

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Electrique



جامعة كاسدي مزاب ورقلة

Université Kasdi Merbah Ouargla

Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Machines électriques

Présenté par :

AHFOUDA ABDELAZIZ

Thème:

**Etude et dimensionnement d'un système de
pompage alimenté par source d'énergie
photovoltaïque**

Soutenu publiquement

Le 24/06/2018

Devant le jury :

Mr Djarah Djalal

MAA

Président

UKM Ouargla

M^r Djafour ahmed

MCA

Encadreur/rapporteur

UKM Ouargla

M^r Laamayad Tahar

MCA

Examineur

UKM Ouargla

Année universitaire 2017/2018

REMERCIEMENTS

Louange à DIEU le tout puissant, de nous avoir aidé à réaliser ce travail. Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur Dr. AHMED DJAFOUR pour son suivi durant la période de préparation de notre mémoire, son aide et ses conseils qui nos ont été très précieux.

Nos plus vifs remerciements sont également adressés à messieurs les membres du jury d'avoir participé à examiner notre travail.

Nous tenons à remercier profondément tous les enseignants du département de génie électrique de l'UKMO.

DEDICACE

*Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux
Tout d'abord je tiens à remercier le tout puissant de m'avoir
donné le courage et La patience pour arriver à ce stade afin de
réaliser ce travail que*

Je dédie :

*A ma très chère mère, qui n'a jamais cessé de prier pour moi.
A mon très cher père, pour ses encouragements. A mes très
chers frères.*

A toute ma grande famille : AHFOUDA

A mes meilleurs amis chacun à son nom.

A tous mes amis de master promotion 2018

*A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire à mon
enseignant*

M. AHMED DJAFOUR

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la
réalisation de ce travail.*

Résumé :

Le travail que nous présentons dans ce mémoire fait l'objet d'une étude de dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque destiné à l'irrigation dans une région saharienne (Ouargla).

Pour la réalisation de ce travail nous avons effectué le choix de la configuration de notre système de pompage photovoltaïque au fil de soleil, avec le stockage de l'eau dans un réservoir qui assure l'alimentation de réseau d'irrigation, ensuite la présentation de l'irradiation solaire moyenne journalière sur le plan des modules dans le cas de choix d'un angle fixe durant l'année et dans le cas de choix d'un angle optimal mensuel, ainsi que le traçage de profils de la charge finale de système qui est le besoin journalier en eau des cultures (les palmiers). Finalement le dimensionnement et l'évaluation du coût de l'installation suivi par une comparaison avec une autre source d'énergie qui est le réseau électrique.

Mots clés : Energie solaire, pompage photovoltaïque, dimensionnement, évaluation de cout

ملخص:

إن العمل الذي نقدمه في هذه المذكرة هو موضوع دراسة تصميم لنظام الضخ الكهروضوئي المخصص للري في منطقة صحراوية (ورقلة).

من أجل تحقيق هذا العمل، قمنا باختيار تركيبية نظام الضخ الضوئي الخاص الذي يتبع مسار الشمس، مع تخزين المياه في خزان يضمن توفير الماء المخصص للري، بعد ذلك اظهرنا متوسط الاشعاع الشمسي اليومي الواصل الى الألواح الشمسية في حالة اختيار زاوية ثابتة خلال السنة وفي حالة اختيار زاوية شهرية مثالية، كذلك رسم لمنحني الحمولة النهائية للنظام الذي هو الحاجة اليومية من الماء للمزروعات (النخيل). وأخيراً، تحديد ابعاد التركيبية وتكلفتها متبوعة بمقارنة مع مصدر آخر للطاقة وهو الشبكة الكهربائية.

الكلمات المفتاحية: طاقة شمسية، ضخ فوطولطائي، تحديد ابعاد، تقييم تكلفة.

Abstract:

The work how we present is the subject of a design study of a photovoltaic pumping system intended for irrigation in a Saharan region (Ouargla).

For the realization of this work we have made the choice of the configuration of our photovoltaic pumping system with the track of the sun, and with the storage of the water in a reservoir which ensures the supply of irrigation network, then the presentation of the average daily solar irradiation on the module plan in the case of choosing a fixed angle during the year and in the case of choosing an optimum monthly angle, and the tracing of profiles of the final system load which is the daily need in water of the cultures (the palms). Finally, the sizing and evaluation of the cost of the installation, followed by a comparison with another source of energy, which is pumping from grid electricity.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic pumping, Sizing, Evaluation of cost.

SOMMAIRE

Chapitre 1 : Les sources d'énergies renouvelables

1.Introduction sur les énergies renouvelable :.....	1
2.Description du site géographique :.....	1
3.Les cinq familles de l'énergies renouvelable :	1
3.1. L'énergie solaire :.....	1
3.2. L'énergie éolienne :.....	2
3.3. La biomasse :	2
3.4. L'énergie hydraulique :.....	2
3 .5. L'énergie géothermique :	3
4. Le choix de type d'énergie renouvelable de ce site :	3
5.Notions sur les systèmes photovoltaïques.....	3
5.1 Potentiel solaire	4
5.1.1 Potentiel et rayonnement solaire extraterrestre :.....	4
5.1.2 Temps solaire vrai :.....	6
5.1.3 Position du soleil :	6
5.1.4 Géométrie d'orientation :.....	8
5.1.5 Rayonnement solaire.....	9
5.1.6 Gisement solaire en Algérie.....	12
6.Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque.....	13
6.1. Types et rendement des cellules photovoltaïques.....	14
6.2 .Protections classiques d'un générateur photovoltaïque	15
7.Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	15
7.1. Inconvénients.....	15
7.2 Avantages.....	16
Conclusion	16

Chapitre 2 : Les systèmes photovoltaïques

1.Introduction :	17
2.La cellule photovoltaïque :	17
3.Circuit équivalent d'une cellule solaire.....	17
3.1.Cas d'une cellule idéale.....	17
3.2.Cas d'une cellule réelle	18
4 Caractéristique courant – tension (I-V) d'une cellule photovoltaïque.....	20
5. Caractéristique puissance-tension (P-V) :	20
6. Influence du rayonnement sur les cellules.....	21
7. Influence de la température sur le rendement des cellules :	22
8.Constitution d'un générateur photovoltaïque	23
8.1.Connexions de Cellules Photovoltaïques en Parallèle.....	23
8.2.Connexion de Cellules Photovoltaïques en Série.....	23
8.3.Connexion mixte de Cellules Photovoltaïques.....	24
9.Le champ photovoltaïque :	24
9.1.Le module photovoltaïque :	24
9.2.Le générateur photovoltaïque :	25
10.Systèmes à énergie photovoltaïque	26
10.1.Système photovoltaïque d'alimentation électrique	26
10.2.Système P.V raccordé au réseau :.....	27
10.3.Système photovoltaïque de pompage d'eau :	27
10.4.Pompage « au fil du soleil » :.....	27
10.5.Pompage avec stockage d'énergie	28
11.Composants d'un système de pompage PV	28

Chapitre 3 : Le groupe motopompe

1.Introduction :	29
2.Les moteurs électriques	29
2.1. Moteur à courant continu	29
2.2.Le moteur asynchrone triphasé	32
2.3.Machine synchrone	36
3.GENERALITES SUR LES POMPES	40
3.1Définitions.....	40
3.2.Classification des pompes.....	41
3.3.Principe de fonctionnement des pompes.....	41
3.3.1Turbopompes	41
3.3.2.Pompes volumétriques.....	43

Chapitre 4 : Dimensionnement de système

1.Introduction :	44
2.Les méthodes de dimensionnement	44
2.1 La méthode du mois le plus défavorable :	44
2.2. La méthode de la moyenne annuelle :	44
3.Technique de dimensionnement :	44
3.1Détermination de la charge (calcul de l'énergie quotidienne requise) :	45
3.2. Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire.....	45
3.3. Le volume d'eau(V) :	45
3.5. Dimensionnement de la pompe	48
3.6. Dimensionnement des tuyauteries	48
3.7. Calcul du champ photovoltaïque :	49
3.8. La puissance crête du générateur photovoltaïque :	49
3.9. Le nombre de modules photovoltaïques :	49
3.10. Choix de l'onduleur :	50
4. Pièce d'identité du matériel :	55
4.1. Pièce d'identité de motopompe	55
4.2. Pièce d'identité de l'onduleur :	55
5. Évaluation financier et rentabilité de système :	56
Conclusion :	60

Liste des figures

Chapitre 1 : Les sources d'énergies renouvelables

Figure 1. 1 Géométrie schématique des rapports terre-soleil.	6
Figure 1. 2 Position du soleil observée d'après l'origine.....	7
Figure 1. 3 Position du soleil observée d'après collecteur incliné.....	8
Figure 1. 4 Types de rayonnement solaire reçus au sol	10
Figure 1. 5 Rayonnement solaire capté par un plan horizontal et inclin	10
Figure 1. 6 Intensité de l'ensoleillement reçu sur un plan horizontal et inclin.....	11
Figure 1. 7 Description du nombre de masse d'air	12
Figure 1. 8 Carte d'éclairement solaire de l'Algérie.....	13
Figure 1. 9 Structure d'une cellule photovoltaïque.....	14
Figure 1. 10 Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour.....	15

Chapitre 2 : Les systèmes photovoltaïques

Figure 1:Caractéristique courant – tension (I-V) d'une cellule photovoltaïque	20
Figure 2:Caractéristique puissance-tension (P-V)	21
Figure 3:Caractéristique courant tension d'un module PV à température constante (25°C) en fonction de l'éclairement	21
Figure 4:Courbes de puissances en fonction de la tension aux bornes de la cellule PV	22
Figure 5:Caractéristique courant-tension d'une cellule PV à éclairement constant en fonction de la température	22
Figure 6 :module photovoltaïque.....	25
Figure 7 :champ photovoltaïque.....	25

Chapitre 3 : Le groupe motopompe

Figure 1 schéma de principe MCC	29
Figure 2 Bilan des puissances MCC	30
Figure 3 La plaque signalétique MCC	31
Figure 4 Raccordement dans la boîte à bornes MCC	32
Figure 5 Plaque signalétique MAS	35
Figure 6 Bilan de puissance MAS	36

Chapitre 4 : Dimensionnement de système

Figure 1 schéma descriptif d'un puits d'eau avec un réservoir.....	46
Figure 2 La puissance installée par un angle fixe.....	53
Figure 3 La puissance installée par un angle optimum	53
Figure 4 volume d'eau.....	54

Liste Des Tableaux

Chapitre 3 : Le groupe motopompe

Tableau 1 Puissance et rendement de moteur asynchrone.....	36
Tableau 2 tableau comparatif de moteurs électriques.....	38

Chapitre 4 : Dimensionnement de système

Tableau 1 irradiation solaire enregistrée à une année (ouargla).....	44
Tableau 2 Le besoin en eau d'un hectare de palmier :	45
Tableau 3 valeurs de K_{ac} pour différents accessoires. :.....	47
Tableau 4 Les principales caractéristiques de l'onduleur :.....	50
Tableau 5 résultats de dimensionnement de système pour chaque mois et par les deux méthodes, à un angle fixe.....	52
Tableau 6 résultats de dimensionnement de système pour chaque mois et par les deux méthodes, à un angle variable	52
Tableau 7 Prix d'une installation de pompage	58
Tableau 8 Résultats de comparaison des prix	59

Introduction générale

L'augmentation du Coût des énergies classiques d'une part, et la limitation de leurs ressources d'autre part, font que l'énergie renouvelable devient de plus en plus une solution parmi les options énergétiques prometteuses avec des avantages comme l'abondance, l'absence de toute pollution et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tout point du globe terrestre.

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. Ces énergies regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue.

Notre pays a fourni des grands efforts pour développer les régions arides et éloignées afin de contribuer à un équilibre régional de développement. La préservation des écosystèmes dans ces régions ne peut être obtenue qu'avec la fixation de la population en améliorant et en développant leurs niveaux de vie dans ces régions désertiques et éloignées. Le développement socio-économique de ces régions est très lié à deux facteurs essentiels, le premier facteur est la disponibilité de l'eau et le deuxième facteur est la possibilité d'alimenter en électricité ou en fuel les pompes pour extraire de l'eau des puits ou des nappes souterraines.

Dans ce travail l'étude présentée concerne le dimensionnement d'un système utilisant l'énergie solaire photovoltaïque pour le pompage de l'eau pour l'irrigation suivie par une évaluation de coût de cette l'application, pour se faire on a organisé le mémoire en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente d'une manière générale l'énergie solaire et la cellule photovoltaïque.

Le deuxième chapitre est consacré aux systèmes photovoltaïques en général ainsi que le système de pompage PV.

Dans le troisième chapitre, nous présentons les différents types des moteurs électriques et des pompes.

Dans le quatrième chapitre, nous effectuons le dimensionnement et l'évaluation du coût de l'installation de pompage(PV) suivit par une comparaison avec une autre source d'énergie qui est le réseau électrique.

Finalement, nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre 1 :

Les sources d'énergies renouvelables

1.Introduction sur les énergies renouvelable :

Dans ce chapitre nous présentons un aperçu générale sur les énergies renouvelables et leurs sources. Elles sont définies comme étant énergies renouvelables ceux qui se reproduisent naturellement et comme l'indique leurs noms, ils ne s'épuiseront jamais à l'échelle de temps. Leurs sources sont l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique, marine et la biomasse.

2.Description du site géographique :

On a choisi un site au sud d'Algérie exactement la zone d'Ouargla, située au Golf de Bougie, au fond d'une cuvette très large de la basse vallée de l'oued MYA. Sa superficie est de 211 980 km², et sa population est estimée à 633 967 habitants. Elle est située dans le sud-est de l'Algérie, au nord du Sahara algérien. Elle se situe à 190 km à l'est de Ghardaïa, 160 km au sud-ouest de Touggourt, 388 km au sud de Biskra. Ouargla bénéficie d'un climat désertique typique du Sahara avec des étés très longs et extrêmement chauds et des hivers courts et très doux. Le climat y est hyperaride et très sec toute l'année puisque les précipitations moyennes annuelles avoisinent 45 mm La sécheresse y est encore plus accentuée durant l'été où l'on enregistre 0 mm de précipitations entre juin et août. En été, la chaleur est extrême et prend un caractère persistant : les températures moyennes maximales dépassent 45 °C en juillet (le mois le plus chaud) mais tournent plutôt autour de 50 °C entre juin et septembre. Les températures sont agréables et modérément élevées en hiver mais seulement la journée car dans les étendues désertiques, il n'y a rien pour retenir la chaleur et températures minimales moyennes avoisinent 5 °C. Le ciel est dégagé et clair toute l'année et les journées couvertes restent très rares, si existantes. La température moyenne annuelle avoisine 25 °C à Ouargla.

3.Les cinq familles de l'énergies renouvelable :

3.1. L'énergie solaire :

Ce terme désigne l'énergie fournie par les rayons du soleil. Le soleil est la source d'énergie la plus puissante et cette énergie est gratuite, il n'y a qu'à l'exploiter ! Les technologies sont réparties entre actives et passives. Les technologies actives transforment l'énergie solaire en une forme électrique ou thermique que nous pouvons utiliser directement. C'est le cas des cellules photovoltaïques qui transforment la lumière du soleil directement en énergie électrique, des collecteurs solaires qui permettent de chauffer l'eau des maisons, du chauffage et du

refroidissement solaire, des concentrateurs solaires qui utilisent des miroirs pour concentrer les rayons du soleil et générer une chaleur intense, transformant l'eau en vapeur et produisant de l'électricité grâce à certaines machines, et même des fours solaires. Les technologies passives consistent à bien orienter les bâtiments par rapport au soleil ou à utiliser des matériaux spéciaux et des modèles architecturaux qui permettent d'exploiter l'énergie solaire.

