) et non de la demande d'énergie. Dans les cas des installations autonomes, il est donc nécessaire de recourir au stockage ou d'ajouter un ou plusieurs groupes électrogènes diesels.

Dans un SEH, le générateur classique est généralement le moteur diesel directement couplé au générateur synchrone (Figure II.16).

La fréquence du courant alternatif à la sortie est maintenue par un gouverneur de vitesse sur le moteur diesel. Le gouverneur fonctionne en ajustant le flux de carburant au diesel, pour garder la vitesse du moteur et la vitesse du générateur constante. La fréquence du réseau est directement liée à la vitesse de rotation du générateur et elle est donc maintenue au niveau désiré [52].



Figure II.14: Générateur diesel

L'utilisation des moteurs diesel comme moteur d'entraînement dans les groupes électrogènes de petite puissance est due aux avantages qui présentent, qu'on peut citer [52]:

- Leur rendement élevé comparativement à celui d'une centrale à gaz ou à vapeur.
- Leur fiabilité et la simplicité de leur fonctionnement.

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une description générale des systèmes hybrides

Tous les composants ont été introduits afin de permettre une bonne compréhension du fonctionnement des systèmes. Et pour faciliter la conception nous avons aussi mis en valeur les avantages, les inconvénients et les limites d'utilisation de ces systèmes

CHAPITRE III:

APPROCHES THEORIQUES ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES
ENERGETIQUES DANS NOTRE

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

III.1 Introduction:

Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. D'ici 20-30 ans tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables. Naturellement décentralisées, il est intéressant de les exploiter sur le lieu de consommation, en les transformant directement soit en chaleur, soit en électricité selon les besoins. La production d'électricité décentralisée par sources d'énergies renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement. [71]. Cependant le caractère aléatoire de ces sources nécessite d'établir des règles de dimensionnement et d'utilisation de ces systèmes pour les exploiter au mieux.

Dans le cas d'installations photovoltaïques autonomes, l'énergie produite par les panneaux solaires photovoltaïques est utilisée immédiatement (pompage, ventilation...) ou stockée dans des batteries pour une utilisation différée (éclairage intérieur et extérieur...). [71]

III.2 Le pompage photovoltaïque

Une pompe photovoltaïque se présente fondamentalement de deux façons selon qu'elle fonctionne avec ou sans batterie. Alors que cette première utilise une batterie pour stocker l'électricité produite par les modules, la pompe sans batterie, plus communément appelée « pompe au fil du soleil », utilise un réservoir pour stocker l'eau jusqu'au moment de son utilisation [53].

La pompe avec batterie permet de s'affranchir des aléas du soleil et des problèmes d'adaptation entre générateur photovoltaïque et motopompe. Le débit de pompage peut se faire à la demande, lorsque les utilisateurs en ont besoin, ou permettre un pompage régulier durant toute la journée. Dans ce dernier cas, l'utilisation d'un réservoir de stockage pour l'eau sera nécessaire afin de pouvoir fournir à la demande d'eau.

Toutefois, l'utilisation de batteries comporte davantage de composants qui influent sur la fiabilité et le coût global du système. Les batteries sont fragiles et sont souvent les premiers éléments qui auront besoin d'être changés. Elles nécessitent en outre un entretien constant et un contrôle rigoureux de leur charge et décharge. Les contrôleurs utilisés pour régulariser la charge ET la décharge des batteries vieillissent rapidement et peuvent s'avérer non-fiables. Les batteries introduisent également un certain degré de perte de rendement d'environ 20% à 30% de la production d'énergie [53].

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

Le pompage au fil du soleil permet d'avoir un système photovoltaïque plus simple, plus fiable et moins coûteux qu'un système avec batterie. Le stockage se fait de manière hydraulique, l'eau étant pompée, lorsqu'il y a suffisamment d'ensoleillement, dans un réservoir au-dessus du sol. Elle est ensuite distribuée par gravité au besoin. Le réservoir peut souvent être construit localement et la capacité de stockage peut varier d'un à plusieurs jours. Ce réservoir ne requiert pas un entretien complexe et est facile à réparer localement [53].

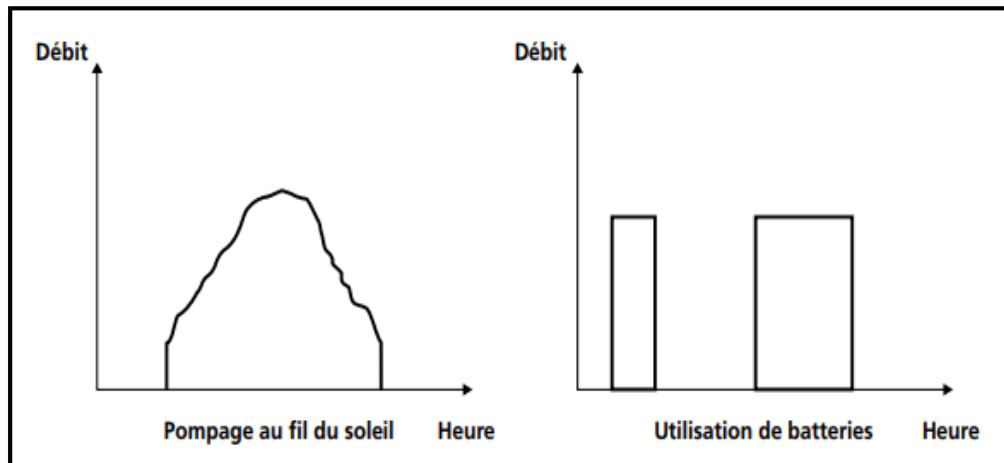


Figure III.1: Caractéristiques du débit pour le pompage au fil du soleil et avec batterie

Compte tenu du coût additionnel du système avec batterie, des problèmes de maintenance de la batterie et de l'obligation de la remplacer après 3 à 5 ans d'usage, la solution au fil du soleil est présentement préférée. Néanmoins, celle-ci présente certains inconvénients qu'il ne faut pas négliger lors de son choix: [53]

- IL est impossible de pomper au-dessous d'un certain niveau d'éclairement, la pompe ne pouvant être amorcée sous une certaine puissance fournie. Il y a donc perte d'énergie au début et à la fin de la journée.
- Parce que le rendement des pompes diminue en dehors de leur puissance nominale de fonctionnement, le système nécessitera l'utilisation d'un adaptateur de charge. Ceci est particulièrement nécessaire pour les pompes volumétriques.
- Le débit de la pompe ne sera pas constant et le rabattement du puits ou du forage peut être trop élevé durant certaines périodes de la journée.

La classification des pompes peut se faire selon différents critères: conception de la pompe, sa position dans le système et le type du moteur utilisé [54].

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

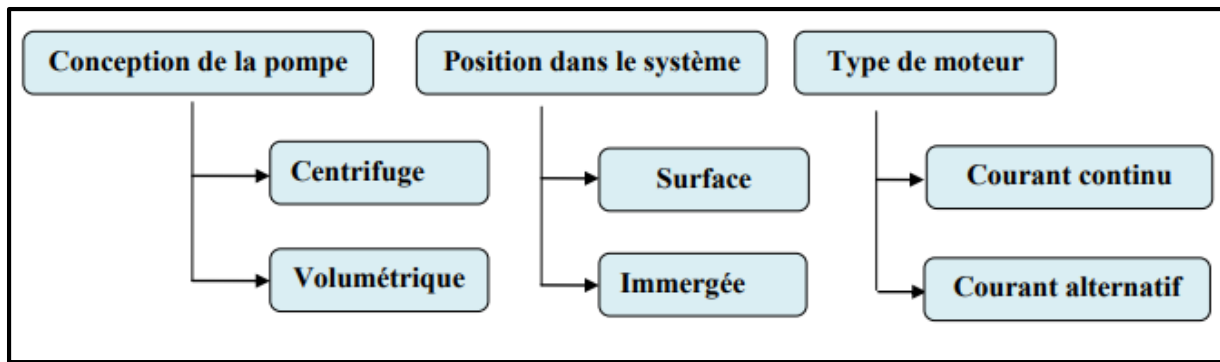


Figure III .2: Classification des pompes

III.2.1 Classification selon la conception de la pompe:

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. Il existe deux types de pompes: les pompes centrifuges et les pompes volumétrique.

a) La pompe volumétrique

La pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va-et-vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement [53].

Les pompes volumétriques incluent les pompes à vis, les pompes à palettes, les pompes à piston et les pompes à diaphragme. Les deux derniers types sont utilisés dans les puits ou les forages profonds (plus de 100 mètres).L'entraînement est habituellement assuré par un arbre de transmission très long, à partir d'un moteur électrique monté en surface.

Le débit d'eau d'une pompe volumétrique est proportionnel à la vitesse du moteur. Mais son couple varie essentiellement en fonction de la hauteur manométrique totale (HMT) et est pratiquement constant en fonction de la vitesse de rotation du moteur [53].

Le couple de démarrage est donc pratiquement indépendant du débit et sera proportionnel à la HMT. La puissance consommée sera proportionnelle à la vitesse. C'est pourquoi ces pompes sont habituellement utilisées pour les puits et les forages à grandes profondeurs et à petits débits d'eau. On les utilise parfois comme pompes de surface lorsque le couple est lent et irrégulier et que le débit demandé est faible, par exemple pour les pompes à main et les pompes éoliennes multi -pales [53].

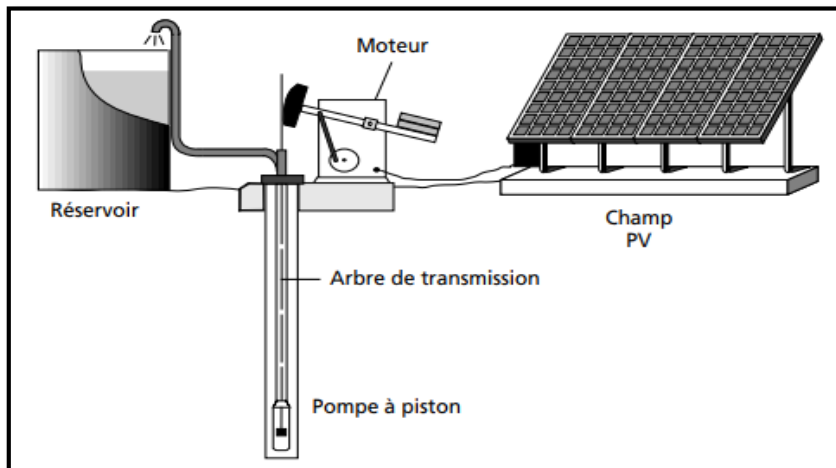


Figure III.3: Pompe à piston pour de grandes profondeurs et de petits débits d'eau

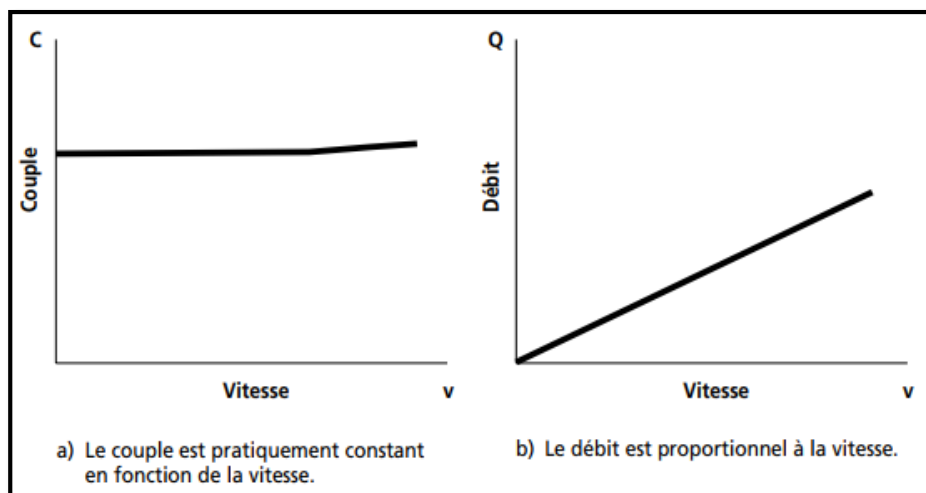


Figure III.4: Caractéristiques d'une pompe volumétrique

b) La pompe centrifuge

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou d'ailettes. L'eau entre au centre de la pompe et est poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages. Afin d'augmenter la pression, donc la hauteur de refoulement, plusieurs étages d'aubages peuvent être juxtaposés sur le même arbre de transmission. Chaque étage fait passer l'eau à l'étage suivant en relevant la pression jusqu'à l'étage final, délivrant un volume d'eau à pression élevée (voir figure III.5). Ces pompes incluent les pompes submersibles avec moteur de surface ou submergé, les pompes flottantes et les pompes rotatives à aspiration.

La pompe centrifuge est conçue pour une HMT relativement fixe. Le débit de cette pompe varie en proportion de la vitesse de rotation du moteur. Son couple augmente très rapidement

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

en fonction de cette vitesse et la hauteur de refoulement est fonction du carré de la vitesse du moteur. La vitesse de rotation du moteur devra donc être très rapide pour assurer un bon débit.

La puissance consommée, proportionnelle à débit (Q) \times HMT, variera donc dans le rapport du cube de la vitesse. On utilisera habituellement les pompes centrifuges pour les gros débits et les profondeurs moyennes ou faibles (10 à 100 mètres). Parce que le couple de démarrage est limité au couple de frottement de la pompe à vitesse nulle (qui est plus important qu'en rotation), la pompe requiert une vitesse minimale à une HMT donnée pour obtenir un débit de départ non nul [53].

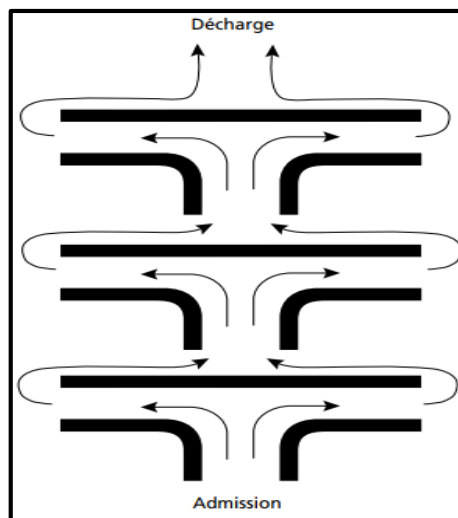


Figure III.5: Cheminement de l'écoulement dans une pompe centrifuge à étages multiples

1) La pompe centrifuge est caractérisée par :

- Le nombre d'étages est lié à la hauteur manométrique totale de refoulement.
- Le type d'aubage de chaque étage est lié à la puissance hydraulique à fournir pour la HMT nominale.
- Les rendements hydrauliques des pompes solaires sont élevés (utilisation de technologies de pointe). Ils sont de l'ordre de 55% à 60% au point de fonctionnement nominal.
- La durée de vie peut être estimée entre 5 et 7 ans (elle est fortement liée à la qualité de l'eau).
- L'entretien courant consiste au nettoyage des étages (boue, sable, déchets si la pompe est installée dans un puits). La fréquence de celui-ci dépend de la qualité de l'eau pompée [53].

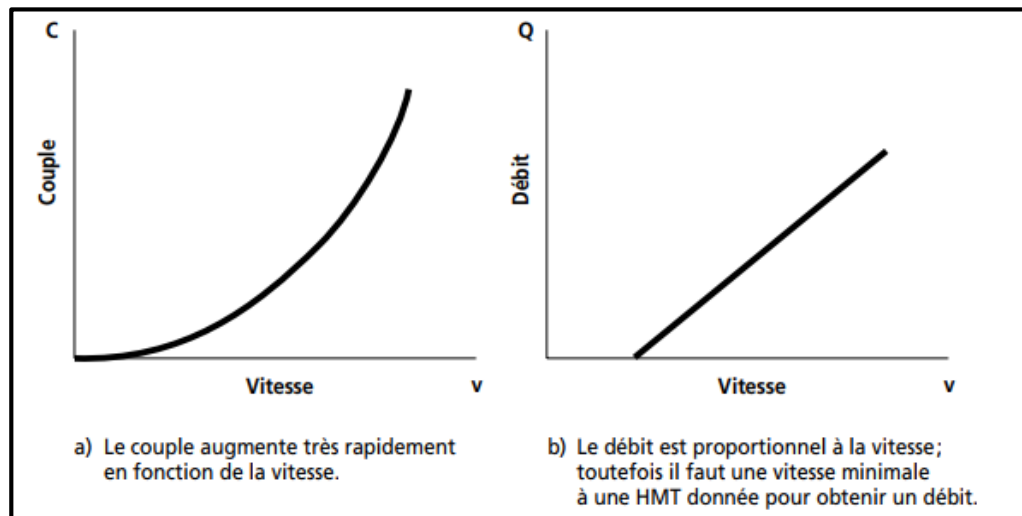


Figure III.6: Caractéristiques d'une pompe centrifuge

III.2.2 Classification selon la position de pompe: En fonction de l'emplacement physique de la pompe, nous distinguons: Les pompes de surface, et les pompes immergée [46].

- a) **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.