3.2. L'énergie éolienne :

La force éolienne est connue et exploitée depuis des milliers d'années au travers des moulins à vent et de la navigation, par exemple. Aujourd'hui, nous pouvons exploiter cette énergie à l'aide d'hélices spéciales qui emmagasinent le vent et de machines qui le transforment en énergie électrique. Les éoliennes sont installées sur terre et en mer dans des endroits où le vent atteint une vitesse élevée et constante

3.3. La biomasse :

L'utilisation de la biomasse remonte au temps où l'homme découvrait le feu et se servait encore du bois pour se chauffer et cuire ses aliments ! Il s'agit de l'énergie contenue dans les plantes et les matières organiques. La biomasse des plantes provient du soleil, quand la plante, grâce à la photosynthèse, absorbe l'énergie solaire. Ensuite, les animaux absorbent à leur tour ces plantes ! La biomasse provient de divers secteurs et matières comme le bois, les récoltes (cultivées spécialement pour la production 'énergie1), les résidus agricoles et forestiers, les déchets alimentaires et les matières organiques issues des déchets municipaux et industriels. Il existe toute une variété de technologies pour convertir l'énergie de la biomasse en une forme réutilisable. Ces technologies changent l'énergie en formes utilisables directement (chaleur ou électricité) ou en d'autres formes telles que le biocarburant ou le biogaz.

3.4. L'énergie hydraulique :

L'eau est également une source renouvelable puisqu'elle se régénère grâce au cycle 'évaporation et des précipitations. Sa force est connue et exploitée depuis des milliers d'années au travers des barrages, des moulins à eau et des systèmes d'irrigation. Plusieurs technologies permettent d'exploiter l'énergie produite par la chute ou le mouvement de l'eau. Les roues à aubes peuvent la transformer directement en énergie mécanique (moulin à eau), tandis que les turbines et les générateurs électriques la transforment en électricité.

3.5. L'énergie géothermique :

L'énergie géothermique désigne l'énergie créée et emmagasinée dans la terre sous forme thermique. Elle est parfois libérée à la surface par des volcans ou des geysers, mais elle peut aussi être accessible à tout moment, comme dans les sources d'eau chaude. La géothermie peut servir à produire de l'électricité ou à chauffer et refroidir. L'énergie est extraite de réservoirs souterrains enfouis très profondément et accessibles grâce au forage, ou de réservoirs plus proches

4. Gisement solaire de site d'étude :

Avant de parler de l'énergie renouvelable qui peut être exploitée dans cette zone, il faut parler de taux d'ensoleillement dans la zone de sud algérienne, et d'après le ministère de l'énergie cette zone représente un réservoir d'énergie solaire ; la durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m^2 est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de $1700\text{KWh}/\text{m}^2/\text{an}$ au Nord et $2263\text{ kwh}/\text{m}^2/\text{an}$ au Sud du pays. »

5. Notions sur les systèmes photovoltaïques

Le soleil est une source d'énergie inépuisable pouvant satisfaire nos besoins en consommation énergétique. Alors, il est possible de mettre au profit de la population sa diffusion sur l'ensemble de la planète, en extrayant son énergie importante grâce à l'utilisation des cellules photovoltaïques.

Le nom Photovoltaïque vient du Grec, il est composé de deux parties :

Photos : Lumière ;

Volt : Unité de tension électrique, du nom Alessandro Volta [1].

La première cellule photovoltaïque fut développée au début de l'année 1954 par le physicien Alexandre Edmond Becquerel.

Toutefois, ce n'est qu'au début des années 70 que les premiers, du photovoltaïque fut utiliser pour l'alimentation en énergie d'habitations en sites isolés et d'équipements de télécommunications [2].

Par la suite, l'avance génieuse de la recherche dans le domaine des énergies renouvelables a permis l'amélioration de la fiabilité et de mettre en place des concepts respectueux de l'environnement des systèmes photovoltaïques ce qui leurs a accordé une considération prépondérante dans les systèmes de production d'énergie électrique. Pour expliquer le principe de fonctionnement de la

cellule photovoltaïque en passant au système photovoltaïque complet et à ses trois types à savoir [3] :

Les systèmes autonomes ;

Les systèmes connectés au réseau ;

Les systèmes fonctionnant au fil du soleil (Pompage PV).

5.1 Potentiel solaire

5.1.1 Potentiel et rayonnement solaire extraterrestre :

Le corps noir est à la fois un absorbeur et un émetteur de rayonnement électromagnétique avec 100 % d'efficacité à toutes les longueurs d'ondes. Sa distribution théorique des longueurs d'ondes du rayonnement est décrite par l'équation de Planck [4].

$$E_{\lambda} = \frac{A\lambda^{-5}}{e^{\frac{\beta}{\lambda T}} - 1} \dots\dots\dots (I.1)$$

Avec :

$$A = 3.74 \times 10^{-16} \text{ W/m}^2 ; \quad \beta = 14.39 \times 10^{-3} \text{ m.K} ;$$

λ : longueur d'onde en mètre ; T : température absolue en °K du corps noir.

L'ensoleillement est donné par la loi de Stefan-Boltzmann qui représente le flux d'énergie émis par unité de temps et par unité de surface du soleil [5] :

$$E_s = \sigma T^4 \dots\dots\dots (I.2)$$

Où :

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K}^4 : \text{ est la constante de Stefan-Boltzmann ;}$$

T : est la température absolue du corps noir. Si on suppose que le soleil est un corps noir l'insolation reçue en dehors de l'atmosphère terrestre, nommée la constante solaire, peut être exprimé par la relation suivante :

$$E_0 = \frac{E_s A_s}{A_{0T}} \dots\dots\dots (I. 3)$$

Avec :

E_s : éclairement de la surface du soleil ;

E_0 : éclairement en dehors de l'atmosphère terrestre, appelé constante solaire ;

A_s : surface du soleil ;

A_{0T} : surface de la sphère dont le rayon est l'orbite de la terre/soleil ;

La figure (1) présente la géométrie schématisée des rapports terre-soleil. En substituant E_s par l'équation (I.2) et T par 5762°K, on obtient : $E_0 = 1360 \text{ W/m}^2$. Puisque l'orbite de la terre ROT n'est pas entièrement constante, E_0 change légèrement tout au long de l'année, on peut déduire que $1300 \text{ W/m}^2 < E_0 < 1390 \text{ W/m}^2$.

Les mesures, par satellite, indiquent que la valeur moyenne de l'année est E_0 de 1367W/m² ; qui est dans la gamme précédente.

En raison de l'orbite elliptique de la terre, l'insolation extraterrestre sur une surface perpendiculaire au faisceau du soleil dans le jour « n » de l'année est donné (n variant de 1 à 365 et ce du 01/01 au 31/12 de l'année) par l'équation suivante [6] :

$$E_0(n) = \left(1 + 0.033 \left(\frac{2\pi n}{365} \right) \right) E_0 \dots\dots\dots (I. 4)$$

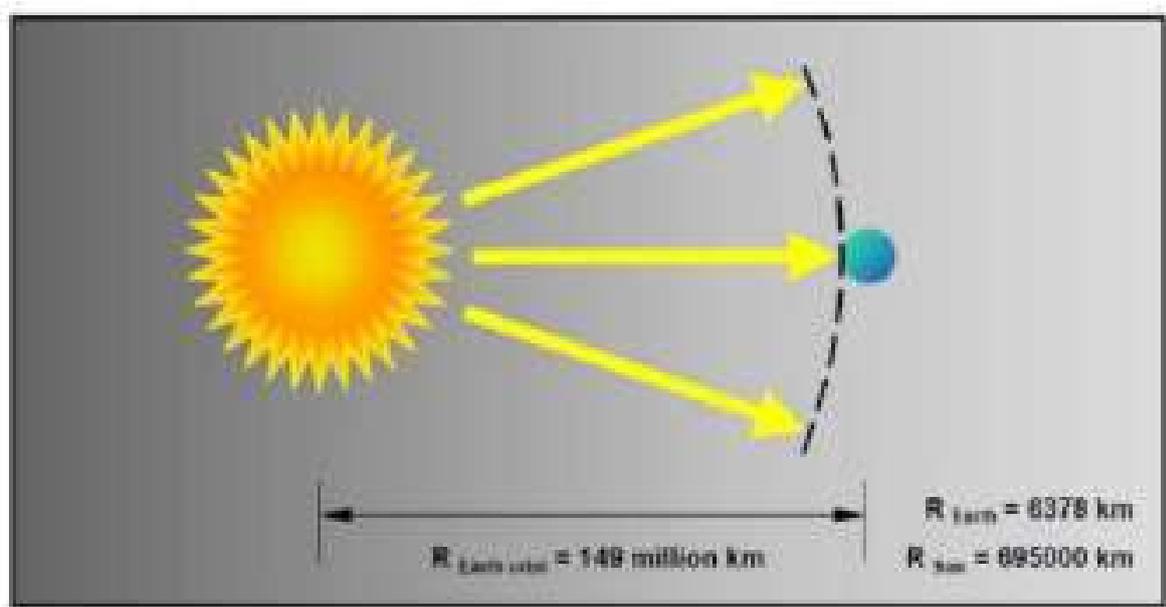


Figure 1. 1.Géométrie schématique des rapports terre-soleil.

5.1.2 Temps solaire vrai :

C'est le temps (en heures) appliqué par le calcul d'énergie solaire, quand le soleil croise le méridien de l'observateur à 12:00, la conversion du temps standard local

(TSL) au TSV est :

$$T_{TSV} = T_{TSL} + \frac{12h}{\pi} (\Lambda_{ref} - \Lambda) + B_t(n) \dots \dots \dots (I. 5)$$

Avec :

Λ : longitude géographique du site ;

Λ_{ref} : longitude de référence du TSL ;

$B_t(n)$, en heures, est un facteur additionnel qui compte pour les perturbations de rotation de la terre, (on peut ajouter jusqu'à 1h) ; il est donné par l'équation (1.6) [7] :

$$B_t(n) = 0.1645 \sin\left(\frac{2\pi(n-81)}{364}\right) - 1255 \cos\left(\frac{2\pi(n-81)}{364}\right) - 0.025 \sin\left(\frac{2\pi(n-81)}{364}\right) \dots \dots \dots (I. 6)$$

5.1.3 Position du soleil :

La position du soleil sur la sphère céleste est donnée par l'angle d'altitude (γ) et l'angle d'azimut (ψ) (voir la figure 1.2) dépend de la date, la période du jour, et de la position géographique de

5.1.4 Géométrie d'orientation :

La position du soleil vis-à-vis d'un collecteur orienté arbitrairement est déterminée par l'angle d'incidence du rayon du soleil (Figure 1.3). Pour le plan d'horizon, l'angle d'incidence est égal à l'angle zénith, équation

$$\cos(\theta_i) = \sin(\gamma) \dots \dots \dots (I. 11)$$

Pour un collecteur incliné avec l'angle β et l'azimut α , l'angle d'incidence θ_i est calculé à partir de :

$$\cos(\theta_i) = \sin(\gamma) \cos(\beta) + \cos(\gamma) \sin(\beta) \cos(\alpha - \psi) \dots \dots \dots (I. 12)$$

Là où l'angle d'azimut α erre d'est-ouest et zéro pour l'orientation sud. L'enseillement extraterrestre E_0 reçu par un collecteur arbitrairement orienté est donnée par l'équation

$$E_{0\alpha\beta} = E_0 \cos(\theta_i) \dots \dots \dots (I. 13)$$

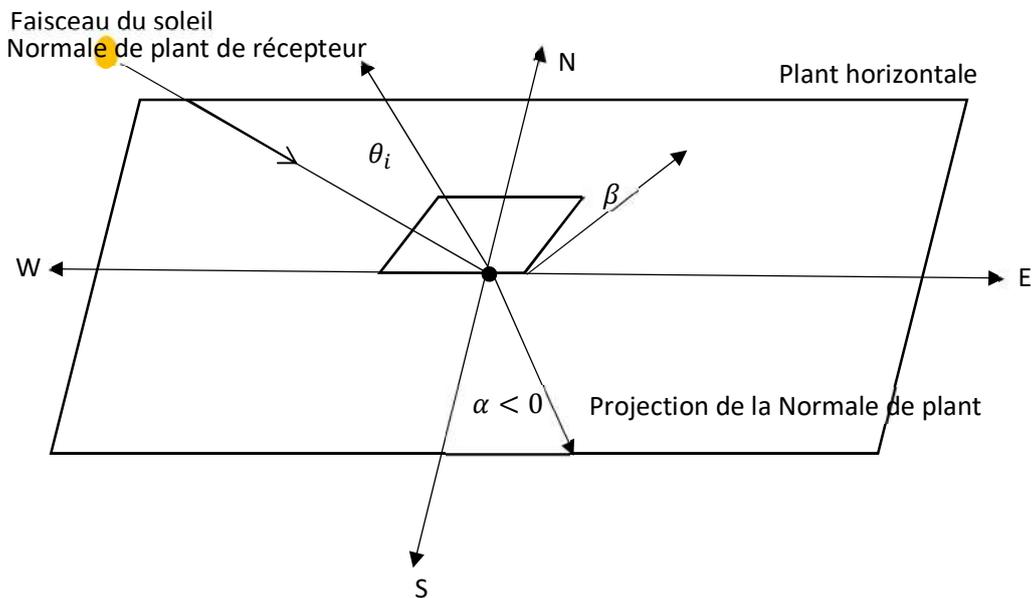


Figure 1. 3 Position du soleil observée d'après collecteur incliné.

5.1.5 Rayonnement solaire

5.1.5.1 Spectre solaire

Afin de quantifier l'énergie développée par le générateur photovoltaïque dans une application donnée, il est nécessaire de connaître le spectre du rayonnement solaire reçu sur sol. En effet, quatre types de rayonnement ont été répertoriés dans la littérature [8] :

Le rayonnement direct : la conversion du rayonnement direct ED est une question trigonométrique. Le rayonnement direct, sur le plan horizontal, est la différence entre le rayonnement global et le rayonnement diffus. Le rayonnement direct est converti pour un plan avec un angle d'azimut (α) et d'inclinaison (β) selon l'équation suivante :

$$E_{D\alpha\beta} = \frac{E_D \cos(\theta_i)}{\sin(\gamma)} \dots\dots\dots (I. 14)$$

Avec :

γ Et θ_i sont donnés selon les équations (1.9) et (1.12).

On note que le paramètre $E_{D\alpha\beta}$ peut être mesuré par un instrument nommé (Pyrohéliomètre) qui doit être monté sur la monture du générateur PV [8].

Le rayonnement diffus : c'est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire global par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages et les aérosols. }

Le rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol : c'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige, etc....). }

Le rayonnement global :

Le rayonnement global est subdivisé en rayonnements directs, diffus et réflécté par le sol) [6].

Dans la figure est représenté l'ensemble des rayonnements solaires reçu sur la surface terrestre.

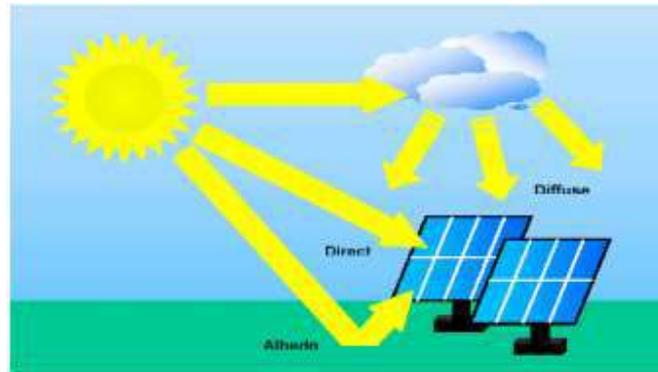


Figure 1. 4 Types de rayonnement solaire reçus au sol

L'intensité du rayonnement solaire reçu sur un plan quelconque à un moment donné est appelée irradiation ou éclairement (noté généralement par la lettre G), il s'exprime en watts par mètre carré (W/m^2). La valeur du rayonnement reçu par la surface du module photovoltaïque varie selon la position de ce dernier. Le rayonnement solaire atteint son intensité maximale lorsque le plan du module photovoltaïque est perpendiculaire aux rayons [3].

Dans la figure 1.5 et la figure 1.6 est montré l'effet de l'inclinaison des modules photovoltaïques sur l'intensité de l'éclairement reçu sur leurs surfaces depuis le levé à la couche du soleil.

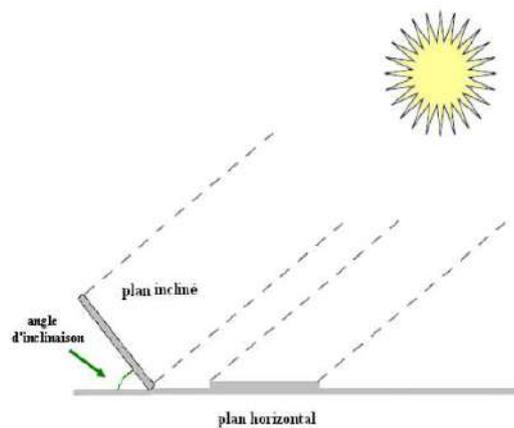


Figure 1. 5 Rayonnement solaire capté par un plan horizontal et incliné

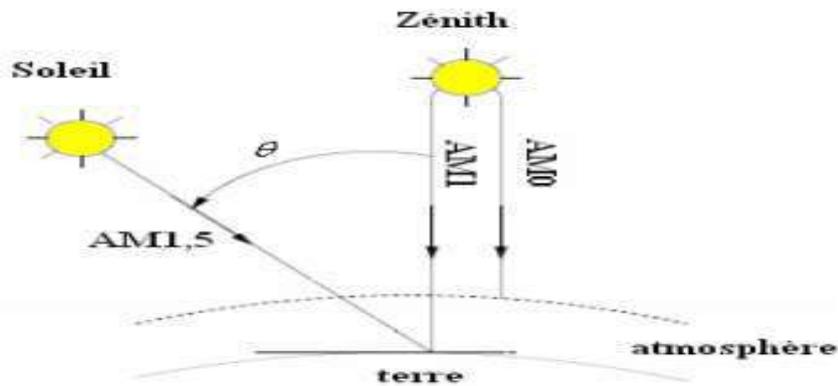


Figure 1. 7 Description du nombre de masse d'air

5.1.6 Gisement solaire en Algérie

Pour saisir la portée des énergies renouvelables en Algérie et les enjeux considérables et inépuisables existant de ces énergies non encore exploitées à savoir le gisement solaire exceptionnel qui couvre une superficie de 2381745 Km² [9]. L'Algérie est l'un des pays qui ont une diversité de sites grâce à son grand secteur, où le rayonnement de la région près de la mer est influencé par les saisons. Les zones du nord de l'Algérie sont à ciel - couvert plus que ceux du sud. Les régions Sahariens reçoivent une quantité plus grande d'énergie mais sont caractérisées par une température de l'air plus élevée. En raison de cette diversité dans le climat, l'ensoleillement moyen global au plan horizontal reçu varie entre 4,5 et 7.5 kWh/m². En tenant compte de cette diversité, l'Algérie peut être divisée en 8 zones climatiques qui ont approximativement un ensoleillement homogène comme indiqué sur la figure

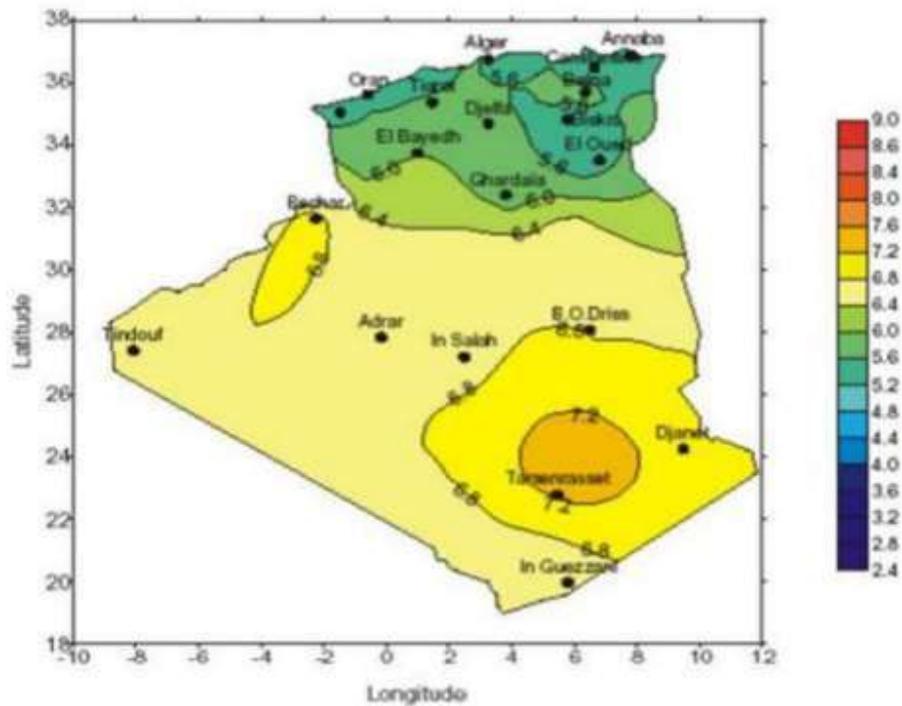


Figure 1. 8 Carte d'éclairement solaire de l'Algérie

Donc, Part sa situation privilégiée, l'Algérie dispose du plus grand gisement solaire du bassin méditerranéen. La durée moyenne d'ensoleillement du territoire algérien dépasse les 2000 heures annuelles, peut atteindre près de 3500 heures d'ensoleillement dans le désert du Sahara. Le total d'énergie reçu est estimé à 169 400 TWh/an, soit 5000 fois la consommation d'électricité annuelle du pays [9]

6.Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un dispositif semi-conducteur généralement a base silicium. Elle est réalisée à partir de deux couches, une dopée P et l'autre dopée N créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel.

Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule [3].

La structure d'une cellule photovoltaïque est illustrée dans la figure suivante :

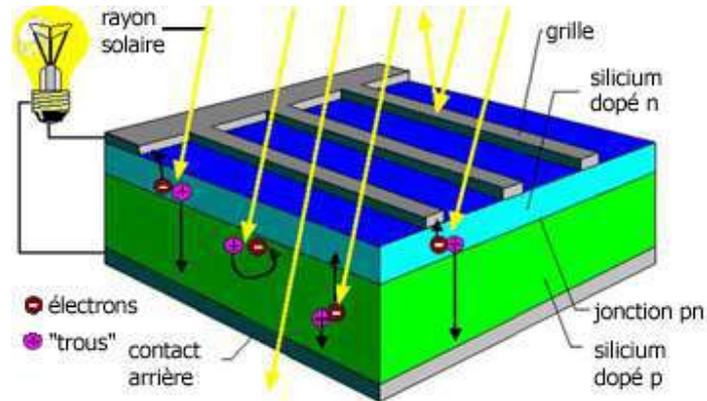


Figure 1. 9 Structure d'une cellule photovoltaïque [5]

6.1. Types et rendement des cellules photovoltaïques

Il existe différents types de cellules solaires (ou cellules photovoltaïques), et chaque type de cellules a un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible : de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent. Le tableau présente les trois principaux types de cellules [6]

Type de cellule	Rendement	Avantage	Inconvénient
Silicium monocristalline	13-17%	Bon rendement pour une cellule	Coût de fabrication élevé, perte de matière en cours de fabrication
Silicium polycristallin	11-15%	Bon rendement pour module	Coût de fabrication élevé, perte de matière en cours de fabrication
Silicium amorphe	5-9%	Facile à fabriquer	Mauvais rendement

6.2 .Protections classiques d'un générateur photovoltaïque

Deux types de protections contre les pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leur fonctionnement en cas d'ombrage sont classiquement utilisés [11] :

- la protection en cas de connexion en parallèle de modules PV pour éviter les courants négatifs dans les GPV (diode anti-retour).
- la protection lors de la mise en série de modules PV permettant de ne pas perdre la totalité de la chaîne (diode by-pass) et éviter les points chauds.

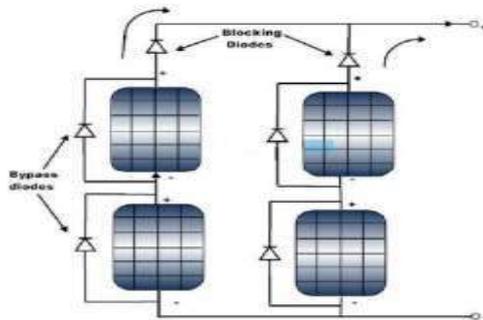


Figure 1. 10 Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour

7. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

7.1. Inconvénients

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé;
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15% avec une limite théorique pour une cellule de 28%;
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.

7.2 Avantages

- D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

Conclusion

Le contenu de ce chapitre a été consacré aux notions de base sur l'énergie solaire. Le gisement solaire de la région d'étude et le principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques et leur rendement.

Chapitre 2 :

Les systèmes photovoltaïques

1.Introduction :

Le développement et l'utilisation d'énergie solaire se base sur les systèmes utilisateurs, selon le besoin de consommateur, et la diversifiée de ses installations en autre ; dans ce chapitre nous allons étudier les divers systèmes photovoltaïques en se concentrons sur les systèmes de pompages et ses fiabilités. Nous commençons par la présentation de fonctionnement de l'élément fondamentale de ce système.

2.La cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est un dispositif qui transforme l'énergie lumineuse en courant électrique. La première photopile a été développée aux États-Unis en 1954 par les chercheurs de laboratoire Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés". C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous les semiconducteurs. Mais en dépit de l'intérêt des scientifiques au cours des quelques années, ce n'est que lors de la course vers l'espace que les cellules ont quittés les laboratoires. En effet, les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité à bord des satellites, ainsi que dans tout site isolé. Actuellement, l'objectif essentiel est devenu la production de l'électricité, sans pollution, pour l'alimentation des réseaux de distribution.

3.Circuit équivalent d'une cellule solaire

3.1. Cas d'une cellule idéale

Dans le cas idéal, la cellule d'une jonction PN soumise à l'éclairement photovoltaïque connecté à une charge peut être schématisée par un générateur de courant I_{pv} en parallèle avec une diode délivrant un courant selon la figure (2.1), qui représente le circuit équivalent d'une cellule solaire idéale [12]

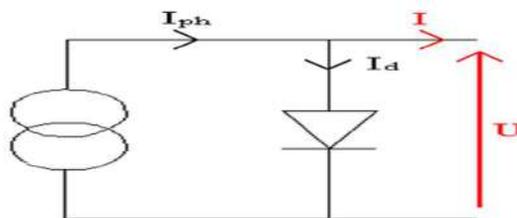


Figure 2 1 Schéma équivalent d'une cellule idéale

Les équations retenues de ce modèle sont :

$$I = I_{pv} - I_d \quad 2.1$$

Le courant I_{pv} est assimilé au courant I_{sc} avec $V_{pv} = 0$, courant de court-circuit obtenu en court-circuitant la charge.

3.2. Cas d'une cellule réelle

Le schéma équivalent de la cellule photovoltaïque réelle tient compte d'effets résistifs parasites dues à la fabrication et représenté sur la figure (2.2). Ce schéma équivalent est constitué d'une diode (d) caractérisant la jonction, une source de courant I_{pv} caractérisant le photo-courant, une résistance série (R_s), et une résistance parallèle (R_p ou R_{sh})

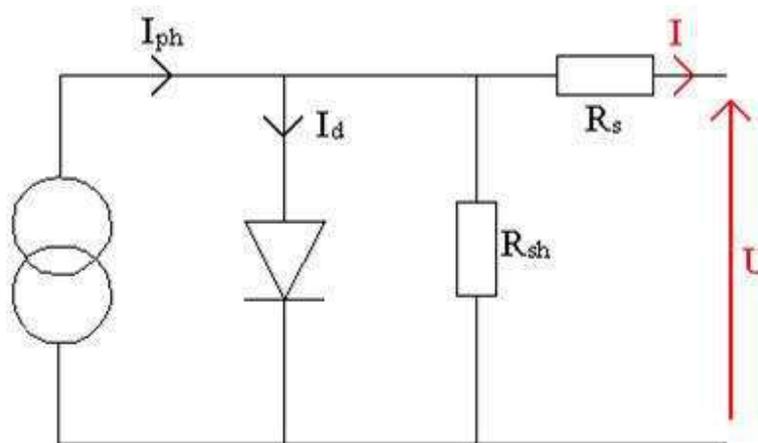


Figure 2 2 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

le modèle mathématique du module solaire à exponentiel simple [13]

Le courant de sortie d'une cellule photovoltaïque se met sous la forme mathématique suivante :

$$I = I_{pv} - I_d - I_p \quad 2.2$$

I : Courant généré par la cellule photovoltaïque ;

I_{pv} : Photo courant créé par la cellule (proportionnel au rayonnement incident)

$$I_{pv} = (I_{PV,N} + K_1 \Delta T) \left(\frac{G}{G_N} \right) \quad 2.3$$

I_d : courant à travers la diode.

$$I_d = I_{0,cell} \left[\exp \left(\frac{qv}{aKT} \right) - 1 \right] \quad 2.4$$

$$I_0 = I_{0,N} \left(\frac{T_N}{T} \right)^3 \exp \left[\frac{qE_G}{aK} \left(\frac{1}{T_N} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad 2.5$$

$$I_{0,N} = \frac{I_{(SN,N)}}{\left(\exp \left(\frac{V_{oc,N}}{aV_{T,N}} \right) - 1 \right)} \quad 2.6$$

$$R_p = V_{mp}(V_{mp} + I_{mp}R_s) / \left\{ V_{mp}I_{pv} - V_{mp}I_0 \exp \left[\frac{(V_{mp} + I_{mp}R_s)}{N_s a} \cdot \frac{q}{KT} \right] + V_{mp}I_0 - P_{max,e} \right\} \quad 2.7$$

$$I_{PV,N} = \frac{(R_p + R_s)}{R_p} I_{sc,N} \quad 2.8$$

$$R_{P,min} = \frac{V_{mp}}{I_{sc,N} - I_{mp}} - \frac{V_{oc,N} - V_{mp}}{I_{pm}} \quad 2.9$$