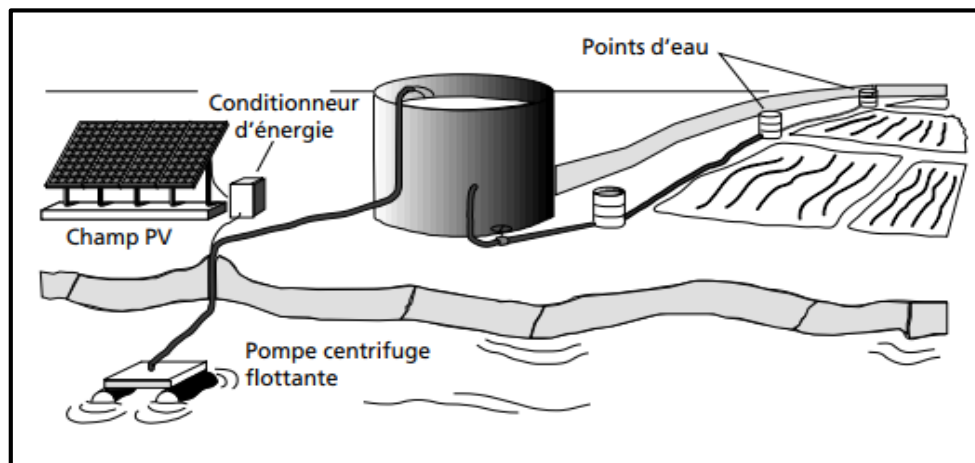


Figure III.7: Pompe centrifuge surface

- b) **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.

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

III.3 Les types de moteurs

Le moteur d'un groupe motopompe convertie l'énergie électrique en énergiemécanique. IL peut être à courant continu ou alternatif. Dans ce derniercas, un convertisseur électronique ou un onduleur est nécessaire pourconvertir le courant continu provenant d'un générateur photovoltaïque encourant alternatif. Pour cette raison, le choix d'un moteur à courant continu peut sembler, de prime abord, plus intéressant, mais nous allons voir quel'évolution de convertisseurs électroniques efficaces permet également dechoisir des moteurs alternatifs efficaces et, surtout, moins coûteux [53].

a) Moteur à courant continu

L'énergie électrique appliquée à un moteur est transformée en énergiemécanique en variant le sens du courant circulant dans un induit (habituellement le rotor) soumis à un champ magnétique produit par uninducteur (habituellement le stator). La commutation du courant dans lerotor d'un moteur à courant continu est effectuée à l'aide de balais composésde charbon et de graphite ou par commutation électronique [53].

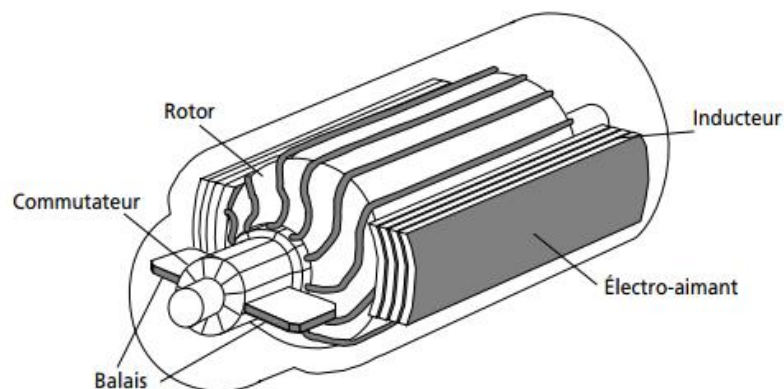


Figure III.8: Moteur à courant continu avec balais

b) Moteur à courant alternatif

Le moteur à courant alternatif est utilisé de plus en plus pour les systèmes de pompage photovoltaïque. Le coût peu élevé du moteur, son faible besoin de maintenance et l'efficacité accrue des onduleurs solaires le rendent particulièrement attrayant pour les systèmes de pompage plus importants où le coût additionnel de l'onduleur est moins significatif.

Les moteurs alternatifs asynchrones sont les plus couramment employés pour une gamme variée d'applications industrielles.

Le moteur alternatif pour le pompage solaire est habituellement de type asynchrone, triphasé et à rotor en court-circuit (rotor à cage) [53].

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

III.4 Dimensionnement et choix de la pompe:

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

- Evaluation des besoins en eau
- Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire
- Détermination de l'énergie solaire disponible
- Choix des composants

a) Evaluation des besoins en eau

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 [68].

La capacité du réservoir sera déterminée selon les besoins en eau journalières et l'autonomie requise du système [68].

Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire Une fois définies les besoins nécessaires en volume d'eau pour chaque mois de l'année et les caractéristiques du puits, nous pouvons calculer l'énergie hydraulique moyenne journalière et mensuelle nécessaire à partir de la relation:

$$E_h = g \rho_a V_a / 3600 \quad \text{(III.1)}$$

Où

E_h : Énergie hydraulique (Wh/jour)

h : hauteur totale (m)

V_a : volume d'eau (m³ /jour)

ρ_a : densité de l'eau (1000 kg/m³)

g : accélération de la pesanteur (9,81m/s²)

Durant le processus de pompage, le niveau d'eau à l'intérieur du puits tend à baisser, jusqu'à ce que la vitesse avec laquelle la régénération du puits arrive à équilibrer la quantité pour que l'on puisse pomper l'eau de nouveau. L'abaissement du niveau d'eau dans le puits dépend d'un certain nombre de facteurs, comme le type et la perméabilité du sol et l'épaisseur de l'aquifère.

La hauteur totale de pompage est la Somme de la hauteur statique et de la hauteur dynamique:

$$h = h_s + h_d \quad \text{(III.2)}$$

Dans le cas de puits qui présentent des variations importantes du niveau d'eau en fonction du débit, on peut ajouter un terme correctif et cette équation devient:

$$h = h_s + h_d + \left(\frac{h_d - h_s}{Q_p} \right) Q_A \quad \text{(III. 3)}$$

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

h_s : Niveau statique (m)

Q_p : débit d'essai (m³ /h)

h_d : Niveau dynamique (m)

Q_A : débit apparent (m³ /h)

La hauteur statique h_s est la distance entre le niveau statique de l'eau dans le puits jusqu'au point le plus élevé auquel on doit pomper l'eau.

La hauteur dynamique h_d représente les pertes d'eau dans la tuyauterie. La formule de Darcy-Weisbach [6] permet le calcul de la hauteur dynamique:

$$h_d = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad \text{(III.4)}$$

f : coefficient de friction des parois de la tuyauterie

v : vitesse moyenne du fluide (m/s)

L : longueur de la tuyauterie (m)

D : diamètre de la tuyauterie (m)

g : accélération de la pesanteur (m/s²)

- **Dimensionnement du champ photovoltaïque :**

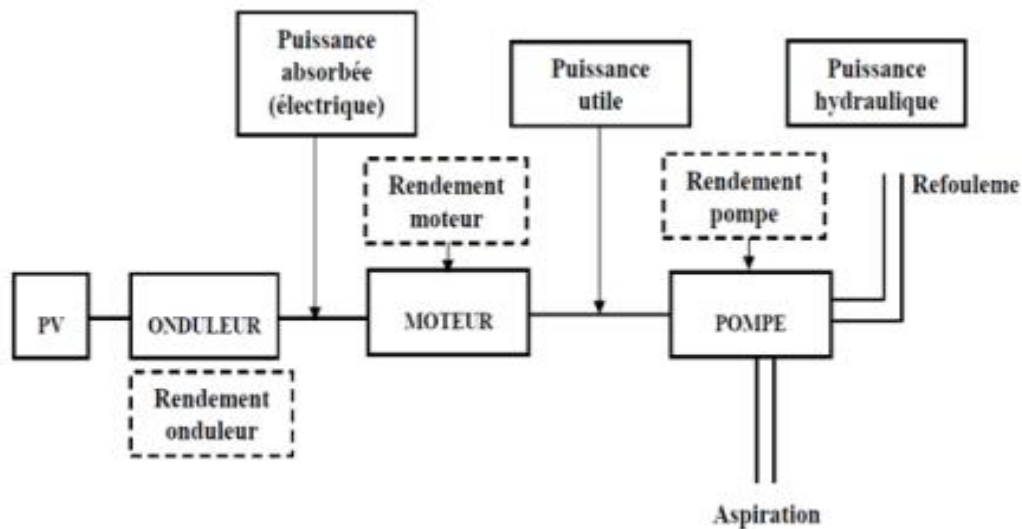


Figure III.9 : Chaîne de conversion d'un pompage PV au fil du soleil

✓ L'énergie électrique journalière nécessaire E_{elec} (kWh/j) pour soulever une certaine quantité d'eau sur une certaine hauteur donnée pendant une journée est calculée par la formule suivante[69] :

$$E_{elec} = \frac{P_{abs} \times t_f}{\eta_{ond}} \quad \text{(III.5)}$$

P_{abs} : Puissance absorbée de la pompe choisie en kW]

η_{ond} : Rendement de l'onduleur

t_f : Nombre d'heure de fonctionnement en h/j

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

✓ La puissance crête nécessaire $P_{c\ mini}$ (en kWc) est calculée par la formule suivante :

$$E_{elec} = P_{c\ mini} \times E_i \times K_p \times \eta_{ond} \quad (III.6)$$

D'où

$$P_{c\ mini} = \frac{E_{elec}}{E_i \times K_p} \quad (III.7)$$

Avec

E_i : Irradiation moyenne mensuelle (kWh/m².j)

K_p : Coefficient de productivité du système PV

- **Détermination du débit horaire de la pompe Q_{pen} (m³/h)**

Pour estimer le débit maximal de la pompe en m³/h, on prend approximativement la valeur de la demande journalière de pointe D_{jp} à l'horizon 2041 qu'on divise par 4,31 qui est le nombre heures d'ensoleillement maximal. Le débit horaire de la pompe est calculé de la manière suivante [72]:

$$Q_p = \frac{D_{jp}}{H_i} \quad (III.8)$$

H_i : Nombre d'heure d'ensoleillement (de référence 4,31 h/j).

- **Calcul de la hauteur manométrique totale (HMT) :**

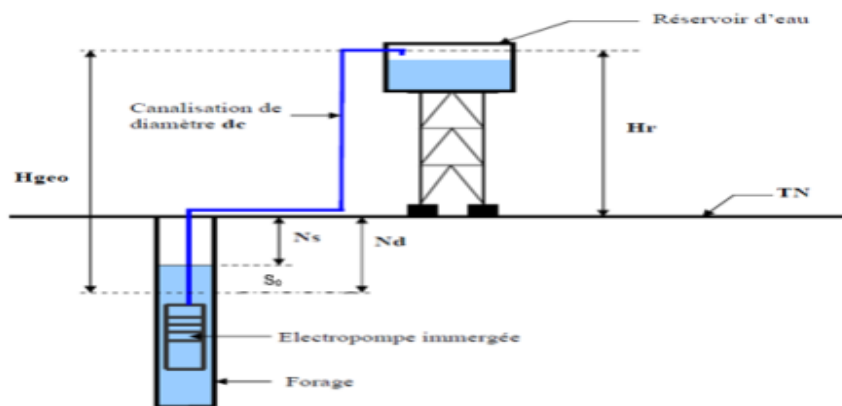


Figure III.10 : Système de pompage photovoltaïque avec stockage

La hauteur manométrique totale dépend de la hauteur géométrique d'élévation et des pertes de charge. Les pertes de charge dites de friction dépendent du diamètre, de la longueur, de la rugosité de la conduite, et du débit, tandis que les pertes de charge singulières sont dues à la présence d'accidents sur la canalisation tels que les vannes, les coudes, clapet, les filtres, les débitmètres, etc.

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

Cette hauteur peut être calculée comme suit:

$$\mathbf{HMT} = \mathbf{H_{géo}} + \sum \mathbf{Pdc} \quad \mathbf{(III.8)}$$

Où

$\sum Pdc$: Pertes de charges (linéaires et singulières).

$H_{géo}$: Hauteur géométrique = Niveau dynamique (N_d) + Plan d'utilisation (H_r)

Le niveau statique (N_s) est la distance du sol à la surface de l'eau avant pompage.

Le niveau dynamique (N_d) est la distance du sol à la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné.

b) Dimensionnement du générateur photovoltaïque [68]

La puissance de sortie d'un générateur photovoltaïque sous les conditions standards de mesure, CSM, (éclairage $G_{ce} = 1000 \text{ W/m}^2$ et température de cellule $T_{c,ref} = 25 \text{ °C}$) est:

$$\mathbf{P_p} = \mathbf{\eta_g A G_{ce}} \quad \mathbf{(III.9)}$$

Où

P_p : Puissance de sortie sous CSM (W)

η_g : Rendement du générateur à la température de référence (25 °C)

A: surface active du générateur (m^2)

G_{ce} : Éclairement dans les CSM (1000 W/m^2)

L'énergie électrique journalière, E_e est donnée par:

$$\mathbf{E_e} = \mathbf{\eta_{pv} A G_{dm}(\beta)} \quad \mathbf{(III.10)}$$

Où

η_{pv} : Rendement moyen journalier du générateur dans les conditions d'exploitation

$G_{dm}(\beta)$: irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison β (kWh/m^2 /jour).

Le rendement η_{pv} peut être calculé à l'aide de l'expression:

$$\mathbf{\eta_{pv}} = \mathbf{F_m [1 - \gamma(T_c - T_{c,ref})] \eta_g} \quad \mathbf{(III.11)}$$

où F_m : facteur de couplage, défini comme le rapport entre l'énergie électrique générée sous les conditions d'exploitation et l'énergie électrique qui se générerait si le système travaillait au point de puissance maximum.

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

γ : coefficient de température des cellules. γ prend des valeurs entre 0,004 et 0.005 /°C pour des modules au silicium mono et poly cristallin, et entre 0,001 et 0,002 pour des modules au silicium amorphe.

T_c : Température moyenne journalière des cellules durant les heures d'ensoleillement.

L'énergie électrique nécessaire est liée avec l'énergie hydraulique par l'expression:

$$E_h \frac{E_h}{\eta_{MP}} \quad \text{(III.12)}$$

Où

E_h : Énergie hydraulique moyenne mensuelle (kWh)

η_{MP} : Rendement du sous-système moteur-pompe.

- **Dimensionnement des tuyauteries**

Le diamètre des tuyauteries peut être estimé en utilisant des tableaux ou des graphes qui expriment les pertes par frottements en fonction du débit pour chaque diamètre de la tuyauterie.

En pratique, il se présente le problème de fixer la hauteur dynamique h_d pour des considérations économiques. En effet, si nous augmentons le diamètre D de la tuyauterie, h_d diminue. Economiquement parlant, une augmentation de D suppose une augmentation des dépenses d'installation, mais en même temps une diminution des pertes d'énergie.

Le diamètre le plus économique sera celui qui réduit au minimum la Somme des coûts de la tuyauterie et de l'énergie perdue par frottements. Il est possible d'obtenir analytiquement les diamètres des tuyauteries de pompage qui s'approchent à ceux qui minimisent les coûts des installations par la formule de Bresse [68]:

$$D = K\sqrt{Q} \quad \text{(III.13)}$$

D : diamètre de la tuyauterie (m)

K : coefficient qui varie de 0,75 à 1,40

Q : débit crête de la pompe (m³/s)

L'équation de continuité est:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} v \quad \text{(III.14)}$$

Choisir la valeur K équivaut à fixer la vitesse moyenne du fluide (v). Enfin en substituant dans l'équation de continuité la valeur de Q prise de la formule de Bresse, nous avons:

$$v = \frac{4}{\pi K^2} \quad \text{(III.15)}$$

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

Quelque soit la formule employée, les diamètres obtenus diffèrent fréquemment des diamètres commerciaux. IL suffit de prendre la valeur du diamètre commercial le plus approche et d'ajouter les calculs en conséquence.