T : température de la jonction des cellules PV [°K];

T_n : température de référence des cellules PV [°K];

a : facteur d'idéalité de la jonction ;

E_g : énergie de gap [ev] ;

R_s : résistance série ;

V : tension de sortie ;

I_p : courant à travers la résistance RP ;

R_p : résistance shunt

Notons que R_s représente la résistance de masse du matériau semi-conducteur, ainsi les résistances ohmiques et de contact au niveau des connexions des cellules et R_p représente les fuites autour de la jonction p-n dues aux impuretés

4 Caractéristique courant – tension (I-V) d'une cellule photovoltaïque

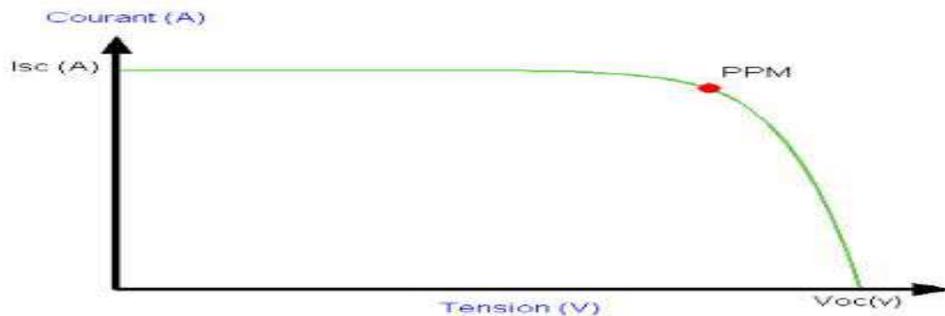


Figure 1:Caractéristique courant – tension (I-V) d'une cellule photovoltaïque

Comme nous le voyons sur la figure la cellule solaire PV est caractérisée par la courbe $I(V)$ non linéaire qui dépend particulièrement des conditions d'ensoleillement et de température. Cette courbe nous informe sur trois points importants :

- Le point de fonctionnement optimal PPM (la puissance maximale de la cellule).
- Le point du courant maximal (I_{sc}). Il se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées. Il est appelé courant de court-circuit (I_{sc}).
- Le point de la tension maximale de la cellule (V_{oc}), (environ 0.6 V) pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert (V_{oc}).

5. Caractéristique puissance-tension (P-V) :

La puissance crête d'une cellule PV, notée W_c (Watt crête) ou W_p (Watt peak) représente la puissance électrique maximum délivrée dans les conditions suivantes dites conditions standard :

- éclairement solaire de 1 kW / m ;
- température de la cellule PV égale à + 25 °C.

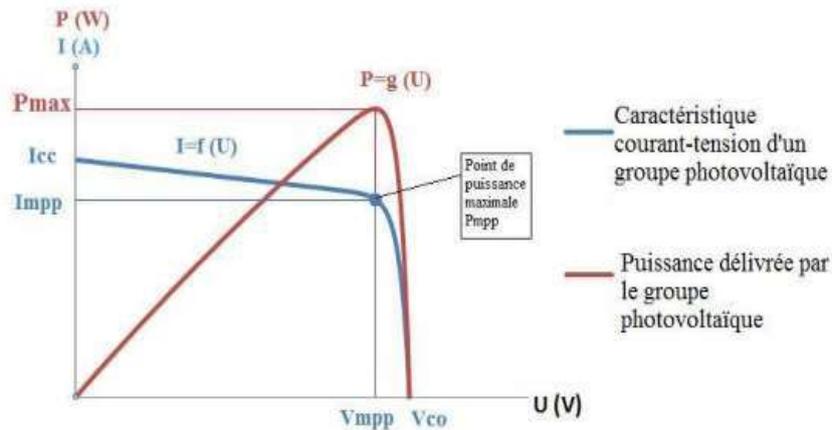


Figure 2:Caractéristique puissance-tension (P-V)

6. Influence du rayonnement sur les cellules

La cellule photovoltaïque réagit différemment selon l'énergie qu'elle reçoit. Plus elle reçoit d'énergie plus elle en restitue, mais toujours avec un coefficient de rendement faible.

La variation des caractéristiques est représentée sur les courbes de la figure. Pour différents niveaux d'irradiation, le changement du courant optimal est important ;

Selon les conditions météorologiques, nous obtenons différentes courbes avec différentes puissances maximales au cours d'une même journée

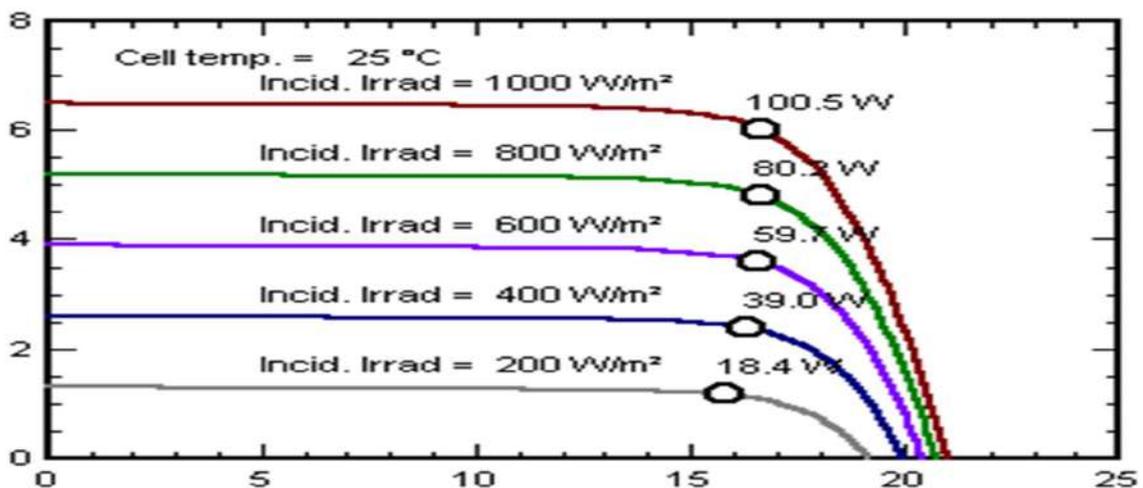


Figure 3:Caractéristique courant tension d'un module PV à température constante (25°C) en fonction de l'éclairement

Même chose remarquée sur les différentes courbes avec différentes puissances maximales.

En fixe la température à 25 c°

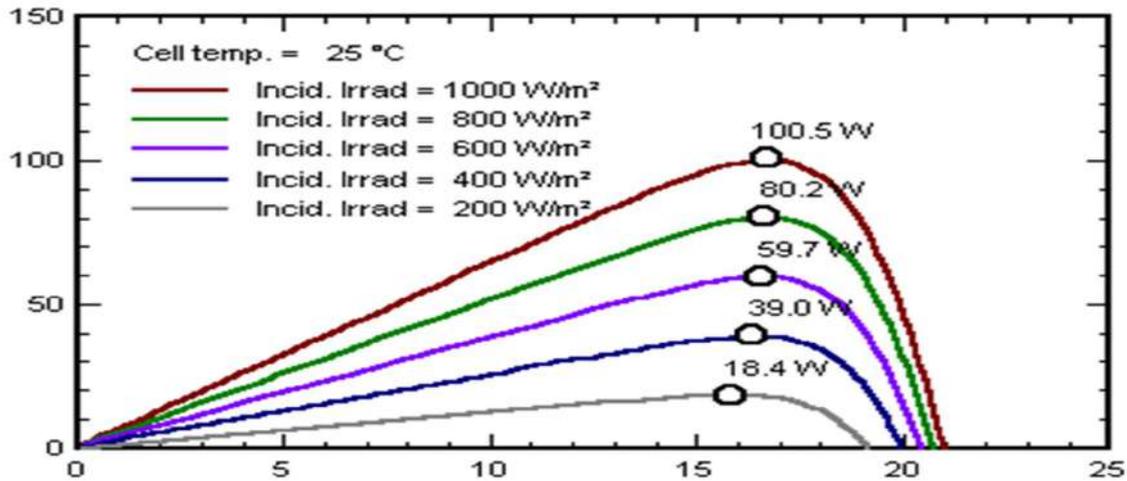


Figure 4: Courbes de puissances en fonction de la tension aux bornes de la cellule PV

7. Influence de la température sur le cellules :

Comme nous l’avons expliqué précédemment, la base des cellules photovoltaïques est une jonction PN. Ceci nous laisse envisager que son rendement variera selon la température de la jonction. La figure ci-dessous montre que la tension à vide d'une cellule solaire diminue avec l’augmentation de la température de la cellule. Le courant de court-circuit, par contre, augmente légèrement avec la température de la cellule. En fixe l’éclairement à 1000 W / m

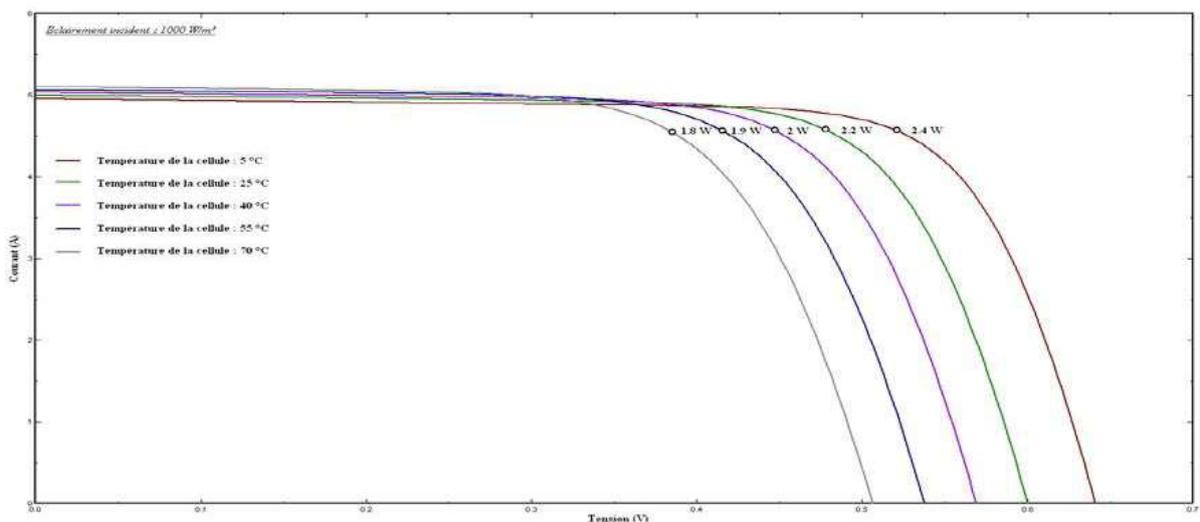


Figure 5: Caractéristique courant-tension d'une cellule PV à éclairage constant en fonction de la température

8. Constitution d'un générateur photovoltaïque

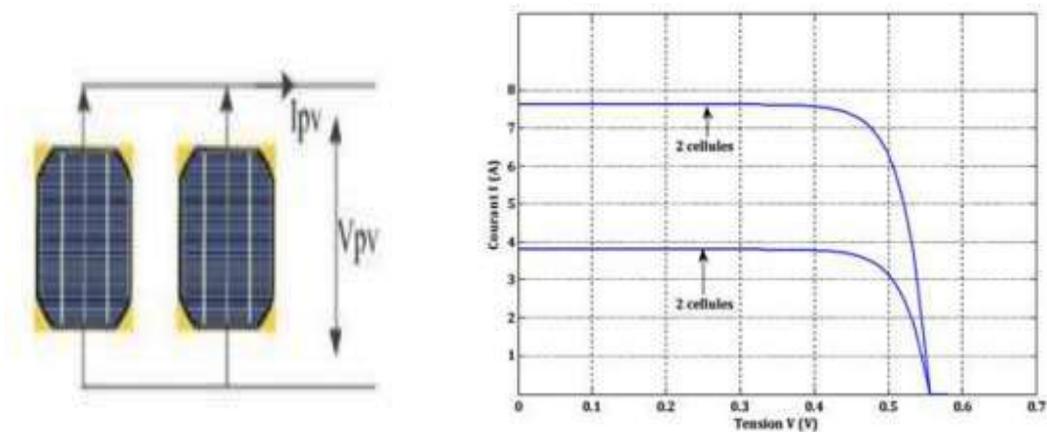
Les cellules photovoltaïques connectées en série/parallèle forment un générateur photovoltaïque (GPV). Si les cellules se connectent en série, les tensions de chaque cellule s'additionnent, augmentant la tension totale du générateur. D'une autre part, si les cellules se connectent en parallèle, c'est l'ampérage qui augmentera [14].

8.1. Connexions de Cellules Photovoltaïques en Parallèle

Dans ce cas, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. Les figures xx et xx Montrent les caractéristiques résultantes (I_{pcc} , V_{pco}) obtenues en associant en parallèle (indice p) N_p cellules identiques :

$$I_{pcc} = N_p * I_{cc} \quad 2.10$$

$$V_{pco} = V_{co} \quad 2.11$$



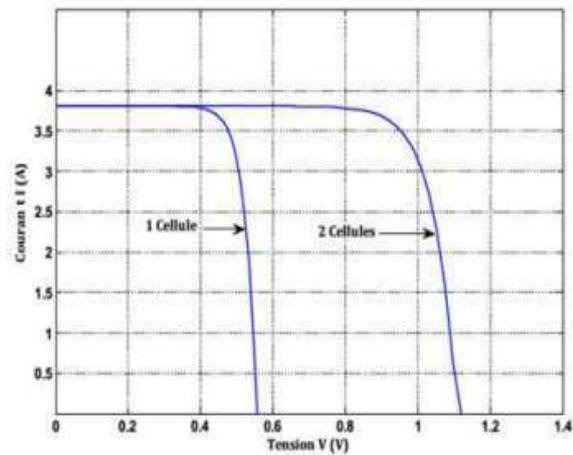
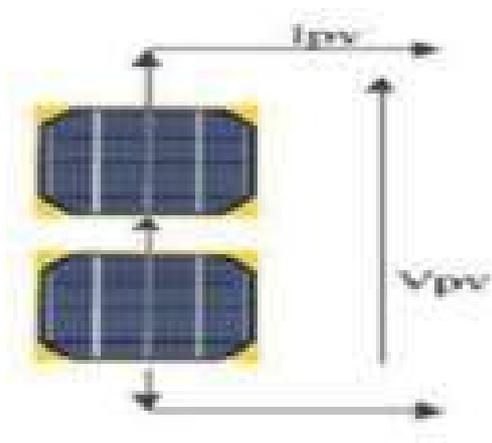
8.2. Connexion de Cellules Photovoltaïques en Série

Pour la connexion en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. Figure xx et xx, montre les caractéristiques résultantes (I_{scc} , V_{sco}) obtenues en associant en série (indice s) N_s cellules identiques (I_{cc} , V_{co}) :

$$I_{scc} = I_{cc} \quad 2.12$$

$$V_{sco} = N_s * V_{co}$$

2.13



8.3. Connexion mixte de Cellules Photovoltaïques

Les panneaux photovoltaïques sont constitués par des groupes de cellules connectées en série. Chacun est constitué de cellules photovoltaïques connectées en série [15].

Ceci étant, le courant est exprimé par la relation suivante :

$$I = I_{pV} N_p - I_0 N_p \left[\exp \left(\frac{\left(V + R_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) I \right)}{V_t a N_s} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) I}{R_p \left(\frac{N_s}{N_p} \right) I} \quad 2.14$$

9. Le champ photovoltaïque :

9.1. Le module photovoltaïque :

L'association mixte de plusieurs cellules photovoltaïques forme un module (appelé aussi panneau Solaire).

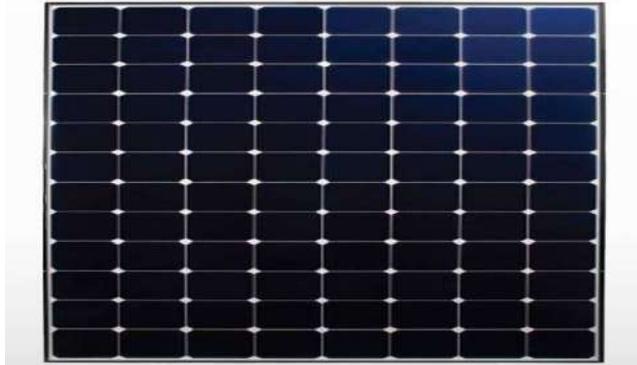


Figure 6 : module photovoltaïque

9.2. Le générateur photovoltaïque :

L'interconnexion de plusieurs modules, en série ou en parallèle, permet d'obtenir une puissance plus grande, formant ainsi un générateur photovoltaïque (appelé aussi champ photovoltaïque).

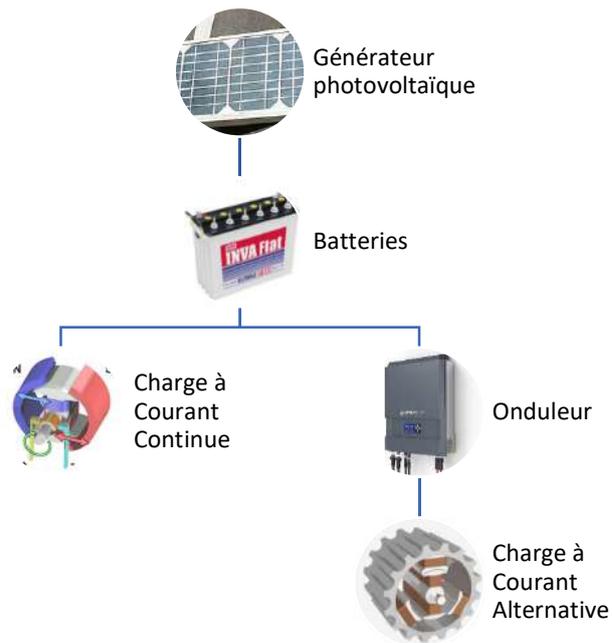


Figure 7 : champ photovoltaïque

10. Systèmes à énergie photovoltaïque

10.1. Système photovoltaïque d'alimentation électrique

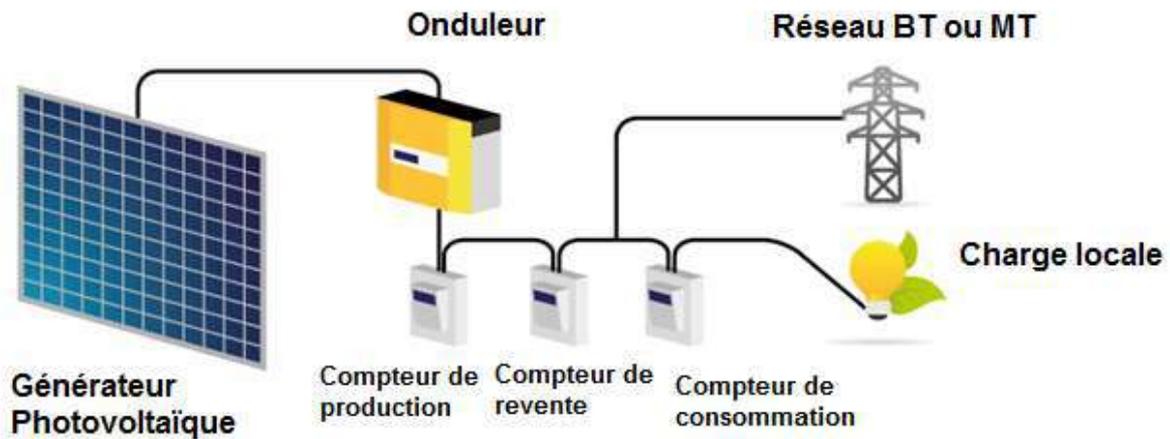
Un système photovoltaïque peut fonctionner hors du réseau d'électricité conventionnelle (Offerte par SONELGAZ). C'est un système autonome qui exige l'utilisation de batteries pour le stockage d'énergie



Diverses sources peuvent être combinées et complémentaires dans un tel système (système autonome hybride). Et Ce système est basé sur un régulateur qui homogénéise l'énergie absorbée

10.2 Système P.V raccordé au réseau :

Le courant généré peut être utilisé localement et les surproductions sont injectées au réseau. La centrale de distribution électrique se charge également d'équilibrer l'offre et la demande.

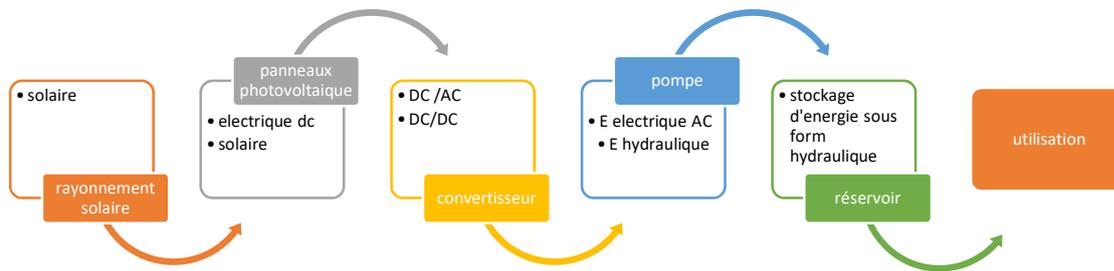


10.3. Système photovoltaïque de pompage d'eau :

Le pompage solaire représente la solution idéale pour l'approvisionnement en eau partout où le réseau électrique est absent (alimentation en eau pour un usage domestique, pour l'irrigation agricole, ...etc.). D'autre part, l'énergie photovoltaïque ne présente aucun risque de pollution de l'eau, contrairement aux générateurs diesel où des écoulements de combustible peuvent se produire. Pour pomper l'eau avec un système photovoltaïque, deux méthodes sont possibles.

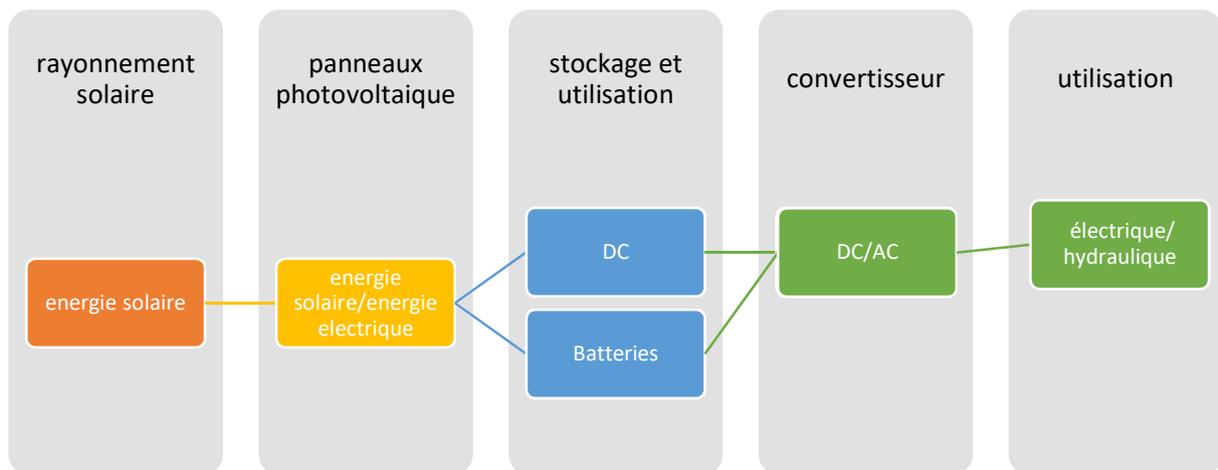
10.4. Pompage « au fil du soleil » :

Le pompage « au fil du soleil » permet d'avoir un système photovoltaïque simple, fiable et moins coûteux. Ici l'eau est pompée et stockée dans un réservoir, au fil de la journée. On parle alors d'un stockage hydraulique. L'eau stockée sera distribuée au besoin.



10.5. Pompage avec stockage d'énergie

Ici c'est l'énergie électrique qui sera stockée dans des batteries. Le pompage sera possible même en absence du soleil. Un tel système est plus coûteux que le précédent, vu la nécessité de changer les batteries, car elles ont une courte durée de vie.



11. Composants d'un système de pompage PV

Un système de pompage solaire est généralement constitué de

- Le générateur photovoltaïque.
- Le groupe de motopompe.
- L'électronique de commande.
- Les éléments du stockage.

Conclusion :

Le contenu de ce chapitre a été consacré aux équations fondamentales des cellules photovoltaïques et les différents systèmes photovoltaïques et de pompage.

Chapitre 3 :

Le groupe motopompe

1.Introduction :

Dans les chapitres précédents on a parlé de pompage photovoltaïque et l'utilisation de cette technologie dans le domaine d'irrigation des zones éloigné, mais, le problème qui, se pose c'est le choix des équipements fondamentaux de système de pompage et la combinaison entre ces éléments pour un meilleur fonctionnement avec le minimum de perte, dans ce chapitre nous détaillons l'étude de groupe motopompe, les types de moteur et de pompe, les points forts et les points faibles de chacun.

2.Les moteurs électriques

2.1. Moteur à courant continu

Les moteurs et les générateurs (dynamos) à courant continu furent les premières machines électriques utilisées par les ingénieurs au milieu du 19^{ième} siècle pour produire de la puissance motrice en usine ou en transport (les tramways).

De nos jours, les moteurs à courant continu à excitation séparée sont encore utilisés assez largement pour l'entraînement à vitesse variable des machines. Très facile à miniaturiser, ils s'imposent dans les très faibles puissances. Ils se prêtent également fort bien à la variation de vitesse avec des technologies électroniques simples pour des performances élevées et jusqu'à des puissances importantes. Leurs caractéristiques permettent également une régulation précise du couple. Leur vitesse de rotation nominale est adaptable aisément par construction à toutes les applications, car elle n'est pas liée à la fréquence du réseau. Ils sont en revanche moins robustes que les moteurs asynchrones et nécessitent un entretien régulier du collecteur et des balais.

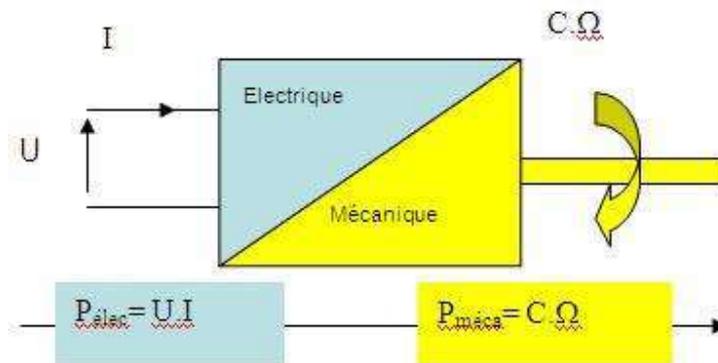
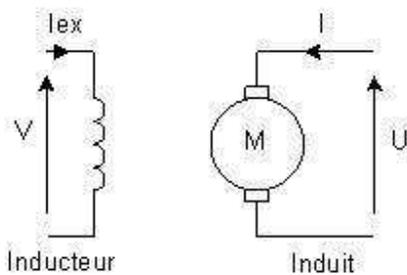


Figure 1 schéma de principe MCC

représentation :



$$U = E + RI + \varepsilon = U + \Delta U$$

$\varepsilon : \frac{RMI}{\omega}$.
 ΔU : Chute de tension.
 $E = K\Phi\Omega$, force contre électromotrice.
 $C = K\Phi I$, couple électromagnétique.
 $\Omega = \frac{U - \Delta U}{K\Phi}$, vitesse de rotation.

On voit que la vitesse d'entraînement est inversement proportionnelle au flux magnétique, donc au courant d'excitation I_{ex} . Il faut donc éviter d'alimenter le circuit induit d'un moteur à courant continu sans alimenter le circuit inducteur ; sinon le moteur s'emballe.

Bilan des puissances :

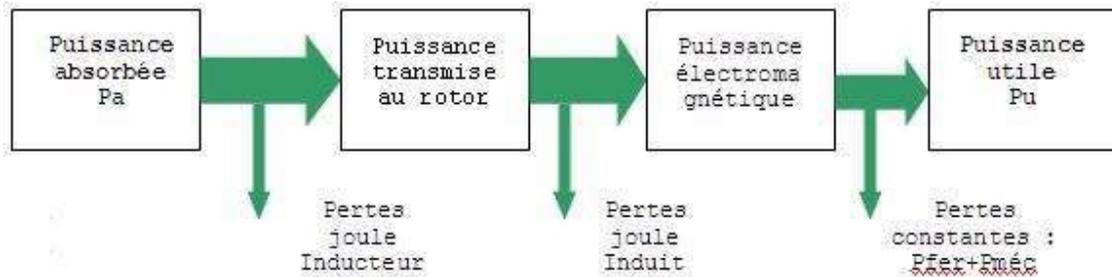


Figure 2 Bilan des puissances MCC

Pertes joules inducteur ou d'excitation :

Elles traduisent l'énergie dissipée dans le bobinage inducteur :

$$P_{jex} = r I_{ex}^2 \tag{3.1}$$

r étant la résistance du bobinage inducteur.

□ **pertes joules induit :**

Elles traduisent l'énergie dissipée dans le bobinage induit.

$$P_{ji} = R \cdot I^2 \tag{3.2}$$

R étant la résistance du bobinage induit.

□ **les pertes constantes :**

C'est la somme des pertes mécanique (frottement) et des pertes magnétiques (Foucault et hystérésis). Ces pertes sont supposées constantes quel que soit le point de fonctionnement du moteur.

Le rendement :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{P_u + \sum \text{Pertes}} \quad (3.3)$$

La plaque signalétique du moteur :

La plaque signalétique spécifie les valeurs du point de fonctionnement nominal (point pour lequel le moteur fonctionne normalement). On trouve sur la plaque signalétique du moteur différentes informations :

- Puissance nominale
- Vitesse nominale
- Tension et courant d'induit
- Tension et courant d'excitation

SP LR 57008		2 102 451 / A	
IEC 34.1.1990		MADE IN FRANCE	
LEROY SOMER			
MOTEUR A COURANT CONTINU			
DIRECT CURRENT MOTOR			
TYPE: LSK 1604 S 02		N° 700000/10 9/1992 M 249 kg	
Classe / Ins class H		IM 1001 IP 23S IC 06	
M _{nom} / Rated torque 301 N.m		Altit. 1000 m Temp. 40 °C	
Nom./Rat. 36,3		1150 440 95,5 360 3	
3,63		115 44 95,5 360 3	
36,3		1720 440 95,5 240	
T Systeme peinture: I		Induit / Arm. Excit. / Field	
Service / Duty S1		DE 6312 2RS C3 NDE 6312 2RS C3	

Figure 3 La plaque signalétique MCC

Définition des informations :

- LSK : Série de moteur.
- 160 : Hauteur d'axe.
- 4 : Polarité.
- S : Symbole du stator.
- 02 : Indice constructeur.
- N° 700000 : N° série moteur.
- /10 : N° d'ordre dans la série.
- 9 : Mois de production.
- /92 : Année de production.
- M 249 kg : Masse.