III.5 Les pivots solaires

Dans nos jours, la demande pour l'irrigation est de plus en plus très importante, en particulier dans les sites isolés où l'accès à l'énergie classique est difficile voir pratiquement impossible. Ce phénomène a fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des générateurs photovoltaïques comme nouvelle source d'énergie. La réalisation d'un système de pivot solaire autonome La figure (11), fiable et à bon rendement, constitue une solution pratique et économique, en particulier, dans les régions désertiques. En effet, un système photovoltaïque devient intéressant lorsqu'il est En facile à installer, avec une autonomie acceptable et une excellente fiabilité de service. Le pivot solaire fonctionne de la même façon qu'un pivot alimenté par le réseau Électrique ou par un groupe électrogène. IL permet d'offrir une solution alternative aux autres sources d'énergie. En effet, dans certaines conditions, la distance avec la première source d'énergie disponible est telle qu'il est financièrement intéressant d'utiliser l'énergie solaire directement disponible au pied du pivot. [73]



Figure III.11: Pivot solaire

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

III.5.1 description des techniques d'irrigation

L'irrigation est l'opération qui consiste à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de la nappe, en particulier dans les zones arides. Les différents systèmes d'irrigation nécessitent des matériaux bien connus, pratiqués aux champs avec des méthodes adaptées. En effet, chacune de ces méthodes présente des avantages et des inconvénients. IL existe plusieurs systèmes d'irrigation. [73]

III.5.2 Classification des Systèmes d'irrigation

Les systèmes d'irrigation peuvent être classés en trois grandes catégories: L'irrigation gravitaire et l'irrigation sous par aspiration et irrigation à goutte à goutte. La figure (III.11) présente une architecture de ces différentes méthodes d'irrigation pratiquées partout dans le monde. [73]

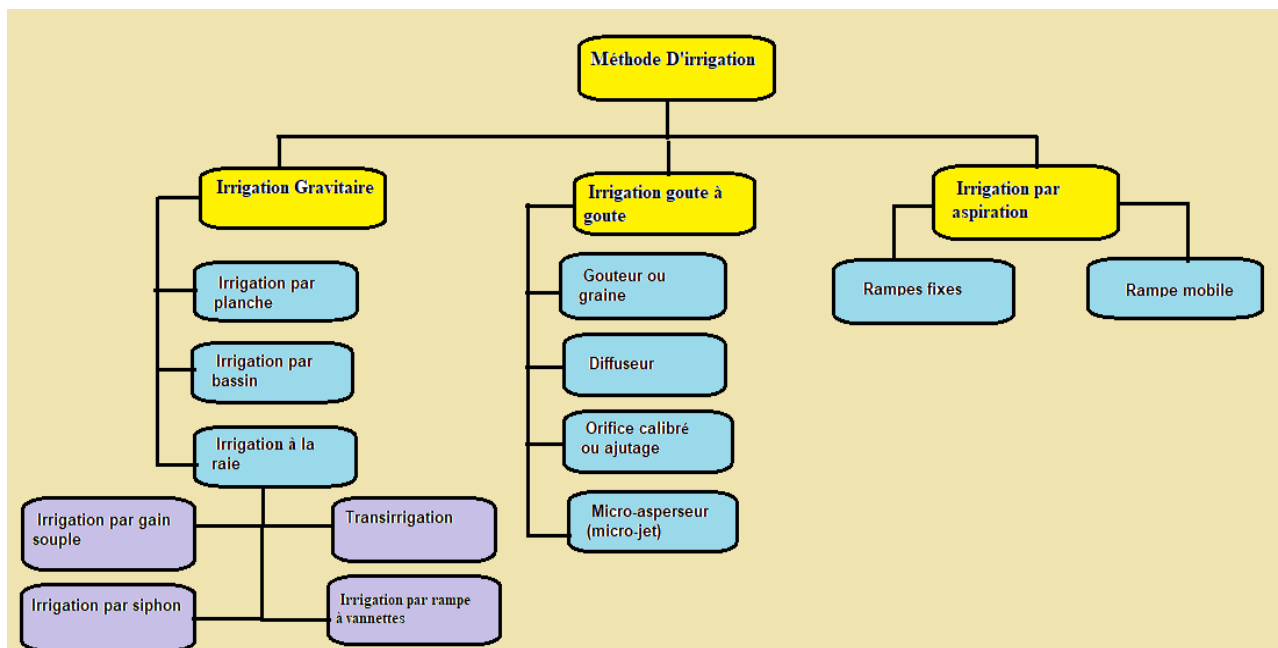


Figure III.12: Différentes méthodes d'irrigation pratiquées

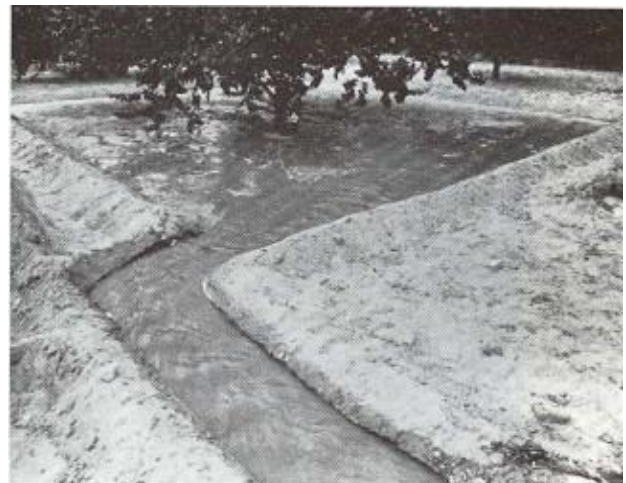
CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

a) Irrigation gravitaire

L'irrigation gravitaire ou irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité. L'eau est ensuite distribuée au champ, soit par submersion (irrigation par bassins), soit dans des sillons en terre (irrigation par sillons) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches). [74]

• Irrigation par Bassins

Les bassins sont constitués de cuvettes en terre, à fond à peu près plat, entourées de diguettes de faible hauteur ou levées. Ces levées sont conçues pour empêcher le passage de l'eau aux champs adjacents. Cette technique est utilisée, d'une façon générale, pour l'irrigation des rizières sur terrain plat, ou des terrasses à flanc de coteau (voir figure b). La méthode par bassins est aussi utilisée pour l'irrigation des arbres fruitiers; dans ce cas une petite cuvette (bassin) est aménagée autour de chaque arbre (figure a). En général, cette technique d'irrigation s'applique à toutes les cultures qui peuvent tolérer la submersion par les eaux pour une longue durée (e.g. 12-24 heures). [74]



a) Irrigation par bassins pour les arbres fruitiers

b) Irrigation par bassins à flanc de coteau

Figure III.13: Irrigation par bassins

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

- **Irrigation par sillons/a la raie**

Les sillons sont des petites rigoles en terre, aménagées dans le sens de la pente du terrain, pour transporter l'eau entre les rangées de cultures. L'eau s'infiltre dans le sol, principalement par les côtés du sillon, tout le long de son trajet dans le sens de la pente du terrain. Généralement, les plantes sont cultivées sur les billons séparant les sillons (voir figure III.14). Cette technique est valable pour l'irrigation de toutes les cultures en lignes et pour toutes les cultures qui ne tolèrent pas la submersion par les eaux de leur feuillage ou de leur collet pour une longue durée (e.g. 12-24 heures) [74].



Figure III.14 :L'irrigation par sillons

- **Irrigation par palanches**

Les palanches sont des bandes de terrain, aménagées en pente douce et séparées par des diguettes. Elles sont aussi appelées calant ou palanches d'arrosage. L'alimentation en eau des palanches est faite de plusieurs façons: soit à l'aide de prises d'eau aménagées sur le canal d'amenée et équipées d'une vannette, soit par des siphons, ou bien par des tuyaux d'alimentation passant à travers les berges du canal d'amenée. La lame d'eau introduite ruisselle en descendant la pente de la planche, guidée par les diguettes des deux côtés de celle-ci (voir figure III.15) [74].

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE



Figure III.15 :L'irrigation par palanche

- **Irrigation au goutte à goutte**

L'irrigation au goutte à goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PVC; cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de goutteurs répartis tout le long des rangées des plantations. La zone humidifiée du sol est celle située au voisinage immédiat des racines des plantes. Par conséquent, cette méthode d'irrigation a un haut degré d'efficacité de distribution d'eau (figure III.16). L'irrigation au goutte à goutte est aussi appelée micro-irrigation [74].

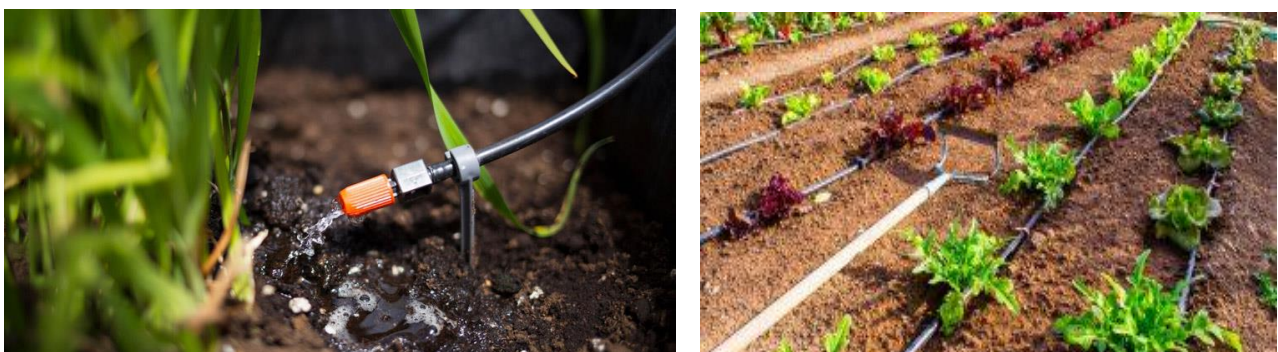


Figure III.16: L'irrigation au goutte à goutte

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

- **Irrigation par aspersion**

La technique d'irrigation par aspersion est conçue sur le modèle de la pluie naturelle. L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par des asperseurs rotatifs sous la forme d'une pluie artificielle.



Figure III.17: L'irrigation par aspersion

III.5.3 Le système d'irrigation par pivot solaire

Le système d'irrigation par aspersion à pivot central est constitué d'une seule conduite d'arrosage de diamètre relativement grand, composée de tuyaux en acier léger galvanisé ou aluminium à haute résistance, suspendus au-dessus du sol par de longues structures métalliques et/ou des câbles et posés sur des tours mobiles sur des roues entrainés par un moteur électrique qui est alimenté par un panneau solaire. Une extrémité de la conduite est raccordée à un mécanisme à pivot implanté au centre de la zone à irriguer: l'ensemble de la Conduite tourne autour du pivot. Le taux d'application des distributeurs d'eau varie entre les plus faibles valeurs près du pivot et les plus élevées vers l'autre extrémité et se fait au moyen de buses de diamètres variables le long de la conduite [75].



Figure III.18: Le système d'irrigation par pivot solaire

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

L'eau est fournie par une station de pompage, peut être située à distance de quelques kilomètres de site à irriguer, sur un canal d'irrigation. La présence de la canalisation sous pression ne signifie pas que l'énergie solaire a été utilisée pour le système de pompage, l'énergie solaire était seulement utilisée pour alimenter les pivots d'irrigation et leurs systèmes de contrôle [76].

Le pivot central est un système d'irrigation automatisé, entièrement mécanisé à basse/moyenne pression et assemblé de manière permanente. Il est devenu très populaire ces dernières années pour l'irrigation de la plupart des cultures de plein champ, céréales, légumineuses, fourrages et légumes. IL est également utilisé pour l'irrigation supplémentaire des céréales cultivées en sec. Le coût de chaque unité étant relativement élevé, ce système est mieux adapté aux grandes exploitations irriguées. La superficie irriguée peut varier entre 3, et 80 ha, selon la taille du pivot central, et plus la superficie arrosée est vaste, plus le coût unitaire par ha est faible. [75]

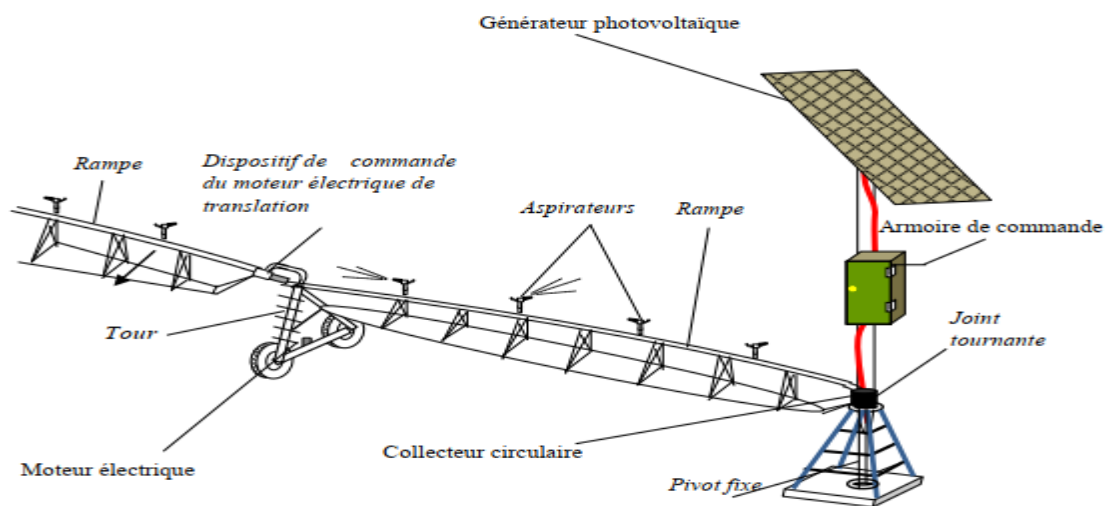


Figure III.19: Schéma de Principe d'un pivot solaire

a) Descriptif technique

- L'élément central

C'est le point où se fait l'arrivée l'eau et d'électricité. L'élément central est généralement fixé sur une dalle en béton équipée d'ancrages scellés dans des plots dont le volume dépend du type de structure de la machine. La dalle doit permettre de résister au couple de retournement exercé par la rampe; son volume minimum dépend du type de structure et de drainage. Chaque ancrage doit être capable de supporter la moitié du couple de renversement résultant. L'eau est amenée à la colonne montante (axe de rotation de

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

l'ensemble). L'électricité est distribuée à la machine soit par un collecteur circulaire à balais pour les appareils effectuant une rotation complète, soit par un câble pour un fonctionnement en secteur. La figure (III.20). [77]

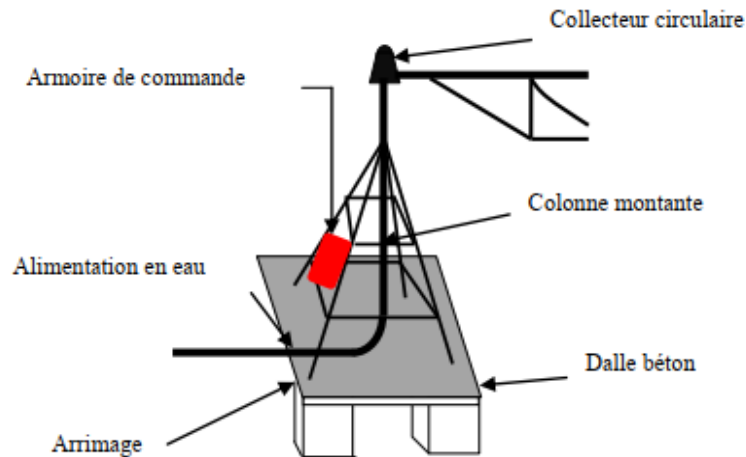


Figure III.20: *L'élément* central

- **Les tours**

Les tours intermédiaires Structures entièrement en acier galvanisé à chaud, posées sur des pieds de tour à haute résistance, avec supports des deux côtés, et axe d'entraînement à haute résistance, supportant les boîtes de vitesse, les pieds des tours et l'unité motrice. Les supports des unités motrices sont intégrés dans le cadre de la boîte de vitesses et non sur la conduite libre [75].

- **Les travées**

Les travées sont compris entre deux tours, elles sont constituées par une canalisation servant de poutre, rigidifiées par une structure d'une longueur de 30m à 65m, elles laissent un dégagement sous structure de 2.5 à 3.5 m pour une hauteur totale de 3.5 à 5m, les pivots utilisés en arboriculture, peuvent laisse un dégagement sous structure de 5.5 m au moins.

Les grands pivots fixes peuvent avoir plus de quinze travées. Pour les solutions déplaçables, on se limitera à 5 travées [77].

- **Les roués**

Existent en différentes dimensions avec différent profils de pneus le choix sera fonction de la pression au sol admissible, du pluviomètre appliqué, de la pente maximale du terrain, les pneus à profil agraire sont préférés.

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

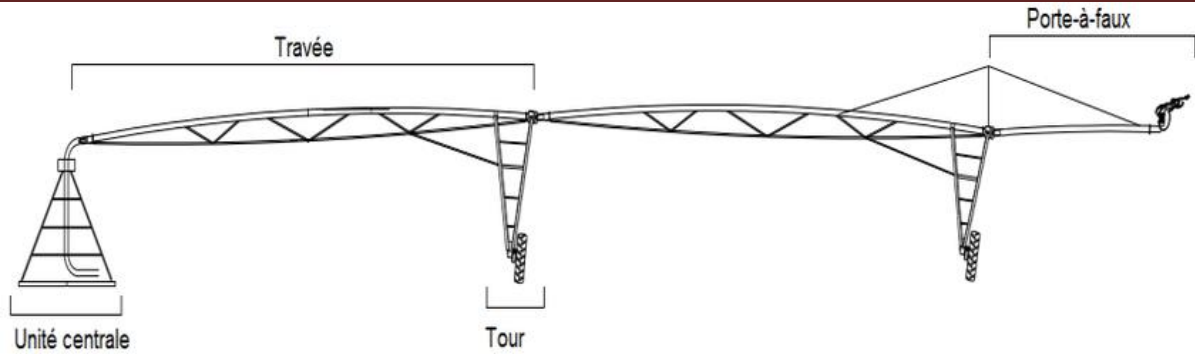


Figure III.21: Schéma d'une rampe pivotante

- **Le porte –à-faux**

Un canon d'aspersion, monté au bout de la conduite suspendue, peut accroître la longueur du dispositif des trois quarts de son rayon d'arrosage, bien que les performances des asperseurs rotatifs soient faibles en basse pression. Les pressions de fonctionnement étant faibles le long de la ligne, le système est sensible aux variations de pression causées par les pertes de charge dues au frottement ou les différences d'élévation ou inégalités du sol. L'installation de manomètres permettant un suivi fréquent est importante, afin d'assurer un débit uniforme et une bonne efficacité et uniformité d'application. Un manomètre est indispensable en fin de conduites. Puisque les régulateurs de pression à 0,4 bar souvent utilisés dans le mode d'application précise à faible énergie nécessitent pour fonctionner correctement au moins 0,65 bar à leur entrée, le maintien de 0,65 bar minimum en fin de ligne garantira un bon fonctionnement de tous les régulateurs. La pression d'admission normale dans le système à pivot est légèrement inférieure à 3 bars.