Classe H : Classe d'isolation.

IM 1001 : Position de fonctionnement.

IP 23S : Indice de protection.

IC 06 : Mode de refroidissement.

Mnom 301Nm : Moment (couple) nominal.

Altit. 1000 m : Altitude maximale de fonctionnement en mètres.

Temp. 40 °C : Température maximale ambiante de fonctionnement

Raccordement dans la boîte à bornes :

Les schémas électriques ci-contre se retrouvent dans la boîte à bornes d'un moteur à courant continu. On reconnaît dans l'ordre :

- Un moteur non compensé avec pôles d'aide à la commutation (PA)
- Un moteur compensé avec pôles d'aide à la commutation (PC)
- Un inducteur bi-tension par connexion série ou parallèle
- Un inducteur mono-tension .

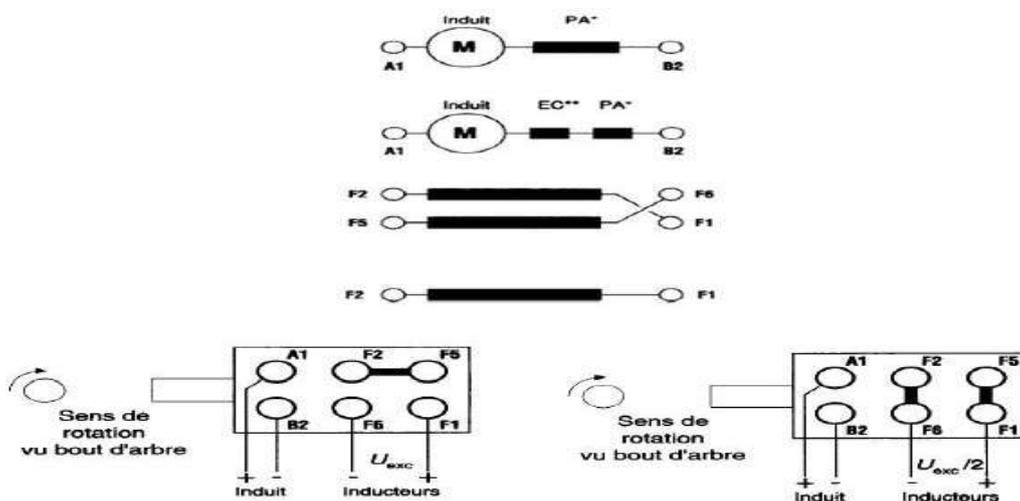


Figure 4 Raccordement dans la boîte à bornes MCC

2.2. Le moteur asynchrone triphasé

Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie, sa simplicité de construction en fait un matériel très fiable et qui demande peu d'entretien. Il est constitué d'une partie fixe, le stator qui comporte le bobinage, et d'une partie rotative, le rotor qui est bobiné en cage d'écureuil. Les circuits magnétiques du rotor et du stator sont constitués d'un empilage de fines tôles métalliques pour éviter la circulation de courants de Foucault.

Principe de fonctionnement

Le principe des moteurs à courants alternatifs réside dans l'utilisation d'un champ magnétique tournant produit par des tensions alternatives ; La circulation d'un courant dans une bobine crée un champ magnétique B . Ce champ est dans l'axe de la bobine, sa direction et son intensité sont fonction du courant I . C'est une grandeur vectorielle. Si le courant est alternatif, le champ magnétique varie en sens et en direction à la même fréquence que le courant. Si deux bobines sont placées à proximité l'une de l'autre, le champ magnétique résultant est la somme vectorielle des deux autres. Dans le cas du moteur triphasé, les trois bobines sont disposées dans le stator à 120° les unes des autres, trois champs magnétiques sont ainsi créés. Compte-tenu de la nature du courant sur le réseau triphasé, les trois champs sont déphasés (chacun à son tour passe par un maximum). Le champ magnétique résultant tourne à la même fréquence que le courant soit $50 \text{ tr/s} = 50 \text{ Tr/s} = 3000 \text{ tr/mn}$. Les 3 enroulements statoriques créent donc un champ magnétique tournant, sa fréquence de rotation est nommée fréquence de synchronisme. Si on place une boussole au centre, elle va tourner à cette vitesse de synchronisme. Le rotor est constitué de barres d'aluminium noyées dans un circuit magnétique. Ces barres sont reliées à leur extrémité par deux anneaux conducteurs et constituent une "cage d'écureuil". Cette cage est en fait un bobinage à grosse section et très faible résistance.

Cette cage est balayée par le champ magnétique tournant. Les conducteurs sont alors traversés par des courants de Foucault induits. Des courants circulent dans les anneaux formés par la cage, les forces de Laplace qui en résultent exercent un couple sur le rotor. D'après la loi de Lenz les courants induits s'opposent par leurs effets à la cause qui leur a donné naissance. Le rotor tourne alors dans le même sens que le champ mais avec une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme de ce dernier. Le rotor ne peut pas tourner à la même vitesse que le champ magnétique, sinon la cage ne serait plus balayée par le champ tournant et il y aurait disparition

des courants induits et donc des forces de Laplace et du couple moteur. Les deux fréquences de rotation ne peuvent donc pas être synchrones d'où le nom de moteur asynchrone. Prenons l'exemple d'un moteur dont la fréquence de rotation nominale relevée sur la plaque signalétique est de 2840 tr/mn, ce moteur étant alimenté en courant de 50Hz, la fréquence de rotation du champ magnétique est donc de 50 tr/s soit 3000 Tr/mn. Le rotor est donc balayé par un champ magnétique qui tourne à une fréquence de rotation relative de $3000-2840=160$ tr/mn.

-Le bobinage

Les bobines sont logées dans les encoches du stator. S'il y a une paire de pôles magnétique pour chacune des trois phases, la fréquence de synchronisme est alors de 3000 tr/mn. Si on augmente le nombre de paires de pôles, il est possible d'obtenir des moteurs avec des fréquences de rotation différentes.

1 paire de pôles => 3000 tr/mn

2 paires de pôles => 1500 tr/m

Le branchement des bobines sur le réseau se fait au niveau de la plaque à borne située sur le dessus du moteur. On dispose ainsi de 6 connexions, une pour chacune des extrémités des trois bobines.

-Branchement étoile ou triangle

Il y a deux possibilités de branchement du moteur au réseau électrique triphasé. Le montage en étoile et le montage en triangle. Avec un branchement en étoile, la tension aux bornes de chacune des bobines est d'environ 230V. Dans le montage en triangle, chacune des bobines est alimentée avec la tension nominale du réseau (400V). On utilise le montage étoile si un moteur de 230V doit être relié sur un réseau 400V ou pour démarrer un moteur à puissance réduite dans le cas d'une charge avec une forte inertie mécanique.

Plaque signalétique



Figure 5 Plaque signalétique MAS

- Type : (LS90Lz) référence propre au constructeur
- Puissance : (1,5Kw) puissance utile délivrée sur l'arbre du moteur.
- Facteur de puissance ou cos phi: (0,78) permet le calcul de la puissance réactive consommée.
- rendement (76%) : permet de connaître la puissance électrique consommée ou absorbée
- Tensions : (230v/400v) la première indique la valeur nominale de la tension aux bornes d'un enroulement. Elle détermine le couplage (étoile ou triangle) à effectuer en fonction de la tension du réseau d'alimentation.
- Intensités : (6,65A/3,84A) Elles représentent l'intensité en ligne (dans chaque phase) pour chacun des couplages.
- vitesse : (1440 Tr/min) Indique la vitesse nominale du rotor. On dit aussi vitesse réelle. On connaît alors La vitesse de synchronisme n_s du moteur (ici 1500 tr/min)
- classe d'isolement : (non indiquée) .
- Température ambiante : (40°C) utilisation recommandée maximum
- Fréquence : (50Hz) fréquence du réseau d'alimentation.
- Nombre de phases : (Ph 3) moteur triphasé
- service : (S1) utilisation en marche continue, intermittente...
- Indice de protection IP : (non indiquée) défini par trois chiffres le degré de protection du moteur à la poussière, à l'eau et aux chocs mécaniques.

Puissance et rendement de moteur asynchrone :

Électrique	Vitesse de rotation $n_s = \frac{f}{p}$ [tr/s]	p Nombre de pair de pole f Fréquence du réseau
	Puissance absorbée $P_a = UI\sqrt{3}\cos\varphi$ [W]	
Mécanique	Vitesse du rotor n_r [tr/min]	
	Couple utile C_u [N.m]	
	Puissance utile $P_u = \eta P_a = C_u \omega$	$\omega = \left(\frac{2\pi n_r}{60}\right)$ [rad/s]

Tableau 1 Puissance et rendement de moteur asynchrone

Bilan de puissance

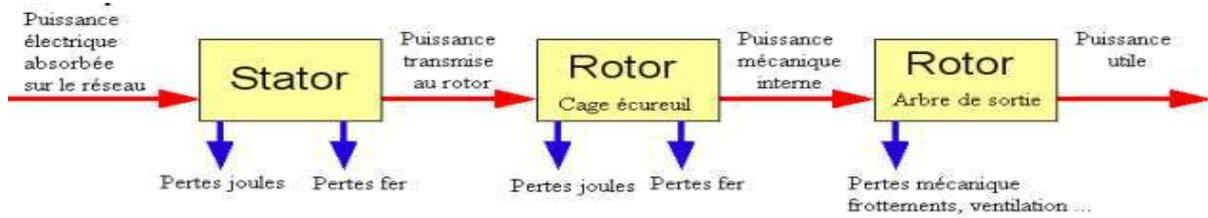


Figure 6 Bilan de puissance MAS

2.3. Machine synchrone

- Le terme de machine synchrone regroupe toutes les machines dont la vitesse de rotation de l'arbre de sortie est égale à la vitesse de rotation du champ tournant. Pour obtenir un tel fonctionnement, le champ magnétique rotorique est généré soit par des aimants, soit par un circuit d'excitation. La position du champ magnétique rotorique est alors fixe par rapport au rotor, ce qui impose en fonctionnement normal une vitesse de rotation identique entre le rotor et le champ tournant statorique. On appelle machine synchrone une machine dont la vitesse de rotation est liée à la fréquence du réseau f et par le nombre de pair de pôles par la relation suivante : $n = \frac{60}{p} f$, f et p représentent respectivement la Vitesse de rotation (tr/min), la fréquence du réseau (Hz) et le Nombre de pair de pôles de la MSAP.

Les différents types de machines synchrones : Il existe trois catégories de machines synchrones :

Les machines synchrones à rotor bobiné : Elles font appel le plus souvent à une excitatrice associée à un redresseur tournant pour éliminer tout contact glissant, le rotor peut être à pôles lisses ou à pôles saillants et généralement équipé de circuits amortisseurs, pour certaines applications à forte puissance et à grande vitesse, on utilise un rotor cylindrique massif.

Les machines synchrones à réluctance : Elles sont employées dans un certain nombre d'applications particulières où la simplicité de constitution est un avantage. Leur inconvénient est la faiblesse inhérente de leur facteur de puissance qui implique un surdimensionnement systématique des convertisseurs statiques.

Les machines synchrones à aimants permanents : La machine synchrone est devenue attractive est concurrentes de la machines asynchrone dans les domaines des systèmes d'entraînement électrique à cause de son avantage qui est l'élimination des pertes par glissement, la machine synchrone à aimant permanent est utilisés dans plusieurs application comme la robotique, les machines-outils et les véhicules électrique, cette large utilisation est devenue possible avec les hautes performances des aimants permanent. Dans les machines synchrones à aimant permanent, l'inducteur est remplacé par des aimants, le champ d'excitation est créé par les aimants, ceci représente aussi l'avantage d'éliminer les balais et les pertes rotorique, ce qui donne un rendement élevé, et n'exige aucun entretien pendant toute la durée de vie. Les performances élevées et les avantages qui présentent les aimants permanent (induction de saturation et champ coercitif plus élevée, faible désaimantation) font que ces derniers soit l'élément de base de la machine synchrone à aimant permanent Il y a fondamentalement quatre types différents d'aimants permanents, qui sont utilisés [20] :

- ✓ les ferrites
- ✓ Les ALNiCo, qui sont des alliages d'Alluminium, Fer, Cobalt.
- ✓ Les aimants de type Samarium/Cobalt. (SmCo) ;
- ✓ Les aimants Néodyme/Fer/Bore (NdFeb).

	Moteur à courant continu	Moteur synchrone	Moteur asynchrone
Dénomination condensée	MCC	MS	MAS
Constitution du stator	1. Enroulements inducteurs (machines de forte puissance jusqu'à plusieurs MW). 2. Aimants (machines jusqu'à quelques kW).	Enroulements statoriques triphasés pour la production du champ tournant.	Enroulements statoriques triphasés pour la production du champ tournant.
Constitution du rotor	Enroulements rotoriques d'induit constitués de conducteurs de forte section car les courants d'induit sont importants (limitation en augmentant le nbre de voie d'enroulements).	1. Enroulements d'excitation (électroaimant) pour les machines de forte puissance (moteurs ou alternateurs). 2. Aimants (machines jusqu'à quelques kW).	1. Enroulements rotoriques (machines à bagues) : forte puissance, circuit électrique accessible pour modifier le comportement de la machine (pilotage par le rotor). 2. Rotor à cage pour des machines simples, robustes pilotables par le stator.
Vitesse du rotor	Variable suivant la tension d'induit, mais limitée en raison des commutations de courant au niveau du collecteur.	Variable de l'arrêt jusqu'à une vitesse maximale réglée par la fréquence des grandeurs statoriques (directement proportionnelle).	Variable de l'arrêt jusqu'à une vitesse maximale réglée par la fréquence des grandeurs statoriques (au glissement près).
Conséquence d'une augmentation du couple de charge	Diminution de la vitesse rotorique. Limitation par le dépassement du courant maximal d'induit.	Pas de diminution de la vitesse rotorique (synchronisme) en contrôlant l'angle interne. Perte de contrôle au delà d'une limite.	Augmentation du glissement provoquant une diminution de la vitesse de rotation.
Rendement	Moyen	Bon (98,5% pour les gros alternateurs)	Moins bon que la MS (pertes rotoriques).
Inconvénients	Entretien du système balais-collecteur (forte dégradation).	1. Entretien des bagues pour les moyens/gros moteurs (électro-aimant). 2. Décrochage si trop de couple demandé. 3. Démarrage direct sur le réseau impossible.	1. Dépendance entre la vitesse et la charge. 2. Pointe de courant au démarrage.
Avantages	Commande simple du couple et de la vitesse de manière indépendante.	Vitesse fixée (invariante avec la charge)	Robuste, peu d'entretien.
Utilisations	1. Production d'énergie (génératrices). 2. Application nécessitant une vitesse stable en fonction de la charge. 3. Moteurs brushless, pas à pas.	1. Production d'énergie (alternateurs). 2. Application nécessitant une vitesse stable en fonction de la charge. 3. Moteurs simples : brushless, pas à pas.	1. Grand standard industriel. 2. Entraînements divers. 3. Alternateurs en site isolé (éolienne, micro-centrale hydraulique).