- **Le motoréducteur**

Le moteur est connecté à un réducteur de vitesse. Cet ensemble est constitué de trois parties comme le montre la figure (III.22). Un premier en entrée tournant à haute vitesse, puis l'engrenage du réducteur de vitesse et enfin, un axe de sortie tournant à basse vitesse. Les moteurs électriques de pivot d'irrigation ont une puissance de (0.18 à 2.KW). Ils sont disposés sur les tours, aux milieux de la barre transversale qui relie les roues. [77]

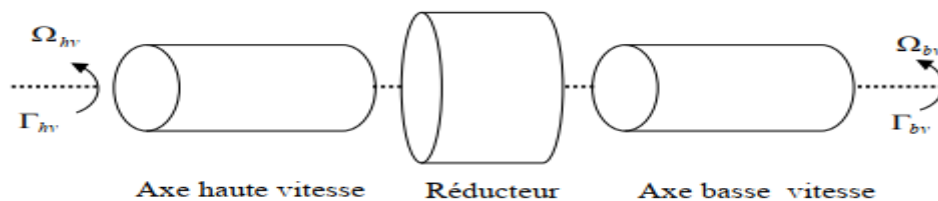


Figure III.22: Schéma d'un Le motoréducteur

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

Ce réducteur réduit donc la vitesse d'entrée par un facteur G . Les relations entre les vitesses et les couples sont les suivantes:

$$\Omega_{hv} = G \times \Omega_{bv} \quad (\text{III.18})$$

$$\Gamma_{hv} = \frac{1}{G} \Gamma_{bv} \quad (\text{III.19})$$

Ω_{hv} : vitesse angulaire de l'axe haute vitesse (rad/s) ;

Γ_{hv} : Couple sur l'axe haute vitesse (N.m)

Ω_{bv} : vitesse angulaire de l'axe basse vitesse (rad/s) ;

Γ_{bv} : Couple sur l'axe basse vitesse (N.m)

- **La conduite d'arrosage**

La longue conduite latérale portant les distributeurs d'eau (asperseurs, barboteurs ou mini-diffuseurs) a un diamètre qui peut varier entre 140 et 250 mm, selon le débit et la longueur du système ; des dimensions standard d'environ 160 mm (6 pouces) et 200 mm (8pouces) sont très courantes. La longueur de la conduite peut varier de 50 à 750 m selon le projet. Elle est constituée d'aluminium ou d'acier léger galvanisé à résistances élevées, avec des raccords extra forts pour résister aux pressions de fonctionnement du système.

La conduite est disposée entre les tours intermédiaires de support en forme de A et sur roues, dont la hauteur type au-dessus du sol est de trois mètres minimum et qui sont espacées de 35 à 55m (longueur de la travée) ; la longueur habituelle ou standard est de 40 mètres. Des charpentes métalliques en arc maintiennent une distribution régulière des charges et poids entre les tours. Au niveau du sol, la hauteur libre requise varie de 2, 75 à 4, 5 mètres pour les plus grandes machines. [75]

La liaison mécanique entre travées doit être articulée dans le plan vertical (variation de pentes) et dans le plan horizontal (avancement) elle permet de tolérer des pentes pouvant aller jusqu'à 15%. Elle est, en générale, assurée par cardan ou une rotule, lorsque le terrain est vallonné, ou par un joint caoutchouc, lorsque le terrain est plat.

Certains agriculteurs et habitants de villages reculés se plaignent de certains vols et le manque de sécurité la nuit, en raison du manque d'éclairage public. Tel que l'éclairage nocturne des lieux publics, des voies de circulation, des monuments et sites des villes et campagnes est devenu aujourd'hui une préoccupation majeure des distributeurs d'énergie électrique et des autorités administratives et politiques en Afrique.

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

III.6 L'éclairage public

L'éclairage public est obtenu en utilisant des dispositifs qui convertissent l'énergie électrique en lumière pour satisfaire le besoin de l'éclairage dans de nombreux sites tel que: éclairage dans salle, amphithéâtre et éclairage du la route. IL existe plusieurs domaines d'utilisations d'éclairage public: usage industriel, usage du secteur tertiaire, usage Médical et hospitalier, éclairage de sécurité, agriculture, musées et galeries d'art. [55]



Figure III.23 : l'éclairage extérieur



Figure III.24 : l'éclairage intérieur

III.6.1 L'objectif d'éclairage:

L'éclairage public permet de:

- Augmenter la sécurité, la fluidité de la circulation sur les chaussées et réduire la gravité et le nombre d'accidents de nuit.
- Augmenter la sécurité des biens et des personnes
- Assurer le confort des conducteurs, des piétons et des riverains se livrer de nuit à des travaux et activités qui, sans l'éclairage, ne pourraient avoir lieu que de jour.
- Assurer une perspective du cadre de vie et valoriser la ville (décorer les espaces les plus prestigieux (avenues centrales, gares, parcs et espaces d'exploitations.

III.6.2 Généralités sur le matériel d'éclairage public

L'essentiel du matériel en éclairage public se résume à trois éléments: la lampe, le luminaire et le candélabre. Cependant, ce sont les deux premiers qui constituent la source même de l'éclairage et qui lui confèrent sa fonctionnalité [68].

III.6.3 Différent source d'éclairage:

La lumière est le medium de l'éclairage qui joue un rôle capital dans nos vies [56]. IL existe plusieurs sources pour bien éclairer

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

Tableau III.1: tableau de différente source d'éclairage

Type de source		Exemples
Source naturelle	Primaire	Soleil, feu, luciole
	Secondaire	Lune, neige, mer, sable
Source artificielle	Primaire	Lampes, tubes, module LED, OLED
	Secondaire	Système optique d'un luminaire (réflecteur, grille, diffuseur...) Surface avec fort coefficient de réflexion et/ou spéculaire

- **Les types des lampes :**

Les différentes technologies des lampes:

- Lampes à incandescence (les ampoules standards, les ampoules halogènes)
- Les lampes fluorescentes (tubes fluorescentes, lampes compactes)
- Les lampes à décharge (lampes à vapeur de sodium Basse Pression ou Haute Pression, lampes à vapeur de mercure, lampes à halogénure métallique)
- Diodes électroluminescentes ou LED (Light Emitting Diodes)
- Lampes à usages spéciaux [57].

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

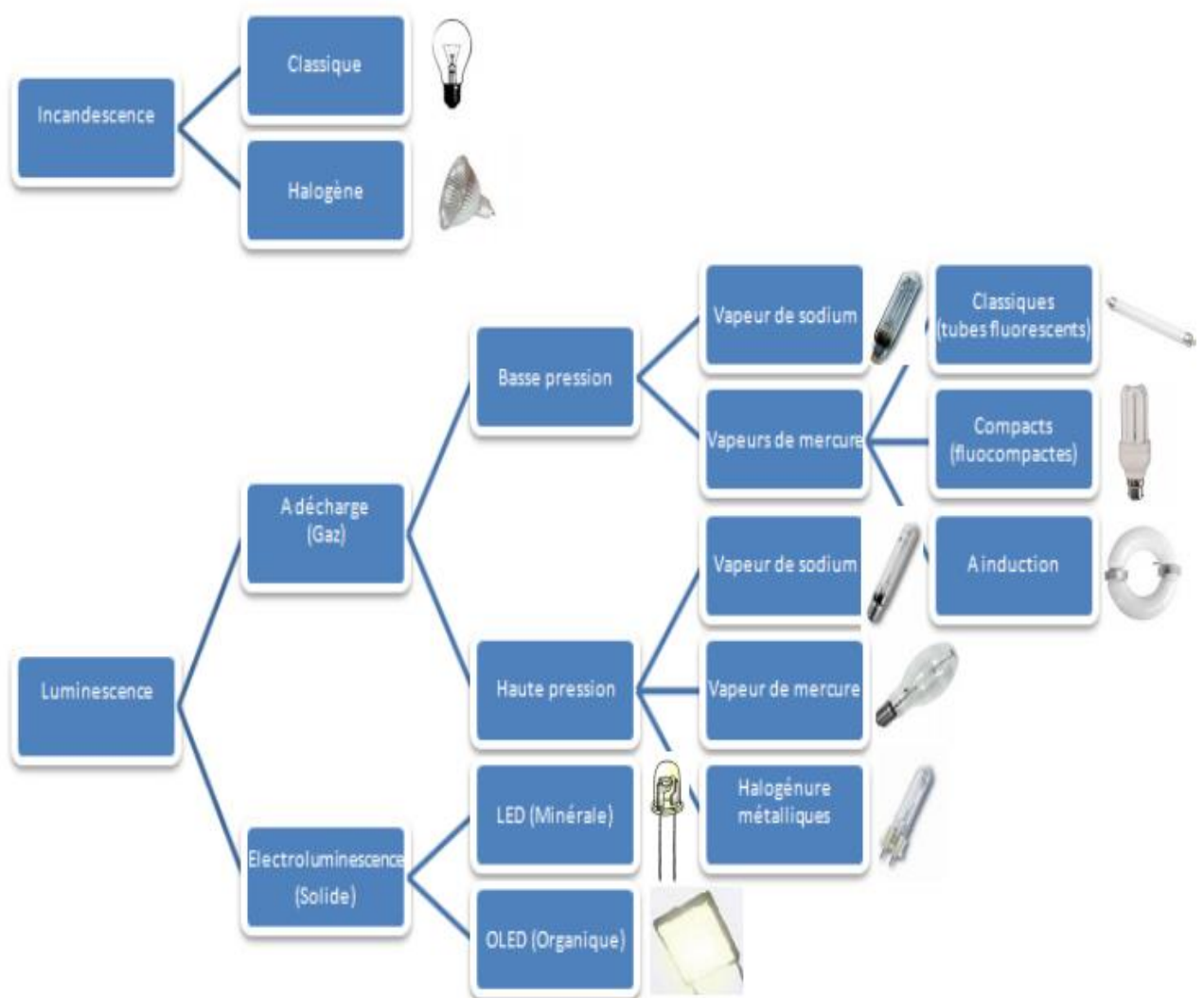


Figure III.25: Les différents types des lampes

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

Tableau III.2: les différents types des lampes

Les lampes	Définition	Avantage et inconvénients
Incandescence	Une lampe à incandescence produit de la lumière lorsqu'un courant électrique traverse un filament métallique et le chauffe à une température élevée (au-dessus de 5000 °C ou 9000 °F). [59]	<p>[62] - Prix d'achat peu élevé. - Mauvais rendement 92 à 95% de l'énergie électrique perdus en chaleur (seuls 5 à 8% de l'électricité consommée est transformé en lumière).</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'intensité lumineuse diminue avec le temps. - La durée de vie n'excède pas 1000 heures. - Le dégagement de chaleur est important.
Décharge électrique ou gazeuse	Lorsqu'un courant électrique traverse un gaz, les atomes et les molécules émettent un rayonnement dont le spectre est caractéristique des éléments présents. [59]	
Fluorescence	C'est la propriété de certains corps d'émettre de la lumière lorsqu'ils reçoivent un rayonnement. Le rayonnement est absorbé (en général par un solide) à une longueur d'onde donnée, puis réémis à une longueur d'onde différente. [59]	<p>Avantages : [62]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prix relativement peu élevé à l'achat. - Bon rendement énergétique, (30 % de l'énergie électrique sont convertis en lumière). - Leur durée de vie est 6 à 8 fois plus longue qu'une lampe classique, (6000 à 8000 heures). <p>Inconvénients : [62]</p>

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

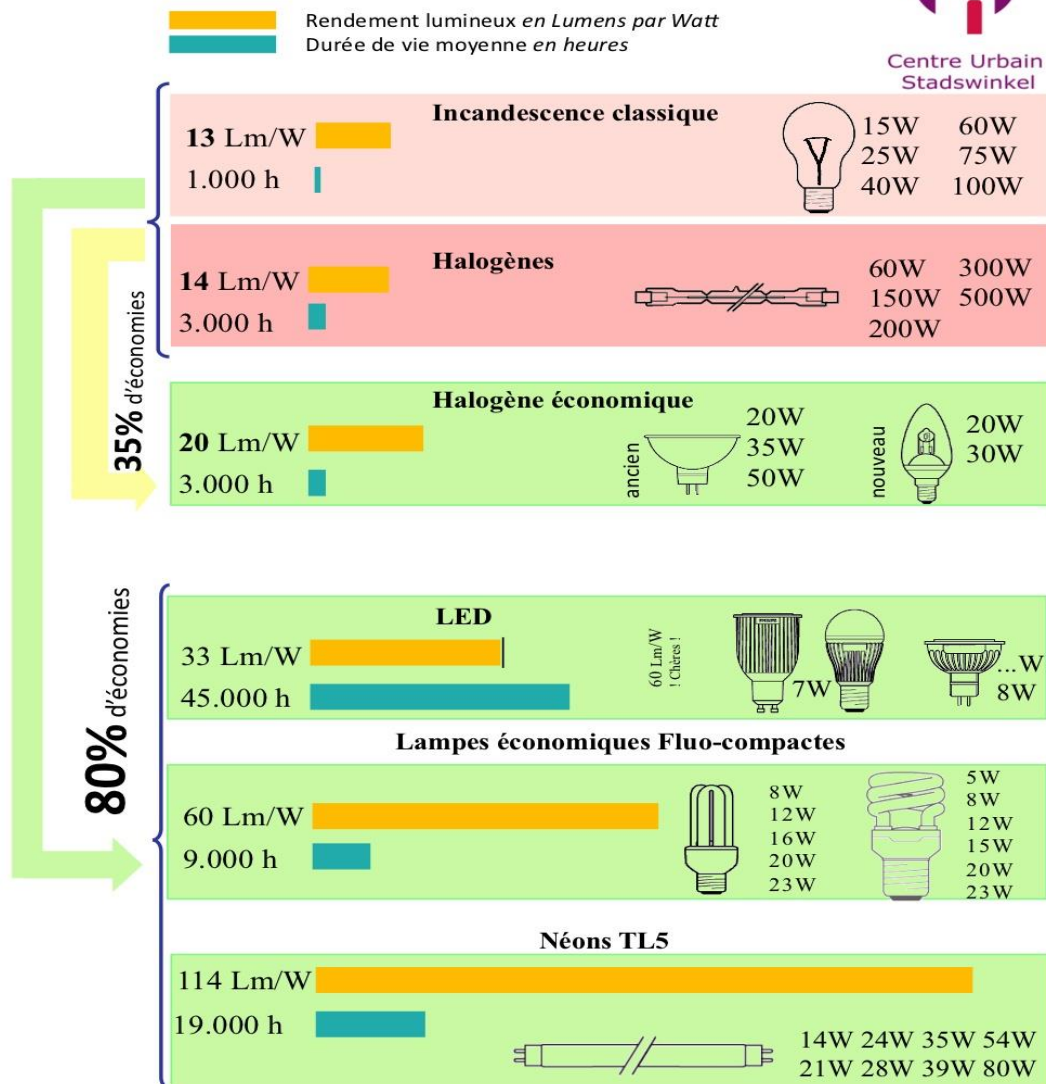
		- Dimensions peu pratiques. - Lumière relativement froide.
--	--	---



Comparaison des différents types de lampes



Centre Urbain
Stadswinkel



Source : Belux Philips

Réalisation : Serge Warny & Florent Gauthier

Centre Urbain
Curbain.be



Figure III.26: types de lampes

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

Les lampes les plus utiliser pour l'éclairage public sont les lampes à vapeur de mercure haute pression, les lampes à vapeur de sodium haute pression, les lampes à iodure métallique, ainsi de diodes de couleur blanche ou bleu à haut rendement lumineux ouvre de nouvelles perspectives aux lampes à LED [57].

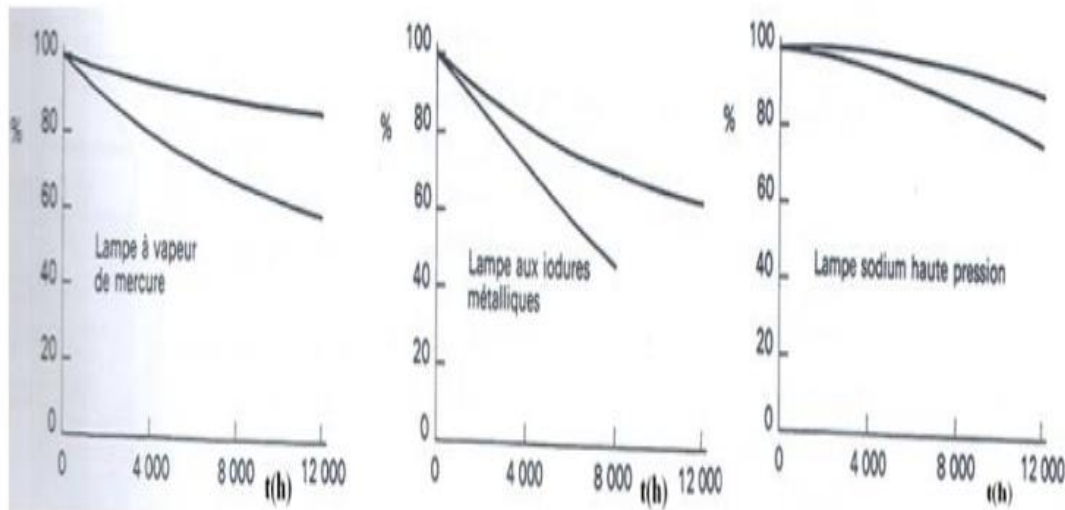


Figure III.27 : Variation relative du flux lumineux des lampes en fonction de la durée d'utilisation

III.6.4 Dimensionnement d'un éclairage:

a) Méthode du rapport R :

Cette méthode ne donne pas les valeurs ponctuelles d'éclairement de luminance. Elle est basée sur des règles empiriques d'implantation et sur le calcul du flux à installer. Dans cette méthode du point de vue de l'uniformité, il est recommandé de respecter certaines relations, établies empiriquement, entre ces différents paramètres de l'installation [58]:

L: largeur de la chaussée

H: hauteur de feu

E: espacement des foyers

Uniformité transversale de luminance :

- Implantation unilatérale, axiale et en quinconce : $h \geq l$ (III.20)
- Implantation bilatérale vis-à-vis : $h \geq \frac{l}{2}$ (III.21)
- Uniformité longitudinale de luminance

On prendra un rapport e/h au plus égal à 3, 5 pour des implantations unilatérale, axiale et bilatérale, et un rapport e/h au plus égal à 3, 2 pour des implantations en quinconce.

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

Les rapports e/h pour les deux cas d'implantation ci-dessus, seront au plus égaux à 3 et 2, 7.

b) Méthodes des luminances ponctuelles

Cette méthode est utilisée lorsque des conditions précises d'uniformité et de niveau d'éclairage sont exigées, le calcul point par point est nécessaire.

Même en s'appuyant sur des hypothèses simplificatrices, le calcul est compliqué et fastidieux et on ne peut guère l'envisager sans avoir recours à un ordinateur.

IL est indiqué afin de pouvoir mieux comprendre les résultats fournis par un ordinateur et les données nécessaires pour exécuter les calculs de luminance [58].

c) Méthode de dimensionnement à l'aide d'ordinateur

Ce dimensionnement est basé sur les logiciels informatiques de l'éclairage public tels que: Dialux, Trilux, Calclux etc.... Cette méthode est très simple et facile. Ainsi dans le cadre de ce présent mémoire nous optons pour cette dernière méthode [58].

III.6.5 Les étapes à suivre pour l'étude de l'éclairage:

1- Détermination du niveau d'éclairage nécessaire pour le local étudié suivant la nature de l'activité.

2- Calcul de l'indice du local K et du facteur de suspension J

Le calcul de K et J s'effectue en fonction des dimensions du local à éclairer:

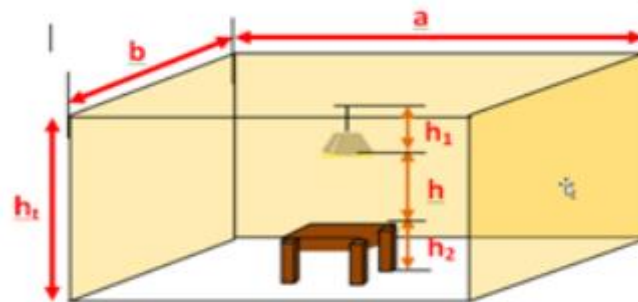


Figure III.28 : Dimensions d'un lieu

a: Longueur

b: Largeur

ht: Hauteur total

h2: Hauteur du plan utile

h1 : Hauteur de suspension de source lumineuse

h: Hauteur plan de travail /source lumineuse

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

Indice du local $K = \frac{a \times b}{h \times (a+b)}$ (III.22)

Indice de suspension J: $J = \frac{h'}{(h+h')}$ (III.23)

NB:

IL faut arrondir l'indice du local K aux nombres 0, 6 - 0, 8 - 1 - 1, 25 - 1, 5 - 2 - 2, 5 - 3 - 4 - 5

J est très souvent pris à 0 ou à 1/3 [64].

3-Détermination du facteur de réflexion F R:

On a caractérisé en pourcentage les facteurs de réflexion du plafond, des murs et du plan utile. Pour éviter une surcharge des tableaux, ces facteurs ne sont pas donnés en pourcentage, mais en fonction du chiffre des dizaines de ces valeurs Le tableau ci-dessous nous donnent le coefficient à appliquer [63]:

Tableau III.3: coefficient de réflexion

	Très claire	Clair	Moyen	Sombre	Nul
Plafond	8	5	5	3	0
Murs	7	5	3	1	0
Plan utile	3	3	1	1	0

4-Détermination du facteur de dépréciation d:

En cours d'utilisation, le flux émis par une lampe baisse; les causes sont diverses:

- Les lampes se couvrent de poussière; les parois du local sont moins réfléchissantes
- Les lampes ont tendance à s'user et le flux lumineux produit diminue
- Selon la maintenance, changement périodique des lampes [65].

Tableau III.4: facteur d'eclairage

Niveau d'empoussièrage	Facteur d'empoussièrage	Facteur Lampe	Facteur Maintenance	Compensateur de dépréciation
Faible	0.9	0.9	0.8	1.25
Moyen	0.8	0.9	0.7	1.40
Elevé	0.7	0.9	0.6	1.6

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

5- Le choix de luminaire (Classe photométrique)

Relevé du facteur d'utilance Ce tableau est issu de la norme NF C 71-120 et 7-121 et donne les valeurs du facteur d'utilance en fonction du facteur de suspension J, de l'indice du local K, de la classe photométrique et du facteur de réflexion. [65]

Tableau III.5: facteur utilance pour j=0

LUMINAIRE CLASSE « D »													D		
Table d'utilance pour j = 0															
facteur de réflexion	873	871	773	771	753	751	731	711	551	531	511	331	311	000	
K	0.60	66	61	65	60	52	50	43	38	49	42	38	42	38	36
	0.80	78	71	75	69	63	59	52	47	58	52	47	51	47	45
	1.00	86	77	83	76	71	66	60	55	65	59	54	58	54	52
	1.25	93	83	90	81	79	73	67	62	72	66	62	65	62	59
	1.50	98	86	95	85	85	78	72	67	76	71	67	70	66	64
	2.00	105	92	102	90	93	84	79	75	82	78	74	77	73	71
	2.50	110	95	106	93	98	88	84	80	86	82	79	81	78	76
	3.00	113	97	109	96	102	91	87	84	89	86	83	84	82	79
	4.00	117	100	113	98	108	95	92	89	93	90	88	89	86	84
5.00	120	101	116	100	111	97	95	92	95	93	91	91	89	87	

Tableau III.6: facteur utilance pour j=1/3

LUMINAIRE CLASSE « D »													D		
Table d'utilance pour j = 1/3															
facteur de réflexion	873	871	773	771	753	751	731	711	551	531	511	331	311	000	
K	0.60	62	58	61	57	49	48	42	37	47	42	37	41	37	36
	0.80	73	67	72	67	60	57	51	47	57	51	47	51	47	45
	1.00	81	74	79	73	68	65	59	54	64	58	54	58	54	52
	1.25	89	80	87	79	76	72	66	62	71	65	61	65	61	59
	1.50	94	84	92	83	81	76	70	66	75	70	66	69	66	64
	2.00	102	90	99	89	89	83	78	74	81	77	73	76	73	71
	2.50	107	94	104	92	95	87	83	79	85	82	78	81	78	76
	3.00	110	96	107	95	99	90	86	83	88	85	82	84	81	79
	4.00	115	99	111	98	105	94	91	88	92	90	87	88	86	84
5.00	118	101	114	100	109	96	94	91	95	92	90	91	89	87	

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

6- Calcul du flux total à fournir F [64]

Pour éclairer la totalité du plan utile d'une pièce rectangulaire (surface = a.b) au niveau d'éclairage E avec des lampes, il faut installer des lampes donnant au total un flux F (en lumens).

$$F = \frac{E' \times a \times b \times d}{(\eta_i \times u_i) + (\eta_s + u_s)} \quad (\text{III.23})$$

Calcul du nombre de luminaires:

$$N = \frac{F}{n'' \times \text{flux d'une lampe}} \quad (\text{III.24})$$

n'' : Nombre de sources lumineuses (tube ou lampe).

F : Flux lumineux total.

7-Valeurs des distances entre luminaires: [64]

C'est une source qui dépend de la classe des luminaires et de la hauteur utile.

La distance entre luminaire est donnée par la relation

$$dl' = \delta' \times h \quad (\text{III.25})$$

h : la hauteur entre le plan des luminaires et le plan utile luminaire (m).

δ' : coefficient de distance entre luminaires.

Tableau III.7: distance entre luminaire

Classe des Luminaires	Distance maximale entre deux luminaires
A	DM ≤ 1, 0.h
B	DM ≤ 1, 1.h
C	DM ≤ 1, 3.h
D	DM ≤ 1, 6.h
E	DM ≤ 1, 9.h
F	DM ≤ 2.h
G	DM ≤ 2, 0.h
H	DM ≤ 1, 9.h
I	DM ≤ 2, 0.h
J	DM ≤ 2, 3.h

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

III.6.6 Principe de conception d'un projet d'éclairage public

D'après la littérature [66] un projet de l'éclairage public doit être basé essentiellement sur huit (08) points clés:

1) Evaluation des besoins

2) Candélabre ou lampadaire

- Les candélabres doivent être assainis: adapter aux nouveaux besoins la hauteur du point lumineux et le bras (raccourcir, allonger, optimiser l'inclinaison du luminaire).

3) Luminaire

- Utiliser des réflecteurs à haut rendement et une source lumineuse horizontale.
- La lumière doit être diffusée sur la surface à éclairer; ne permettre qu'une faible diffusion au-dessus de l'horizon (pollution lumineuse).

4) Source lumineuse

- Utiliser des lampes au sodium haute pression ou d'autres lampes à fort rendement d'éclairage pour des raisons économique et de qualité de l'éclairage.

5) Appareil d'exploitation

- Les ballasts d'allumage électroniques sont plus efficaces.

6) Heures de fonctionnement

- La déconnexion ou la réduction de l'intensité d'éclairage permet des économies d'énergie considérables.
- IL s'agit généralement de diminuer la puissance aux heures de faible fréquentation.
- Prévoir une connexion et une déconnexion via un détecteur crépusculaire.

7) Consommation d'énergie

8) Energies renouvelables

- Couvrir le besoin en électricité pour l'éclairage public avec du courant issu de sources renouvelables (étudier plus profondément la faisabilité, le coût d'investissement et d'exploitation, et le temps de retour d'investissement).
- Les chemins non électrifiés peuvent être équipés de lampadaires solaires

III.6.7 Commande automatique d'éclairage publique

• Description

L'un des moyens les plus simples d'économiser l'énergie consiste à éteindre les appareils d'éclairage situés dans des zones non occupées, Cette tâche représente parfois une définition. La commande de l'éclairage publique peut s'effectuer de différentes façons, soit au moyen de

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

simples interrupteurs locaux, de détecteurs de mouvement de cellules photoélectriques, d'horloges programmables, ou encore à l'aide de systèmes de commande d'éclairage informatisés. [55]

• Types de commandes d'éclairage et applications

✚ Commandes par disjoncteur

Les lampes restent allumées 24 heures sur 24 ou sont commandées par des disjoncteurs. [60]

✚ Interrupteurs à tension de secteur

Offrent une commande manuelle locale. Application la plus courante, coût d'installation le plus bas. Chaque interrupteur commande un circuit d'éclairage. [60]

✚ Interrupteurs à basse tension

Initialement installés pour servir de commandes d'éclairage à tension plus haute, Notamment les éclairages; semblables aux interrupteurs de tension de secteur standard. Un interrupteur peut commander de nombreux circuits d'éclairage. [60]

✚ Systèmes de commande informatique ou à minuteur

Commandés par circuit, soit automatiquement par une horloge ou un logiciel PC.

ILS peuvent permettre une utilisation minimale s'ils sont programmés régulièrement.

Appropriés pour les locaux à bureaux où les heures d'occupation sont préétablies. [60]

✚ Détecteurs de commande d'éclairage à infrarouge

Permettent une commande automatique de l'éclairage. Détectent l'énergie, notamment les corps humains et les mouvements. Offrent une commande d'extinction ou d'allumage aux fins de contrôle plus précis. Appropriés pour les endroits tels que les bureaux fermés et les pièces fermées. [60]

✚ Détecteurs de commande à ultra sons

Utilisent les ondes sonores à ultrasons. Le mouvement change le retour de l'onde sonore, ce qui a pour effet d'allumer l'éclairage. Appropriés pour les bureaux à aire ouverte, les toilettes et les grandes pièces. [60] [61]

✚ Détecteurs de commande à double technologie

Combinent les technologies des détecteurs à infrarouge et à ultrasons. Ils sont en général utilisés dans les zones difficiles à commander avec tout autre équipement standard. Parmi les applications les mieux adaptées, citons les salles d'ordinateurs, les salles de conférence et les salles de classe. [60] [61]

III.6.8 L'éclairage par un système photovoltaïque:

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

L'énergie solaire en alimentation d'un éclairage peut apporter des solutions intéressantes en ce qui concerne l'éclairage urbain, notamment lorsqu'il n'existe pas de ligne électrique à proximité du candélabre.

Son installation doit être bien étudiée. Le panneau photovoltaïque devra être parfaitement bien orienté pour recevoir un maximum d'ensoleillement. La taille du panneau est calculée en fonction de l'ensoleillement et de l'usage du lampadaire (voie très passante, lieu calme...). Plus le panneau photovoltaïque est grand, plus le prix d'achat du matériel sera important.

Les forms de réverbères solaires

a) Forme classique avec bras lumineux

Le réverbère solaire est composé d'un mât surmonté de modules solaires. Ceux-ci, comme la tête de la lampe, sont fixés au mât par des bras, ce qui permet de varier l'orientation. Le régulateur est intégré au mât, les batteries sont placées dans un boîtier enterré [67].

Avantages

- Une portillon à près de 1, 5 mètre de hauteur facilite les travaux d'entretien [67].

Inconvénients

- Les modules solaires sont exposés aux tempêtes ou aux chutes de neige générant des pressions de vent et de neige. De plus, ils peuvent être recouverts de neige, et ne produiront donc que peu voire pas d'électricité. Ce réverbère ne peut être installé qu'avec une grue [67].



Figure III.29: Forme classique avec bras lumineux

b) Forme classique avec point lumineux intégré [67]

Ce réverbère solaire se compose d'un mât avec un point lumineux intégré. IL est surmonté d'un bras avec un module solaire. Le régulateur et les batteries sont intégrés au mât [67].

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

Avantages

- Installation possible sans grue

Inconvénients

- En hiver, si le module solaire est recouvert de neige, la production d'électricité est réduite. Comme il n'y a pas de portillon pour les travaux d'entretien, le module solaire doit être démonté pour l'accès au régulateur et aux batteries [67].



Figure III.30: Forme classique avec point lumineux intégré

c) Forme complètement intégrée [67]

Tous les composants du réverbère solaire (module, point lumineux, batteries et régulateur) sont intégrés au mât. La tête de la lampe peut être orientée précisément. Les panneaux photovoltaïques sont disposés autour de la partie supérieure du mât.

Avantages

- Une portillon permet un accès aisé à tous les composants pour les travaux d'entretien. La disposition verticale du module solaire ne l'expose quasiment pas aux pressions de vent et de neige. Comme les panneaux photovoltaïques peuvent exploiter le rayonnement solaire provenant des quatre points cardinaux, ils produisent annuellement davantage d'électricité.

Inconvénients

- Ce réverbère ne peut être installé qu'avec une grue.



Figure III.31: Forme complètement intégrée

d) Forme superposée avec bras lumineux : [67]

Ce réverbère solaire se compose d'un mât avec un bras lumineux et un boîtier de module solaire superposé comprenant les batteries et le régulateur.

Avantages:

- Le boîtier de module solaire est placé verticalement sur le mât et exposé à des pressions de vent et de neige minimales. Son orientation dans les quatre points cardinaux augmente le rendement électrique. Ce réverbère solaire peut être installé sans grue.

Inconvénients:

- Il n'y a pas de portillon.



Figure III.30: Forme superposée avec bras lumineux

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

e) Structure forme complètement intégrée

Détecteur de mouvement:

Certains fabricants proposent des détecteurs de mouvement en option, p. ex. des sondes passives à infrarouge (PIR). Ils n'enclenchent le réverbère qu'à l'approche de personnes. L'utilisation de détecteurs de mouvement ne devrait se faire qu'à des endroits peu fréquentés car les nombreux enclenchements/déclenchements du réverbère solaire peuvent l'endommager

Led:

C'est l'utilisation de LED qui a permis aux réverbères solaires de percer car ils produisent beaucoup de lumière en consommant peu d'électricité. La durée de vie des LED atteint 30 000 à 70 000 heures, selon les fabricants. Le flux lumineux (lumen) maximal se situe autour de 1200 à 5000 lumens, et dépend du fabricant et du type de réverbère.