Tableau 2 tableau comparatif de moteurs électriques

A partir de tableau ce dessus on a constaté que le moteur électrique asynchrone c'est le choix idéal pour l'application de pompage a cause de se rendement les plus élevé par rapport à ça entretien la plus faible et à l'utilisation dans le domaine de pompage classique, après tous sa on a choisi ce type de moteur pour l'entraînement d'une pompe pour un système de pompage photovoltaïque, la seule contrainte c'est l'installation d'un onduleur de tension pour la conversion DC/AC

Les paramètre de choix d'un onduleur :

- ❖ Rendement maximal
- ❖ La gamme de tension d'entrée
- ❖ La durée de vie
- ❖ Les problèmes de ventilation
- ❖ Gestion du réseau

3.GENERALITES SUR LES POMPES

3.1 Définitions

Une pompe est une machine hydraulique qui aspire et refoule un liquide (l'eau, l'huile, l'essence, les liquides alimentaires etc....) d'un point à un endroit voulu. La pompe est destinée à élever la charge du liquide pompé.

La charge ou l'énergie est la somme de trois catégories d'énergie :

- Energie cinétique V^2
- Energie potentielle H ou Z
- Energie de pression P/pg

C'est donc un appareil qui génère une différence de pression ΔP entre

L'entré et la sortie de la machine. L'énergie requise pour faire fonctionner une pompe dépend :

- Des propriétés du fluide : la masse volumique ρ , la viscosité dynamique μ
- Des caractéristiques de l'écoulement : la pression P, la vitesse V, le débit volume Q, la hauteur H

- Des caractéristiques de l'installation : la longueur des conduites L , le diamètre D et la rugosité absolue E .

3.2. Classification des pompes

Il existe deux grands types de pompes :

- Les turbopompes, qui agissent sur l'énergie cinétique
- Les pompes volumétriques qui agissent sur l'énergie de pression.

Pour les turbopompes, on utilise essentiellement les pompes centrifuges qui sont aujourd'hui les pompes les plus utilisées. Elles peuvent être radiales, axiales ou mixtes.

3.3. Principe de fonctionnement des pompes

3.3.1 Turbopompes

Les turbopompes sont actuellement parmi les plus employées des pompes. Les principales raisons de ce choix sont les suivantes ;

Ces appareils étant rotatifs et ne comportant aucune liaison articulée, leur entraînement par un moteur électrique ou à combustion interne, ne présente aucune difficulté

L'encombrement de la turbopompe est environ huit fois moindre que celui des pompes volumétriques, et peut être encore réduit en adoptant une disposition à axe vertical.

Ce moindre encombrement et un poids plus faible permettent de réaliser d'appréciables économies sur les bâtiments abritant les installations.

De plus, les frais d'entretien d'une turbopompe sont peu élevés.

Suivant le type de rotor et son mode d'action, on distingue dans la catégorie des turbopompes, les trois principaux types suivants :

- Les pompes centrifuges ;
- Les pompes hélices ou radiales ;
- Les pompes hélico-centrifuges ou semi-axiales.

Les pompes centrifuges sont les plus utilisées et elles couvrent 80% des pompes utilisées et présentent les avantages suivants :

- Machine de construction simple et nécessitant peu d'entretien
- Prix d'achat modéré, coût de maintenance faible
- Bon rendement (70% à 80%)
- Adaptées à toute sorte de liquide
- > Vitesse de rotation allant de 750 à 3000 tours/ min, donc facilement entraîné par un moteur électrique.

Elles présentent aussi certains inconvénients :

- Impossible de pomper des liquides trop visqueux (les roues tournent sans entraînés le fluide)
- Production d'une pression différentielle faible (0,5 à 10 bars)
- La pompe ne s'amorce pas d'elle-même

Les pompes centrifuges sont constituées fondamentalement de :

- Un distributeur
- Un rotor ou roue
- Un diffuseur

Le principe de fonctionnement repose sur la variation de vitesse de l'eau pompée. Pratiquement, leur fonctionnement se résume en trois étapes :

- L'aspiration : assurée et facilitée par le distributeur ; la vitesse du fluide entrant augmente alors que la pression diminue
- L'accélération : assurée par le rotor ; la rotation de la roue augmente la vitesse du liquide et les forces centrifuges augmentent la pression
- Le refoulement : assurée par le diffuseur ; la vitesse diminue et la pression augmente. L'énergie cinétique est donc convertie en énergie de pression.

NB : les pompes centrifuges font parties des turbopompes. On retrouve également dans cette catégorie de turbopompes, les pompes hélices et les pompes hélico- centrifuges.

Les pompes centrifuges sont utilisées pour des hauteurs d'élévation relativement importantes et les pompes hélices pour les débits importants.

Il existe un certain nombre d'autres classifications des turbopompes selon les critères suivants :

La disposition

- De l'axe : horizontal, vertical, incliné
- Du moteur : en surface, immergée
- Sur les canalisations : pompes en ligne
- Le nombre et la disposition des rotors : monocellulaires, multicellulaire.
- La conception des roues : ouvertes, à canaux, à vortex (pour des liquides plus ou moins chargés) ;
- > Les possibilités d'amorçage plus ou moins automatique : pompes autoamorçâtes à canaux, à amorçage automatique par décantation, etc...

L'utilisation : irrigation, eaux chargées, forages.

Importance de la pression produite :

- Basse pression,
- Moyenne pression,
- Haute pression.

D'un point de vue qualitatif, les pompes centrifuges sont utilisées pour des hauteurs d'élévation relativement importantes (plusieurs dizaines de mètres).

Les pompes hélices sont utilisées pour élever des débits importants (plusieurs centaines de litres/s.) à des hauteurs faibles (quelques mètres).

3.3.2. Pompes volumétriques

En hydraulique agricole, rurale et urbaine, ces pompes connaissent une utilisation moins fréquente que les turbopompes. D'une façon générale, elles conviennent pour élever de faibles débits à de fortes pressions. On distingue deux catégories de pompes volumétriques :

- Les pompes rotatives
- Les pompes alternatives

Les pompes rotatives :

Comportent un rotor qui assure soit un transfert continu de liquide depuis l'aspiration jusqu'au refoulement : pompe à vis, pompe à engrenage, pompe à lobes ; soit une création de volumes alternativement variables par un rotor dont la position est excentrée : pompe à palettes escamotables ou flexibles, pompe à rotor excentré, etc...

Les pompes alternatives :

Sont soit à piston (simple ou double effet), soit à membrane. Ce type de pompe d'usage ancien reste couramment utilisé en hydraulique villageoise avec motricité éolienne, humaine ou animale.

Principe de fonctionnement des pompes volumétriques :

Le liquide est d'abord aspiré par l'accroissement d'un volume de liquide puis refoulée par diminution de ce même volume. L'énergie de pression est fournie directement au liquide dans ces pompes et par variation successive d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement.

Les pompes volumétriques génèrent une grande différence de pression ΔP mais un faible débit Q . Dans le cas où le fluide est un gaz, ces machines portent le nom de compresseurs, si elles produisent de fortes pressions, et de surpresseurs, si elles servent à produire un grand débit sous une pression donnée.

Conclusion :

Dans ce chapitre on a découvert les types de moteurs électriques et leur point fort avec une idée générale sur les pompes et ses paramètres.

Chapitre 4 :

Dimensionnement de système

1.Introduction :

L'utilisation de l'énergie solaire pour le pompage de l'eau est particulièrement bien adaptée aux zones arides. Ces dernières reçoivent en général un fort ensoleillement et l'eau qui fait cruellement défaut dans ces régions se trouve stockée dans des nappes souterraines. En effet la réalisation de systèmes de pompage fiables et à bon rendement constitue une solution pratique et économiques au problème du manque d'eau de surface dans les régions désertiques.

Nous allons dans ce chapitre, appliquer l'algorithme de dimensionnement sur un système de pompage photovoltaïque, répondant à des besoins locaux dans la région de Ouargla.

Nous faisons remarquer que souvent, le souci d'investissement est prioritaire à l'efficacité du système. Pour cela nous allons étudier aussi la rentabilité de l'installation.

2.Les méthodes de dimensionnement

2.1 La méthode du mois le plus défavorable : [17]

Dans cette méthode, on estime l'énergie récupérable pour une période critique d'un mois, appelé le mois le plus défavorable. Ce mois correspond au mois ayant une irradiation Mensuelle la plus faible de l'année (Décembre pour Ouargla, l'irradiation égale à 3,25 kwh/m²/jour).[18]

	Irradiation (Kwh/M ² /jour)												Irradiation annuelle
Site	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
Ouargla	5.031	5.701	6.09	6.138	5.825	5.902	6.206	6.306	5.789	5.611	5.016	5.016	5,71

Tableau 1 irradiation solaire enregistrée à une année (ouargla)

2.2. La méthode de la moyenne annuelle :

Cette méthode consiste à considérer l'irradiation moyenne de l'année entière (Pour Ouargla, l'irradiation moyenne annuelle est égale à 5,71 kwh /m²/jour).

3.Technique de dimensionnement : [19]

Les étapes de dimensionnement sont organisées comme suit :

- Détermination du profil de charge.
- Dimensionnement du champ photovoltaïque.
- Calcul de la capacité de la batterie (au besoin).
- Choix du régulateur et de l'onduleur (au besoin).

3.1 Détermination de la charge (calcul de l'énergie quotidienne requise) :

L'énergie nécessaire pour soulever une quantité d'eau, sur une certaine hauteur pendant une journée, est calculée à partir des données de débit et de HMT requises. Elle est exprimée en watt heure. Ce calcul est fonction d'une constante hydraulique (**CH**) et est inversement proportionnel au rendement du groupe motopompe utilisé.

3.2. 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 :[12]

$$E_h = \frac{\rho_a g}{3600} * V_a HMT = CH * V_a * HMT \quad (4.1)$$

$$E_h: \text{énergie hydraulique} \left(\frac{Wh}{\text{jour}} \right) \qquad V_a: \text{volume d'eau} \left(\frac{m^3}{\text{jour}} \right)$$

$$g: \text{accélération de la pesanteur} \left(\frac{9,81m}{s^2} \right) \qquad HMT: \text{hauteur totale (m)}$$

$$\rho_a: \text{densité de l'eau} \left(\frac{1000kg}{m^3} \right)$$

CH est la constante hydraulique dépendant de la gravité terrestre et de la densité d'eau :

$$CH = g \cdot \rho = \frac{9.81 \cdot 10^3}{3600} = 2,725 \text{ (Kg.s.h/m}^2\text{)} \quad (4.2)$$

3.3. Le volume d'eau(V) :

Le besoin en eau peut être défini, selon le cahier de charge, dans notre étude nous utilisons les besoins en eau d'un hectare de palmier dans la région de ouargla durant l'année, comme il est montré dans le tableau suivant :

MOIS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$V_j(m^3/j$ $/ha)$	15	16.89	26.61	39.9	50.15	61.6	65.76	56.89	45.92	26.55	17.88	15.14

Tableau 2 Le besoin en eau d'un hectare de palmier : [19]

3.4. La hauteur manométrique HMT :

La hauteur manométrique totale (**HMT**) d'une pompe est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Elle est donnée par : [12].

$$HMT = Hg + Pc$$

Hg : hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation. Elle est calculée par la formule suivante : [12]

$$Hg = A + B + C$$

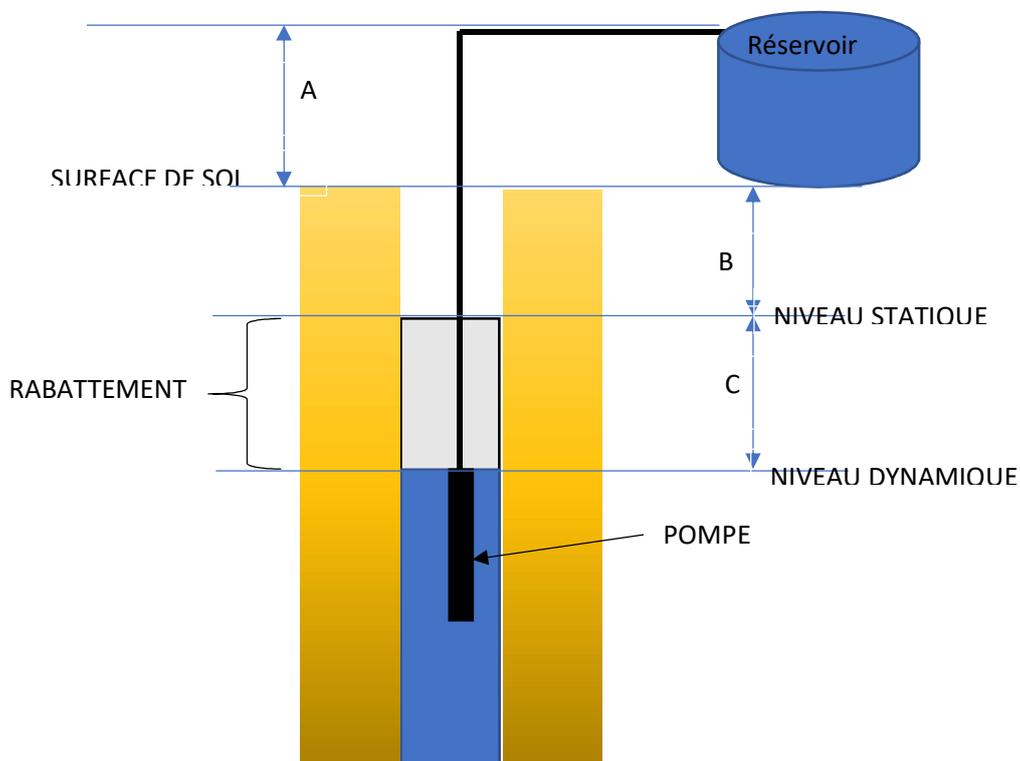


Figure 1 schéma descriptif d'un puits d'eau avec un réservoir

Le niveau 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

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

$$h_D = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (4.3)$$

Avec :

- 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)

Dans le cas où le système de tuyauterie aurait un autre type d'accessoires (vannes, coudes, tés, jonctions, ...), nous pouvons calculer les pertes de charge dans chaque élément additionnel comme :

$$P_{ch} = K_{ca} \frac{V^2}{2g} \quad (4.4)$$

Où K_{ac} est un coefficient dépendant du type d'accessoire. Dans le tableau 3, on donne une série de valeurs de K_{ac} pour différents accessoires.

Accessoire	Coefficient K_{ac}
Jonction du réservoir à tuyauterie connexion au ras de la paroi	0,5
Jonction de tuyauterie au réservoir	1,0
Coude 45°	0,35 à 0,45
Coude 90°	0,50 à 0,75
Tés	1,50 à 2,00
Vannes de contrôle (ouverte)	3,0

Tableau 3 valeurs de K_{ac} pour différents accessoires. : [17].