Mât:

Le mât est en acier galvanisé, et laqué ou peint par poudre. Certains fabricants proposent également un acier inoxydable, en option.

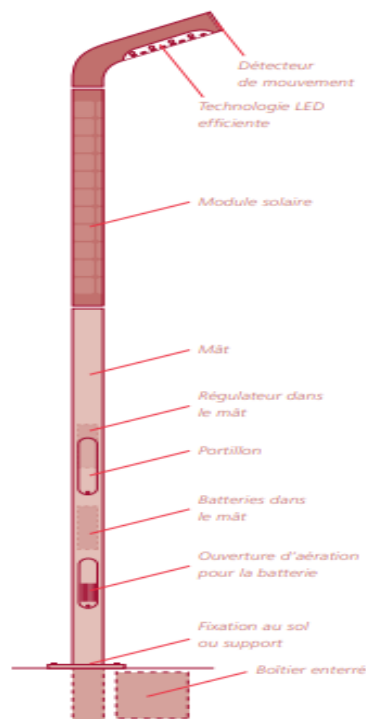


Figure III.31: Structure forme complètement intégrée

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

Régulateur: Le régulateur est la centrale de commutation du réverbère et accomplit les tâches suivantes:

- Surveillance de la charge/décharge des batteries afin qu'elles ne soient pas en sous ou en surcharge (protection de charge minimum).
- Enclenchement/déclenchement automatique des réverbères le matin et le soir.
- Enclenchement/déclenchement de la gradation nocturne.
- Certains régulateurs disposent d'un affichage permettant de visionner la capacité de la batterie et de sélectionner les différents profils lumineux (horaires de gradation, d'enclenchement/déclenchement).

Portillon: La portillon offre un accès aisé et sûr au régulateur et aux batteries. Elle se trouve généralement à une hauteur de 1 à 1,5 mètre du sol, et peut être ouverte par les personnes autorisées au moyen d'une clé spéciale.

Batteries: Les batteries (accumulateurs) sont rechargeables et stockent l'électricité produite durant la journée pour la restituer aux LED la nuit. La plupart des fabricants proposent des batteries en technologie gel, avantageuses et ne nécessitant pas d'entretien. Les capacités des batteries se situent autour de 25 à 70 Ah (ampèreheure) à 12 V, selon le type de réverbère et de fabricant.

Les lampadaires hybrides utilisant les énergies éolienne et solaire

Plus autonome qu'un luminaire LED alimenté uniquement par l'énergie solaire, ce type de matériel permet un éclairage plus intensif de l'espace public. Son utilisation, aujourd'hui plutôt expérimentale, tend à se développer. Ce type de matériel étant une solution marginale, son prix d'achat est élevé. [70]



Figure III.32: lampadaires hybrides utilisant les énergies éolienne et solaire

CHAPITRE III : APPROCHE THEORIQUE ET PRATIQUE DE DEFERENTES SOURCES ENERGITIQUES DANS NOTRE ETUDE

Conclusion:

Ce chapitre présent des techniques de dimensionnement des installations d'éclairage public et de pompage photovoltaïques d'autre part il présente des techniques pour des systèmes d'irrigation. Pour donner une approche théorique sur le chapitre qui suit.

CHAPITRE VI:

PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUES ET ESTIMATION DE CONSOMATION

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

VI.1 Introduction

Dans la partie précédente de ce travail, on a bien détaillé l'étude et le dimensionnement du système photovoltaïque. Il est alors intéressant d'appliquer les techniques étudiées sur un site réel pour valider la méthode choisie et d'en tirer des conclusions.

Pour cette étude pratique, on a choisi la wilaya d'Adrar. Adrar est une ville au sud-est Algérien. Elle est caractérisée par un climat saharien, une énergie d'ensoleillement de plus de 5 kWh/m² par jour et des ressources importantes d'eau souterraine.

Dans ce chapitre, on étudie le dimensionnement d'un système PV pour l'alimentation d'une ferme composée d'une maison et le hangar et un système de pompage dont le stockage de l'eau est réalisé par le biais d'un réservoir afin d'irriguer une surface d'un hectare de palmiers. Pour effectuer et présenter les calculs pour alimenter la maison, nous avons utilisé Microsoft Excel.

VI.2 Présentation du site du projet (ADRAR)

La wilaya d'Adrar est située au sud-ouest de l'Algérie à plus de 1500 km d'Alger.

Les coordonnées géographiques d'Adrar sont:



Figure VI.1: Site d'ADRAR

- Latitude: 27, 87° (27°52, 45 AND).
- Longitude: -0.29° (0°17, 63'W).
- L'altitude par rapport au niveau de la mer: 257 m.

La wilaya d'Adrar enregistre des écarts de températures considérables. Durant les mois de l'été (juin, juillet, août), les températures atteignent des seuils maximaux (plus de 50°C). Par contre, aux mois de décembre et janvier, les températures peuvent atteindre parfois les 0°C. De plus, la région d'Adrar est caractérisée par des vents de sable très fréquents durant toute l'année. Généralement, la saison du printemps (mars-avril), connaît une grande fréquence de vent de sable avec des vitesses moyennes supérieures à 6 m/s [78].

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

VI.3 Proposition plan de la ferme

On a une ferme dans la willaya d'ADRAR situé exactement à MRAGAN. Elle à une surface de 2 hectares et deux grandes entrées principales, à côté de premier port on trouve une

Petite maison entouré par des zones herbes. Ce maison contient deux chambre, salon, cuisine, salle de Paine, petit garage et WC. Dans la deuxième entrée on trouve à sa droite un petit chambre de gardien et à gauche une chambre contient un puits raccordé avec un réservoir de 80 m³ pour satisfaire les demandes de la ferme [irrigation – animaux – humains], et en face il Ya un grande hangar de la poule. Entre le hangar et la chambre du gardien on a une zone d'agriculture maraichère. Et le reste était consacré à la culture du palmier.

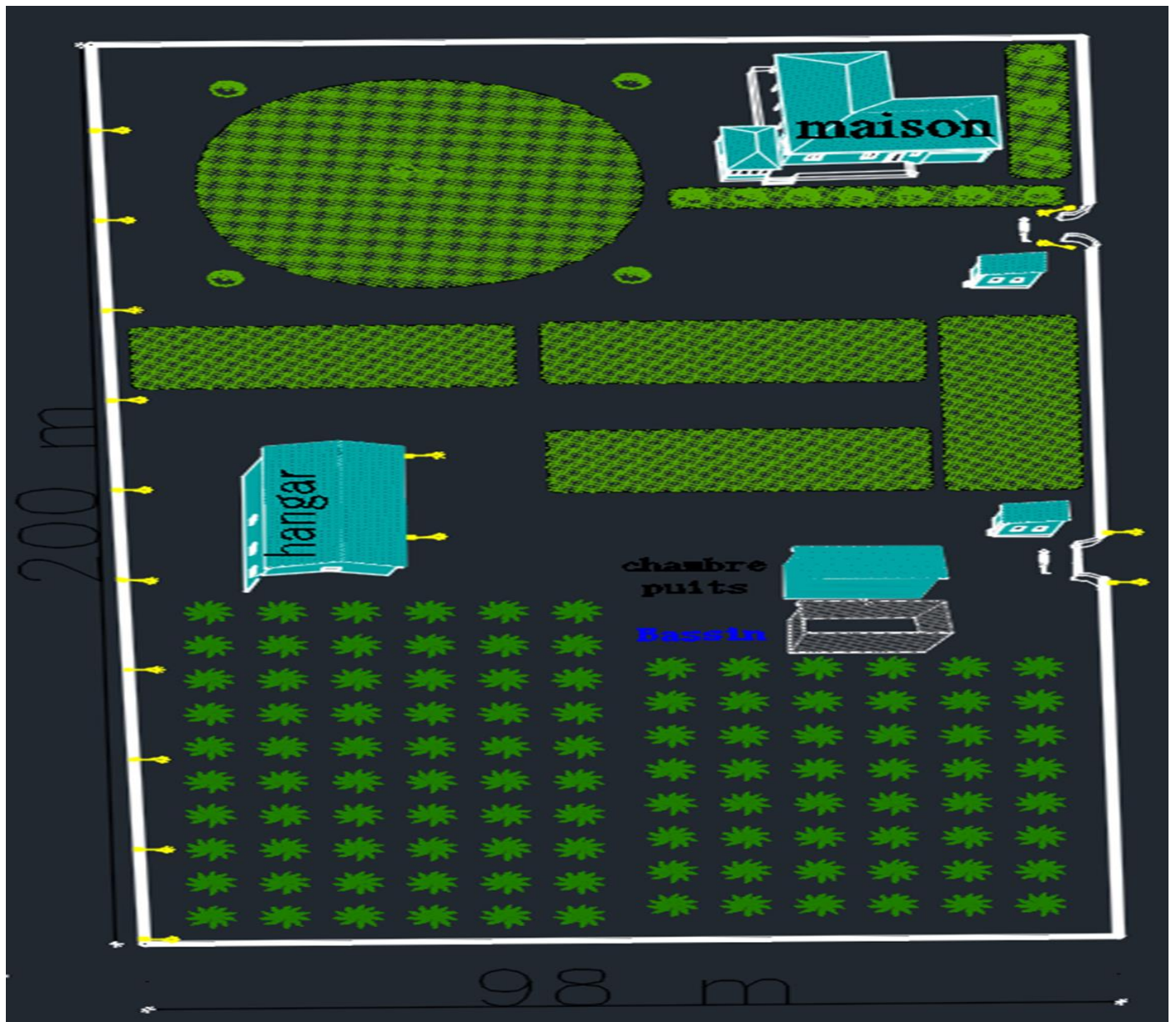


Figure VI.2: Plan de la ferme

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

VI.4 Système de pompage

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

- ✚ Evaluation des besoins en eau
- ✚ Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire
- ✚ Détermination de l'énergie solaire disponible
- ✚ Choix des composants.

VI.4.1 Estimations des besoins en eau

Pour une région tropicale, les besoins en eau peuvent être définis en utilisant les valeursDu tableau suivant [79]:

Tableau VI.1: Estimation des besoins en eau.

Humains
Par personne 5 à 10 litre/jour minimum
Condition de vie normale 30 litre/jour
Animaux
Moutons et chèvres 5 litre/jour
Cheval 40 litre/jour
Pouler 1 litre/jour
L'irrigation
Les palmiers 67 m ³ /hectare/jour
Agriculture maraichère 60m ³ /hectare/jour

Les besoins d'eau pour l'irrigation dépendent du type de culture, de la méthode D'irrigation et des facteurs météorologiques (la température, l'humidité, la vitesse du vent, l'évapotranspiration du sol, et la saison de l'année en question). Cependant, la pratique et l'expérience locale restent toujours très indispensables pour une évaluation correcte des besoins. Les besoins d'eau des palmiers pour la région d'ADRAR sont donnés dans le tableau suivant [80]:

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

Tableau VI.2: Les besoins journaliers moyens mensuels en eau des palmiers / hectare

Période	L'Evert			Le Printemps			L'été			L'automne		
Mois	Déc	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jun	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.
Volume d'eau (m ³ /j)	18	15	22	40	50	60	67	65	62	50	38	25

VI.4.2 Rayonnement solaire

Le tableau ci-après donne les valeurs de rayonnement global journalier calculées sur la moyenne mensuelle pour des rayons incidents sur un plan incliné d'un angle optimal saisonnier sur le site d'ADRAR.

Tableau VI.3: Les valeurs globales de l'irradiation journalière mensuelle pour une inclinaison optimale

Période	L'hiver			Le printemps			L'été			L'automne		
Mois	Déc	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Jun	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.
H _{ro} [Wh/m ² /j]	5187	6220	6380	5940	6625	6435	7040	7177	6815	5892	5900	5999

Vu l'emplacement spécifique de la vallée d'ADRAR par rapport au mouvement du soleil, l'orientation des modules PV est plein sud avec une inclinaison optimal par rapport au plan horizontal.

VI.4.3 Hauteur manométrique total

La hauteur totale du pompage est la somme de la hauteur statique et la hauteur dynamique

$H_s=5$ m hauteur statique est la distance entre le niveau statique de l'eau dans le puits jusqu'au point le plus élevé auquel l'eau doit être pompée. Et $H_d=35$ m somme des pertes linéaires et des pertes singulières.

Pour notre station de pompage, nous avons choisi une hauteur manométrique totale de 45m.

VI.5 Dimensionnement de la station de pompage

Le dimensionnement du système de pompage PV concerne: le calcul de la puissance crête du générateur photovoltaïque, le choix de la pompe et le choix de l'onduleur répondants au

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

service requis dans les conditions de référence. Ce dimensionnement prend en considération les deux conditions suivantes [81]:

- Choisir les besoins journaliers en eau durant la période de besoin maximal.
- Choisir le mois où l'ensoleillement maximal est le plus faible.

Pour notre exemple, le débit journalier maximal requis est de $76.8 (m^3/j)$ pendant le mois de juin et l'énergie d'ensoleillement la plus faible pour la saison d'été est égale à $6815 [Wh(m^3 /j)]$ pendant le mois d'août.

Pour dimensionner la station de pompage, nous suivons les étapes suivantes:

VI.5.1 Choix de la pompe

Nous choisissons la pompe en fonction du débit et de la hauteur manométrique totale [82].

- Débit horaire :

IL EST calculé par la formule suivante: $Q_h = \frac{Q \left[\frac{m^3}{\text{jour}} \right]}{h}$ (VI. 1)

Avec h: le nombre d'heures d'ensoleillement maximal.

Dans notre cas, nous prenons:

$$\begin{cases} h = 8 \text{ heures} \\ Q = 76.8 [m^3/j] \end{cases}$$

Par conséquent, le débit horaire est le suivant:

$$Q_h = 9.6 m^3/h \quad (\text{VI.2})$$

Pour notre étude, le choix de la motopompe utilisée est porté sur une gamme de pompes immergées proposées par le constructeur E.CO.ME.S SOLAIRE .Cette gamme est constituée de pompes de dimensions différentes[83] ; chaque type de pompe est disponible avec une puissance pompe et puissance de kit solaire. Les types des pompes sont donnés dans le tableau VI.4

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

Tableau VI.4: Caractéristiques électriques d'une gamme de pompes E.CO.ME.S SOLAIRE

Modelé	Puissance pompe	Puissance kit solaire	HMT(M)		Débit						Section sortie
					Min			Max			
			Min	Max	L/S	L/Mn	M3/H	L/S	L/Mn	M3/H	
PS840	1 HP	840 W	24	52	0.67	40	2.4	1.6	100	6	33mm
PS1600	1.5 HP	1600 W	23	54	0.67	40	2.4	2.87	160	9.6	60mm
PS3000	3 HP	3000 W	20	60	1.67	100	6	4.17	250	15	60mm
PS4400	5.5 HP	4400 W	23	72	2.5	150	9	6.25	375	22.5	60mm
			20	40	5	300	18	13.33	800	48	80mm
PS8800	10 HP	8800 W	42	135	2.5	150	9	6.25	375	22.5	60mm
			34	64	5	300	18	13.33	800	48	80mm

Selon nos besoins, d'une part, un débit horaire de $10(m^3/h)$ et une hauteur manométrique totale de 45 m, d'autre part, la motopompe adéquate sera alors la pompe PS1600. cette pompe alimenté par 8 panneaux solaire de type monocristal de tension 250v. La figure ci-après illustre ses caractéristiques techniques.

Dimensionnement de la pompe

Profondeur (m)

Besoins journalier (m³)

Débit Horaire (m³/h)

Données de la pompe

Manufacturier

Type

puissance (HP)



Figure VI.3: Caractéristiques électriques de la pompe PS1600

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

VI.5.2 Le convertisseur DC/AC (onduleur)

IL a pour rôle, la conversion du courant continu produit par les panneaux en courant alternatif identique à celui du réseau. IL est donc indispensable pour l'alimentation des charges à courant alternatif. Le choix de l'onduleur dépend des caractéristiques électriques de la pompe alimentée (puissance, tension). Pour le besoins de notre étude, le convertisseur choisit est présenté dans le tableau suivant [84]:

Tableau VI.5: Caractéristiques électriques de l'onduleur.

Type D'onduleur	Puissance MAX (watts)	Tension d'entrée (V)	Tension de sortie (V)	Fréquence (Hertz)
Solar drive 4000	4000	240	3*220	0.65

VI.6. Les fiches des calculs

Nous utilisons le logiciel Excel de Microsoft office pour simuler les études suivantes.

VI.6.1 Fiche de calcul N01: Besoin énergétique journalier (figure1)

L'objectif est de déterminer la quantité d'énergie que le panneau doit fournir quotidiennement pour alimenter toutes les charges de l'installation, et pour cela on doit suivre les étapes suivantes :

Première étape: En calculer le besoin énergétique journalier des charges.

(Tous les appareils qui sont utilisés ce sont des appareils à courant alternatif).

Deuxième étape: Estimation des pertes d'énergie. On calcule les pertes dues aux câbles, modules, batteries, régulateurs de charge et onduleurs.

Troisième étape: En totaliser les besoins et les pertes **cc** et **ca**.

Quatrième étape: On indique la tension de l'installation égale à 24volts.

Cinquième étape: calculer la capacité de charge journalière requise.

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

Fiche de calcul 1 : Besoin énergétique journalier					
Objet : déterminer la quantité d'énergie que le panneau doit fournir quotidiennement pour alimenter toutes les charges de l'installation					
1. Calcul du besoin énergétique journalier des charges					
Colonne A Lampe ou appareil	Colonne B Tension	Colonne C Puissance	Colonne D Usage journalier	Colonne E Consommation journalière d'énergie (cc)	Colonne F Consommation journalière d'énergie (ca)
Liste ci-dessous	volts	watts	heures	watts-heures	watts-heures
Appareils cc				0	
				0	
				0	
				0	
				0	
				0	
				0	
				0	
				0	
				0	
Appareils ca					0
Recharge de téléphone portable	240	40	8		320
Réfrigérateur	240	60	6		360
Ordinateur portable	240	30	5		150
Téléviseur	240	120	2		240
Lampes des chambres (9*10W)	240	90	4		360
Lumières de garde (4*8W)	240	32	2		64
machine à lavé	240	440	1		440
climatiseur	240	1000	1		1000
					0
Case G : Besoin énergétique journalier total cc				0	Wh
Case H : Besoin énergétique journalier total ca					2934
2. Estimation des pertes d'énergie					
Calculer les pertes dues aux câbles, modules, batteries, régulateurs de charge et onduleurs.				Case I : pertes CC	0
Ajouter au besoin total				Case J : pertes AC	1026,9
				3. Totaliser le besoin et les pertes c.a. et c.c.	
				Case K: Besoin énergétique journalier total	3960,9
Pour cc, multiplier Case G par	0,20				
Pour ca, multiplier Case H par	0,35				
4. Indiquer la tension de l'installation					
Case L: Tension de l'installation	24	volts			
				5. Calculer la capacité de charge journalière requise	
				Diviser a Case K par la Case L	
				Case M	165,0375

Figure VI.4 : Besoin énergétique journalier.

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

IV.6.2 Fiche de calcul N02: Dimensionnement est choix des modules (figure2)

L'objectif de cette section est de calculer la taille du panneau. et pour cela Nous suivons les étapes suivants:

Première étape: indice d'insolation du site. On a choisi les données météorologiques disponibles de la wilaya Adrar.

Deuxième étape: choix de la valeur d'insolation du mois de référence (moyenne journalière).

Troisième étape: calcul de l'intensité nominale du courant de charge.

Quatrième étape: Choisir le nombre des modules nécessaires pour fournir le courant de charge (documentation des produits: courbes I/U et rendement en fonction de la température).

Cinquième étape: Dessiner la configuration du panneau solaire.

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

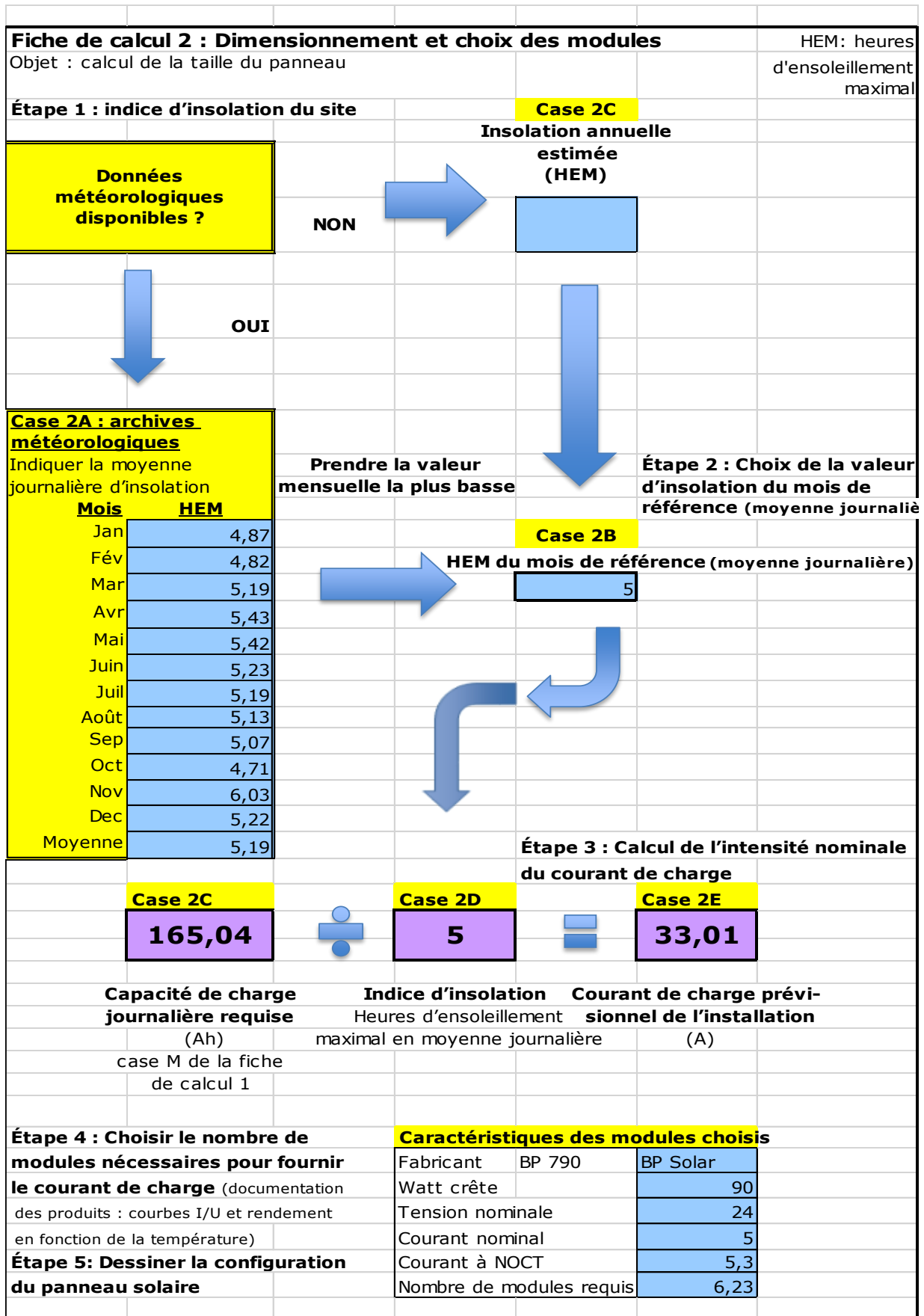


Figure VI.5: dimensionnement et choix des modules.

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

VI.6.3 Fiche de calcul N03: Dimensionnement ET choix de la batterie (figure3)

Le but de cette étape est choisir la batterie et le régulateur de charge. Et pour atteindre cet objectif nous devons suivre les étapes suivantes:

Première étape: Quel type de batterie? On doit trouver des informations sur les types des batteries disponibles.

Deuxième étape: calculer la capacité requise pour la batterie (Ah).

Troisième étape: Déterminer la configuration de la batterie en indique la tension et les connexions.

Quatrième étape: on pose une question: Faut-il un réglage spécial du régulateur de charge?

Cinquième étape: Déterminer la durée de vie et les contraintes d'entretien de la batterie.

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

Fiche de calcul 3 : Dimensionnement et choix de la batterie						
Objet : choix de la batterie et du régulateur de charge						
Étape 1 : Quel type de batterie ?						
Rechercher des informations sur les types de batteries disponibles (tableau 4.3)						
Type de batterie	Tension	Capacité	Charge et décharge	% décharge max recommandée	Cycle durabilité	Durée de vie à 25 % DoD
Nicel cadmiun batterie	1,2v	600mah	70-90%		2000 cycle	24- 30 moins
Nickel-métal hybride batterie	1,2v	2100mah	66-92%	50%	180-2000cycle	8 années
Lithium-ion batterie	3,7v	3500mah	80-90%		400-1200 cycle	5 années
Étape 2 : Calculer la capacité requise pour la batterie (Ah)						
Case 3A		Case 3B		Case 3C		Case 3D
165,038	×	2	÷	0,5	=	660,15
Capacité de charge journalière requise ampères-heures		Jours de réserve Minimum 1 Maximum 4		% décharge max (notation décimale) (ex. 30 % donne 0,30)		Capacité de batterie ampères-heures
(case M de la Fiche de calcul 1)						
Étape 3 : Déterminer la configuration de la batterie			Représenter la configuration/tension de la batterie			
➔			Branchement en parallél les intensités s'additionnent 3.7v 7000mAh			
Étape 4 : Faut-il un réglage spécial du régulateur de charge ?						
			Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>			
Étape 5 : Déterminer la durée de vie et les contraintes d'entretien de la batterie						
Entretien		Fréquence		Caractéristiques de la batterie choisie		
Niveaux	Oui	Mensuel		Fabricant	Trojan	
Nettoyage (corrosion)	Oui	Mensuel		Modèle	L16RE-2V	
Égalisation	Oui	Trimestriel		Type	Flooded	
État de charge	Oui	Hebdomadaire		Capacité à C20 Ah	1200 Ah	
				Tension de chaque batterie	2V	
				Tension de l'ensemble	12V	
				Quantité en série	6	
				Quantité en parallèle	1	
				Total des batteries	6	
				Capacité totale	1200	
				Durée de vie nominale à 25 % DoD		
Durée de vie attendue	400-1200	Cycles				
	5 heure	(jours)				

Figure VI.6: Dimensionnement et choix de la batterie.

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

VI.6.4 Fiche de calcul 04: Dimensionnement et choix du régulateur de charge/de l'onduleur (figure4)

Le but de cette étape est de dimensionner et de sélectionner le régulateur de charge et l'onduleur. Les étapes sont les suivantes:

Première étape: Dimensionnement du régulateur de charge.

Deuxième étape: Sélection des fonctions souhaitées.

Nous chercherons des informations sur les régulateurs disponibles.

Troisième étape: Réglages d'onduleur et chargeur.

Quatrième étape: Choix des fonctions d'onduleur.

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

Fiche de calcul 4 : Dimensionnement et choix du régulateur de charge/de l'onduleur			
Objet : dimensionnement et choix du régulateur de charge et de l'onduleur			
Régulateur de charge			
Étape 1 : Dimensionnement du régulateur de charge			
Courant max du panneau		Courant d'alimentation des charges CC	
Case 4A		Case 4B	
63,60	x 1.25 =	79,5	
		0,0	x 1.25 =
		0,0	
Courant de court-circuit maximum du panneau	Courant d'entrée nominal panneau	Charges CC maximales	Courant de sortie nominal
Ampères	Ampères		Ampères
Étape 2 : Sélection des fonctions souhaitées			
Rechercher des informations sur les régulateurs de charge disponibles (tableau 5,1)			
Spécifications du régulateur	Valeurs nominales	Protection	Oui/Non
Tension nominale	V	voir case L	Protection court-circuit (panneau)
Isc max en entrée du panneau	A	voir case 4B	Protection court-circuit (charge)
Courant de sortie max	A	voir case 4D	Polarité inverse (panneau)
Auto-consommation	mA		Polarité inverse (charge & batterie)
Fonction	Oui/Non		Protection contre la foudre
Déco. à haute tension			Circuit ouvert de batterie
Déco. à basse tension			Réglage de charge de batterie scellée
Compensation en temp.			
Minuterie des charges			
Indicateurs et affichages	Oui/Non	Méthode de charge	Oui/Non
Indicateur de charge solaire		Modulation en largeur d'impulsion	
Indicateur d'état de charge		Égalisation	
Affichage cristaux liquides		Recherche point de puissance max	
Ampèreheuremètre		Autre	
Dimensionnement/choix d'onduleur			
		Oui/Non	
Étape 1 : Onduleur nécessaire ?		Oui	Seulement si appareils 230/110 Vca
Étape 2 : Onduleur/Chargeur ?		Oui	Seulement si source disponible
Étape 3 : Réglages Onduleur & Chargeur		Étape 4 : Choix des fonctions d'onduleur	
Case 4E	Case 4F	Caractéristiques souhaitées	
1812	2265	Puissance en continu (W)	
Charge max AC	Puissance nom. onduleur	Puissance en crête (W)	
Watts	Watts	Tension entrée cc	
		Tension sortie ca	
Courant de charge nom.	Case 4G	Forme d'onde	
Pour charge de la batterie (A)		Efficacité énergétique	
Accepte alimentation par :	Groupe élec./vent/sol.	Auto-consommation (A)	
	Choisir solution appropriée	Déco. par basse tension (V)	

Figure VI.7: Dimensionnement et choix du régulateur de charge /de onduleur

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

VI.6.5 Fiche de calcul 05: Câblage, chute de potentiel et fusibles (figure 5)

L'objectif est de déterminer la taille et le choix des équipements électriques. Est pour cela on va voir les étapes suivantes:

Première étape: Plan du site et estimation des parcours de câbles.

Nous dessinons un plan à l'échelle et estimons les parcours des câbles incluant le câble du module au régulateur, du régulateur à la batterie, et les circuits. Et nous notons les emplacements de chaque lampe, prise, interrupteur, boîte de jonction, et fusible. Et aussi la tension des principaux circuits.

Deuxième étape: Calcul de la section de câble permettant d'éviter les chutes de potentiel.

Troisième étape: Calibrage des fusibles et coupe-circuit.

Quatrième étape: Liste de tous les appareillages électriques nécessaires.

Remarque

Dans l'étape deux on remarque que le chute du potentiel est égale à 0%. Ce résultat est dû au manque des appareils utilisés dans chaque circuit.

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

Colonne A							Colonne B							Colonne C							Colonne D							Colonne E							Colonne F							Colonne G						
Parcours de câble (lister les circuits)							Longueur de câble (m)							Courant maximal (A)							Résistivité du câble (ohms/m)							Résistance totale (ohms)							Chute de potentiel (V)							Chute de potentiel %						
circuit cuisine							6							0,14							0,000000017							1,02E-07							1,428E-08							0%						
circuit chambre 1							4,5							0,11							0,000000017							7,65E-08							8,415E-09							0%						
circuit salon							10							1,18							0,000000017							0,000000017							2,006E-07							0%						
circuit S.B							4							0,93							0,000000017							6,8E-08							6,324E-08							0%						
circuit WC							2,5							0,04							0,000000017							4,25E-08							1,7E-09							0%						
circuit garage							3,6							0,04							0,000000017							6,12E-08							2,448E-09							0%						
circuit chambre 2							6							0,11							0,000000017							1,02E-07							1,122E-08							0%						
																												0							0							0%						
																												0							0							0%						
Vérifier qu'aucune chute de potentiel ne dépasse 2 %																																																
Étape 3 : Calibrage des fusibles et coupe-circuit																					Étape 4 : Liste de tous les appareillages électriques nécessaires																											
<ul style="list-style-type: none"> Liste des circuits à protéger (colonne A) Puissance maximum (W) prélevée par chaque circuit (Colonne B) Calculer le courant maximal de chaque circuit (A) (Colonne C) Ajouter 20% (Colonne D) Le résultat indique l'ampérage du fusible																					<ul style="list-style-type: none"> Câbles (toutes sections, tous types) Conduit de câble Interrupteurs Prises Fusibles Boîtes de jonction Barrettes de raccordement Protection contre la foudre Mise à la terre Boulons, vis, écrous, etc. 																											
Colonne A							Colonne B							Colonne C							Colonne D							Colonne E							Colonne F							Colonne G						
Parcours de câble (lister les circuits)							Puissance nom. max (W)							Courant max (A)							Ampérage du fusible (A)																											
circuit cuisine							70							0,14							0,168																											
circuit chambre 1							50							0,11							0,132																											
circuit chambre 2							40							0,11							0,132																											
circuit salon							1140							1,18							1,416																											
circuit garage							10							0,04							0,048																											
circuit wc							10							0,04							0,048																											
circuit S.B							450							0,93							1,116																											
La liste ci-dessus constitue une liste de contrôle de la disponibilité effective de tous les appareillages avant le départ pour le site																																																

Figure VI.8: Câblage, chute de potentiel et fusible

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

Le problème du manque d'éclairage public et de la faiblesse du réseau électrique dans certaines exploitations est devenu une préoccupation pour certains agriculteurs, de sorte que certains ont recours à l'éclairage photovoltaïque pour l'éviter.

VI.7 Eclairage public

Pour le coté de l'éclairage public on a choisis les lampes EPS-ECO40 qui on présenter dans la figure 123 DE L'ENTREPRISE" E.CO.ME.S SOLAIRE ". cette Enterprise utilise des panneaux photovoltaïque à haute efficacité monocristalline silicone avec boîte de jonction contenant des diodes pour la protection du panneau, avec connecteur DMX IP68 et des lampes à LED: La meilleure et la plus puissante des lampes à LED "SAMSUNG3030 LED chips 50Pcs 150 lumens/watt, étanchéité IP68; une durée de vie de plus de 50000 heures avec un connecteur DMX IP68 assurant une protection maximale et une facilité de fixation et de démontage pour la maintenance. Les batteries Life Po4 a une durée de vie plus de 8 ans avec connecteur DMX IP68 pour remplacement facile.



Figure VI.9: éclairage public EPS-ECO40

Tableau VI.6: caractéristique de éclairage public EPS-ECO40

MODELE	EPS-ECO40
MODULE SOLAIRE MONO-CRY(W/V/DUREE DE VIE)	25/18/55 ans
BATTERIE LiFe Po4	269wh
DUREE DE VIE LED	50000 heures
TEMP DE CHARGE(HEUR)	67-HEURS
DUREE D'ECLAIRAGE (NUITS)	4 NUITS
HAUTEUR D'INSTALLATION (M)	5—6 M
DISTANCE ENTRE DEUX POLES (M)	20 M
MODE DE FONCTION	"PIR" DETECTEUR MOUVEMENT ET CONTROLEUR LUMIERE
CERTIFICATES	CE-ROHS-TUV-IP65-
GARANTIE	3 ANS

CHAPITRE VI : PROPOSITION D'UNE FERME TYPIQUE ET ESTIMATION DE CONSOMMATION

Conclusion

D'après notre étude pratique on a proposé un plan d'une ferme constituée d'une maison alimentée par un système PV qui ces calculs présentés par Microsoft Excel. Et Pour l'éclairage public on a choisit des lampes EPS-ECO40 qui sont disponibles dans notre Wilaya. Sans oublier la pompe PS1600 qui correspond au débit horaire $10\text{m}^3/\text{h}$ et la hauteur 45m. Cette pompe alimentée par 8 panneaux solaires de type monocristal de tension 250v.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire, concerne les systèmes de génération d'énergie électrique pour un fonctionnement autonome, Utilisant les énergies renouvelable, capable de subvenir aux besoins d'alimentation d'une ferme. Ces dispositifs semblent être amenés à connaître des développements importants liés essentiellement à une volonté de plus en plus affichée de diversification des moyens de production, d'un meilleur respect de l'environnement.

D'une manière générale le travail présenté dans ce mémoire nous a permis de montrer l'intérêt que suscitent les énergies renouvelables dans notre pays l'Algérie.

Dans la partie théorique on a étudié les différents types des énergies renouvelables qui existent et sont intéressés dans notre vie. Ainsi on a étalé la définition et les différentes structures des systèmes hybrides, où on a constaté que l'avantage principal de l'utilisation des sources renouvelables et comment l'exploiter dans un système hybride. Puis dans le chapitre on a présenté une description générale sur l'éclairage public et ses moyens (lampe, lampadaire) et quelques moyens utilisés dans l'éclairage photovoltaïque (les cellules solaires, les batteries solaires et le régulateur) et système de pompage avec la méthode de dimensionnement.

D'autre part, dans la partie pratique on a proposé un plan d'une ferme constituée d'une maison alimentée par un système PV qui a été calculé et présenté par Microsoft Excel, hangar et des plantes (palmier, agriculture maraîchère). Pour le côté d'éclairage public on a choisi des lampes EPS-ECO40 qui sont disponibles dans notre wilaya de l'entreprise E.CO.ME.S SOLAIRE. Pour satisfaire les besoins d'eau de la ferme on a utilisé une pompe PS1600 de 1.5 HP pour remplir un bassin de 100m³.

Comme tenu de la crise mondiale de corona virus et le confinement, on n'a pas fini notre travail comme l'utilisation de logiciel spécifique tel que pv système et des programmes de commande pour système de pompage ... etc.

Néanmoins, tous ces résultats n'excluent pas des améliorations qui peuvent être apportées dans le futur de notre travail.

Alors, c'est le temps pour encourager l'investissement et la technologie en accord avec tous ce à une relation avec ce domaine à partir du développement des modules photovoltaïques de fabrication nationale à la formation des professionnels et spécialistes dans ce filière.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1]: Boulahbal Amina, «Etude et simulation du fonctionnement du système suiveur des panneaux solaires», Mémoire de Master, Université de Badji Mokhtar Annaba, Juin 2017.
- [2]: Soltane Belakehal, «Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables », Thèse Doctorat de l'université de Constantine, 2010.
- [3]: B. Robyns, P. Bastard, "Production décentralisée d'électricité: contexte et enjeux techniques", La revue 3EI n°39, Décembre 2004.
- [4]: Jean-Claude Sabonnadière, « Nouvelles technologies de l'énergie 1 », Lavoisier, Paris, 2006
- [5]: Benard Multon, «Energies marines renouvelables », Lavoisier, Paris, 2011
- [6]: www.ets-net.org
- [7]: Nawel Hamdi « Modélisation et commande des génératrices éoliennes. Mémoire de magister », université de Constantine, 2008.
- [8]: Ait Abdelmalek Massinissa et Tatcha Kamel « Application de la commande vectorielle sur un système d'énergie éolien relié au réseau », Mémoire de fin d'étude, université A. Mira de Bejaia, 2009.
- [9]: Brice Beltran « contribution à la commande robuste des éoliennes à base de génératrice asynchrone double alimentation: on mode glissant classique au mode glissant d'ordre supérieur », thèse de doctorat, université de Brigue accidentelle, 2010
- [10]: Madi Yazid « étude des onduleurs multiniveaux dans les chaînes des productions d'énergie éolienne », Mémoire de Magister, Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2009
- [11]: Site Internet de l'association danoise de l'industrie éolienne « <http://www.windpower.org/fr/core.htm> ».
- [12]: Kati Amine ET Idiri Yacine, Mémoire de fin d'étude « réalisation et caractérisation d'une petite éolienne à axe horizontal », université de Bejaïa, Promotion 2019.
- [13]: Mr Sadkine Smail, Rachedi Aghiles; « Etude d'un système éolien connecté au réseau, basé sur une GAS auto-excitée »; Mémoire de fin cycle en électromécanique; Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2017.
- [14]: O. DE VRIES "On the theory of the horizontal axis wind turbine", Ann. Rev. Fluid. Mech. 1983, 15, pp. 77-96.

BIBLIOGRAPHIE

- [15]: D. DJEMAA « Etude de l'écoulement autour d'une éolienne de type Savonius. Simulation des performances de l'éolienne » Thèse Magister Université El-hadj lakhdhar -Batna, 2010
- [16]: A. MIRECKI « Etude comparative de chaînes de conversion d'énergie Dédiées à une éolienne de petite puissance », thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse, France, 2005.
- [17]: L. LECLERCQ « Apport du stockage inertiel associé à des éoliennes dans un Réseau électrique en vue d'assurer des services systèmes », thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, Lille, France, 2004.
- [18]: F. POITIERS « Etude et commande de génératrices asynchrones pour L'utilisation de l'énergie éolienne: Machine asynchrone à cage autonome, Machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau », Thèse de Doctorat, Université de Nantes, Nantes, France, 2003.
- [19]: Mr Khaled Ferkous; « Etude d'une chaîne de conversion d'énergie éolienne », thèse de Magister en physique, Energies renouvelables, Université Mentouri Constantine, Algérie, 2009.
- [20]: Khaled Ferkous « Etude d'une chaîne de conversion d'énergie éolienne. Mémoire de magister », université Mentouri, Constantine, 2009.
- [21]: A. Labouret, M. Viloz « installations photovoltaïques », éditions le moniteur, Dunod, Paris, 2012.
- [22]: Helali Kamelia, « Modélisation d'une cellule photovoltaïque étude comparative », Mémoire de magister en électrotechnique, Université Mouloud Mammeri de Tizi ouzo, le 25 juin 2012.
- [23]: Syndicat des énergies renouvelables, « le solaire thermique dans le monde », 2011.
- [24]: H. Lekbour, S. Yargui, Mémoire de fin de cycle « Application de l'énergie solaire pour l'habitat », promotion 2015.
- [25]: Roumila Zoubir « Commande d'un système d'énergie hybride (Photovoltaïque - éolien- diesel) » Mémoire de Magister, Université de Bejaïa.
- [26]: <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/biomasse>)
- [27]: Thibaud Sauvageon. Projet de fin d'étude (ENSTIB3) « Optimisation d'une hydrolyse enzymatique dans le processus de transformation de matériel nocelluloque en bioéthanol », université de Lorraine 2012.

BIBLIOGRAPHIE

- [28]: BENCHERIF MOHAMMED « Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension » thèse de doctorat, UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID TLEMCEN.
- [29]: Hacini Ismail « Etude et gestion d'un système d'énergie hybride », Mémoire de Magister, Université Béjaia.
- [30]: baghdadi fazia « modelisation et simulation des performances d'une installation hybride de conversion d'énergies renouvelables », mémoire de magister, universite mouloud mammeri de tizi-ouzou.
- [31] : M. ASHARI, C. V. NAYAR « An optimum dispatch strategy using set points for a photovoltaic (PV)-diesel-battery hybrid power system » Renewable energy, Vol.66, No.1, PP.1-9, Elsevier Science 1999.
- [32]: E. Ian Barning, L. Flowers, P. Lundsager, « Worldwide status of wind-diesel applications », Pre-world shop wind-diesel, Anchoray, Alaska 2004
- [33]: D. Abbes, « Contribution au dimensionnement et à l'optimisation des systèmes hybrides éolien-photovoltaïque avec batterie pour l'habitat résidentiel autonome, thèse de doctorat, université Poitier, 2012.
- [34]: I. Vechwi, « Modélisation ET analyse de l'intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome », thèse de doctorat, université du havre 44, 2005.
- [35]: E. IAN BARING-GOUL, L. FLOWERS, P. LUNDSAGER « » « World wide status of wind-diesel application » Pre-work shop Wind-diesel, Anchoray, Alaska, 2004.
- [36]: F. Poitiers « Etude et commande de génératrices asynchrone pour l'utilisation de l'énergie éolienne » Thèse de doctorat, à l'école polytechnique, Nantes, 2003
- [37]: Moussa Siddou Abdoulaziz « Etude du générateur asynchrone pour l'utilisation dans la production de l'énergie éolienne ». Projet de fin d'étude, à l'école nationale de polytechnique, 2007
- [38]: BRIHMAT Fouzia « L'Etude conceptuelle d'un système de conditionnement de puissance pour une centrale hybride PV/Eolien », Mémoire de Magister, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU.
- [39]: Adam Mirecki: « Etude comparative de chaînes de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance ». Thèse de doctorat, à l'institut national de polytechnique, Toulouse, 2005

BIBLIOGRAPHIE

- [40]: Gabriel O.Cimuca: « système inertie de stockage d'énergie associée à des générateurs éoliens ». Thèse de doctorat, à Ecole nationale d'arts et Métiers, Centre de Lille France, 2005
- [41]: Armande Boyette: « contrôle-commande d'un générateur asynchrone à double alimentation avec système de stockage pour la production éolienne », Thèse de doctorat, université Henri Poincaré, Nancy I, 2006.
- [42]: B. Multon, « Etat de l'art des aérogénérateurs électriques », Rapport ECRIN, Mai 2002
- [43]: F. POITIERS « Etude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne: Machine asynchrone à cage autonome, Machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau », Thèse de Doctorat, Université de Nantes, Nantes, France, 2003.
- [44]: K.IDJDARENE « Contribution à l'Etude et la Commande de Génératrices Asynchrones à Cage Dédiées à des Centrales Electriques Eolien autonomes » Thèse de Doctorat Université Abderrahmane MIRA- Bejaia, Université Lille 1, 2010
- [45]: H.ARANTZMENDI « Etude de structure d'intégration des systèmes de génération décentralisés », thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de Grenoble, France, 2006
- [46]: J. Royer, T. Djiako, E. Schiller et B. SadaSy « Le pompage photovoltaïque: Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens », Université d'Ottawa, 1998.
- [47]: N.Achaïbou, « introduction à l'étude du système de stockage dans un système photovoltaïque », Rev. Energ. Ren: valorisation (1999) 1-6.
- [48]: Djessas Zahira « Extraction des paramètres physiques d'une cellule solaire à deux exponentiels par la méthode des algorithmes génétiques », Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas Setif.
- [49]: Frédéric, C.Thomas, « Etude et régulation d'un circuit d'extraction de la puissance maximale d'un panneau solaire de satellite », mémoire de l'ingénieur faculté de l'ingénieur. Département d'électronique 2002.
- [50]: F. Benyarou « Conception assistée par ordinateur des systèmes photovoltaïques modélisation, dimensionnement et simulation », Thèse de Doctorat d'état. Université de Tlemcen Juillet 2004.

BIBLIOGRAPHIE

- [51]: S. Khelladi, « Analyse et approche d'aide à la décision pour le choix d'un projet éolien » Mémoire de magister en Matériaux et énergies renouvelables. Université aboubakrbelkaid TLEMCEM. 2010.
- [52]: M. HUART « Guide des énergies renouvelables » Association pour la promotion des énergies renouvelables, Ministère de la région Wallonne éditeur, 1994
- [53]: B. Multon, H. B. Ahmed, N. Bernard, « les moteurs électriques pour applications de grande série », Pierre-Emmanuel CAVAREC Antenne de Bretagne de l'École Normale Supérieure de Cachan, Revue 3EI juin 2000.
- [54]: D. Mohammed Larbi et B. Ahmed Bachir, « Dimensionnement d'un Système de Pompage Photovoltaïque » Mémoire de MASTER PROFESSIONNEL Université de KasdiMerbah Ouargla. 2017.
- [55]; Mehalaine Nourelhouda Étude et réalisation d'un système intelligent pour la commande d'éclairage public et surveillance de quelques paramètres atmosphériques, mémoire de fin d'étude pour master, Université Oum El Bouaghi, Juin 2018.
- [56]: <http://l'eclairage.fr>
- [57]: www.schneider-eclairage-electric.com
- [58]: Galo GUIE BI « économie d'énergie et éclairage public de la ville de Ouagadougou » mémoire pour l'obtention du master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, promotion 2008/2010.
- [59]: https://www.se.com/ww/en/?fbclid=IwAR3t_NhzhWQDgrgcUyz1X5VUMfvIYtIscmX0RI6Js_YPBffsEb8fXEaNpVc
- [60]: Archouche Adel. Boussid sihem: Etude et réalisation d'une Commande automatique de l'éclairage public à base de microcontrôleur pic16f877, mémoire de fin d'étude pour master, Université Oum El Bouaghi, (2010-2011).
- [61]: Amara moussa: Etude et réalisation d'une Commande automatique de Surveillance d'un système d'alarme, mémoire de fin d'étude pour master, Université Biskra (2015-2016).
- [62]: M. LE GUEN, J. P. PRUVOST et P. PUJADES: Thèse de doctorat.
- [63]: L. FERRE: Étude de l'éclairage d'une salle de classe. Janvier 2012.
- [64]: A. E. BOUZID et M. AZIZI: Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme. Juin 2008.
- [65]: M. ADDOU et .BEDDIAF « Dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome pour l'alimentation d'une ferme » juin 2016.

BIBLIOGRAPHIE

- [66]: [http://www.energieeffizienz.ch/files/SB Flyer2007 f.pdf](http://www.energieeffizienz.ch/files/SB_Flyer2007_f.pdf)
- [67]: Giordano Pauli, Zurich « éclairage autonome recommandations pour les entreprises électriques, les cantons et les communes » SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN.
- [68]: A. Hadj Arab, M. Benghanem et A. Gharbi « Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque » Centre de Développement des Energies Renouvelables, Energ. Ren. Vol. 8 (2005)
- [69]: Bilal hamdaoui et Ismail Bourdji « étude d'un système de pompage photovoltaïque au fil soliel » Mémoire de master université Abou Bekr belkayed de Tlemncen 2016.
- [70]: « L'éclairage public, VERS UN ECLAIRAGE JUSTE » Syndicat Mixte d'Action pour l'Expansion de la Gâtine. Année 2011.
- [71]: H. Belmili, M. Ayad, E.M. Berkouket M. Haddadi "Optimisation de dimensionnement des installations photovoltaïques autonomes – Exemples d'applications, éclairage et pompage au fil du soleil » Revue des Energies Renouvelables CICME'08 Sousse (2008) 27 – 39.
- [72]: Bassam Ouaida « Les Energies Renouvelable et le Développement Durable en milieu rural », novembre 2013
- [73]: Hammoudi Djilali « adaptation d'un système d'entraînement d'un pivot d'irrigation alimenté par énergie photovoltaïque » mémoire de magister université Mohamed Khider_Biskra. 11 juillet 2016.
- [74]: C.Brouwer « méthode d'irrigation, gestion des eaux en irrigation » Manuel de formation n° 5 1990.
- [75]: Jean Dunglas « les techniques d'irrigation » membre de l'académie d'agriculture » de France Manuscrit publié en février 2014.
- [76] : Evan Derald « best management practices of a solar powered mini_pivot for irrigation high value crops” master of science university of Saskatcheubn 2008.
- [77]: Léopold Rielle et brunon molle “le pivot” Edition Cenagrelly 1995.
- [78]: SDC: Société Algérienne de distribution de l'Electricité et du Gaz-ADRAR-. «Sonalgaz».
- [79]: J. Royer, T. Djako, « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa, 2002.
- [80]: A. DJAFOUR, « Etude d'une station de pompage photovoltaïque dans une region saharienne », Thèse de magistère, université de Ouargla, 2000

BIBLIOGRAPHIE

- [81]: B. Azoui et M. Djarallah, « Dimensionnement et expérimentation d'un système Photovoltaïque de pompage d'eau utilisant un moteur à aimants permanents sans balais collecteur », Journée d'Etude sur l'Energie Solaire, Mardi 01 mars 2005, Bejaia.
- [82]: A. Hadj Arab, M. Benghanem et A. Gharbi, « Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque », Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19 – 26.
- [83]: www.panellipumps.it
- [84]: www.grundfos.com



ANNEX

ANNEX