3.5. Dimensionnement de la pompe

Le débit crête Q (m^3/h) est calculé par la relation :

$$Q = \frac{3.6P_h}{g * HMT} \quad (4.5)$$

Où

P_h : puissance hydraulique nécessaire (W) g : accélération de la pesanteur ($9.81m/s^2$)

h : hauteur manométrique totale (m)

La puissance hydraulique crête (P_h) nécessaire en fonction de la puissance électrique crête fournie par le générateur photovoltaïque (P_e) est donnée par :

$$P_h = P_e \eta_{mp} \quad (4.6)$$

Où : η_{mp} rendement crête du sous-système moteur-pompe.

3.6. 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 [9]. Il est possible d'obtenir analytiquement les diamètres des tuyauteries de pompage qui s'approximent à ceux qui minimisent les coûts des installations par la formule de Bresse [7] :

$$D = K\sqrt{Q} \quad (4.7)$$

- D : diamètre de la tuyauterie (m)
- K : coefficient qui varie de 0,75 à 1,40
- Q : débit crête de la pompe (m^3/s)
- L'équation de continuité est :

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} V \quad (4.8)$$

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 :

$$V = \frac{4}{\pi K^2} \quad (4.9)$$

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

3.7. Calcul du champ photovoltaïque : [2]

L'énergie produite par un champ photovoltaïque est égale à :

$$EP = \frac{EC}{k} \quad (4.10)$$

Où :

Ec est l'énergie consommée (Wh/jour).

K un coefficient correcteur dépendant de l'incertitude météorologique, de l'inclinaison des modules solaires et du rendement global du système photovoltaïque. Sa valeur théorique est comprise entre 0.55 et 0.8 mais en pratique la valeur moyenne utilisée est de **0.79**, [19].

3.8. La puissance crête du générateur photovoltaïque :

La puissance crête du générateur photovoltaïque dépend de l'irradiation quotidienne du lieu d'utilisation :

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

Où I_r est l'irradiation moyenne journalière, estimée dans notre région à 5.71 kWh/m²/j.

3.9. Le nombre de modules photovoltaïques : [12]

Le nombre total de modules photovoltaïques est calculé en rapportant la puissance globale du champ à celle (P_M) d'un seul module :

$$N = P_c / P_M$$

Le nombre de modules connectés en série sera :

$$N_s = V / V_M$$

Le nombre de branches (modules en parallèle) :

$$N_p = N / N_s$$

Où V et V_M sont respectivement les tensions du système et du module

3.10. Choix de l'onduleur :

Les principales caractéristiques de l'onduleur sont estimées comme suit :

Paramètres	Caractéristiques de fonctionnement
Plage de fonctionnement	$80\% V_{nom} < V_e < 160\% V_{nom}$
Tension de sortie nominale	3Ph 380V
Courant d'entrée nominal	$I_{e\ nom} = I_{pV\ nom} = P_{pV} / V_{nom}$
Courant de sortie nominal	$I_{s\ nom} = I_{CH\ nom} = P_C / 380$
Rendement en puissance	95% à charge nominale P _{nom}
Surcharge admissible	115 % P _C
Courant de court-circuit	120% I _{nom}

Tableau 4 Les principales caractéristiques de l'onduleur : [20]

Le choix de la pompe :

On choisit la pompe en fonction du débit et de la hauteur manométrique totale [17], on calcule le débit horaire par la formule suivante :

$$Q_h = \frac{Q \frac{m^3}{jour}}{h} \quad (4.11)$$

Avec :h : nombre d'heures d'ensoleillement maximal (Environ 7 heures).

Q : débit voulu (67 m³/jour).

Ceci donne un débit horaire d'environ 10 m³/h. Sachant que la hauteur manométrique totale est de 100 m, alors on choisit la pompe immergée : GRUNDFOS SP17-15 [28], cette pompe et de rendement entre 50% et 65 %.

D'après les données de site et le besoin en eau, on a utilisé la méthode précédant pour deux modes de pose des panneaux PV :

- L'angle de panneaux c'est de 32° (l'angle d'altitude de la zone étude)
- L'angle de pose des panneaux variés selon le mois. Pour chaque mois un angle, pour une projection maximale.

Les résultats de calcul par les deux modes de pose des panneaux sont représentés dans les tableaux suivants :

mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	VAL MOYANNE	MOIS DEFAVORABLE
V[m3/jour/ha]	15	16.89	26.61	39.9	50.15	61.6	65.76	56.89	45.92	26.55	17.88	15.14	65.76	65.76
Ir Ouargla Kwh/m2/jour	5.031	5.701	6.09	6.138	5.825	5.902	6.206	6.306	5.789	5.611	5.016	4.857	5.71	4.857
pc[Wc]	1908.0	1896.0	2796.3	4160.0	5509.7	6679.3	6781.1	5773.4	5076.3	3028.1	2281.2	1994.8	7375.3	8664.5
N=Pv/Pm	8	8	11	17	22	27	27	23	20	12	9	8	29.50	35
Ns=540/30	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Np=N/Ns	0	0	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	2	2

Tableau 5 résultats de dimensionnement de système pour chaque mois et par les deux méthodes, à un angle fixe

mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	VAL MOYANNE	MOIS DEFAVORABLE
V[m3/jour/ha]	15	16.89	26.61	39.9	50.15	61.6	65.76	56.89	45.92	26.55	17.88	15.14	65.76	65.76
Ir Ouargla Kwh/m2/jour	6.157	6.347	6.11	6.45	6.5	6.95	7.16	6.77	6.01	5.99	6.209	5.27	6.33	5.27
angle Beta	61	52	36	17	0	-7	-4	11	29	47	59	62	/	/
pc	1559.1	1703.0	2787.1	3958.8	4937.5	5672.1	5877.6	5377.7	4889.7	2836.5	1842.9	1838.5	6651.5	7985.5
N=Pv/Pm	6	7	11	16	20	23	24	22	20	11	7	7	26.61	32
Ns=540/30	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Np=N/Ns	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	2

Tableau 6 résultats de dimensionnement de système pour chaque mois et par les deux méthodes, à un angle variable

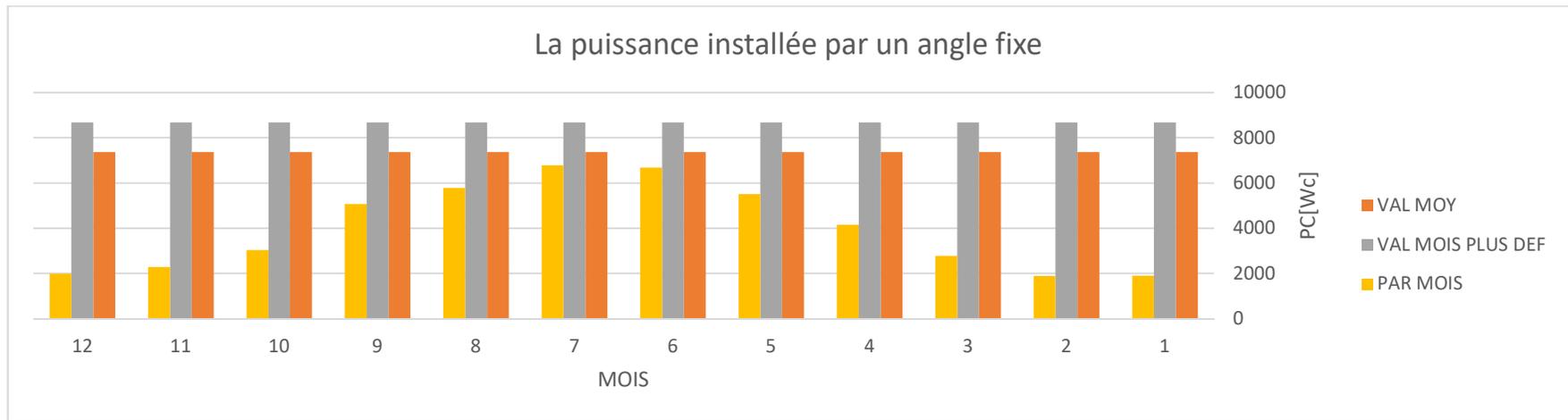


Figure 2 La puissance installée par un angle fixe

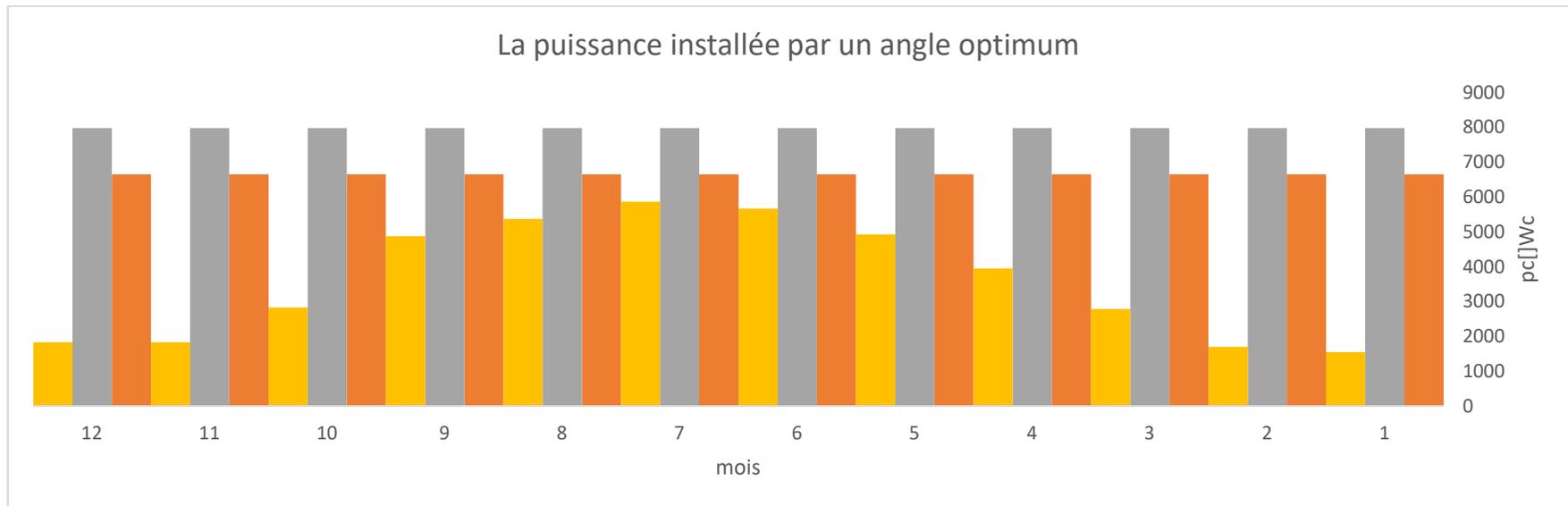


Figure 3 La puissance installée par un angle optimum

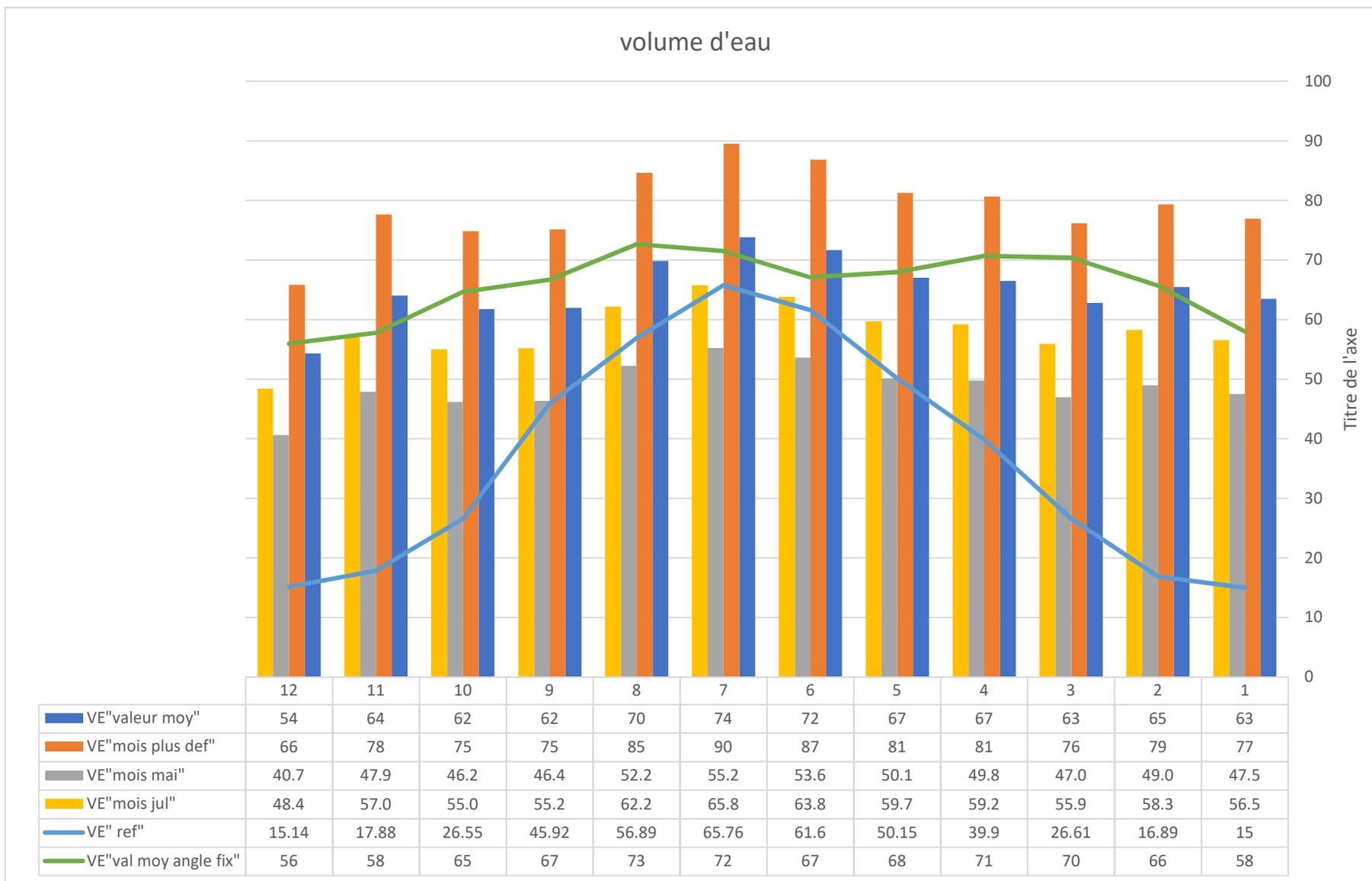


Figure 4 volume d'eau

D'après les résultats de tableau précédent nous avons constaté que les deux méthodes de dimensionnement donnant un système surdimensionné, mais la corrélation entre les besoin en eau et la production en eau dans le cas d'un système dimensionné selon les données solaire de mois de juillet (le mois le plus consommation d'eau) c'est le choix idéal pour le dimensionnement de ce système, donc la puissance Grete minimale a installé pour notre générateur est $P_c = 5.9Kwc$.

4. Pièce d'identité du matériel :

4.1. Pièce d'identité de motopompe

- **Type :** GRUNDFOS SP17-15
- **Débit nominal :** $17m^3/h$.
- **Tension d'entrée :** 400 V.
- **immersion :** Jusqu'à 123 m

4.2. Pièce d'identité de l'onduleur :

Le choix de l'onduleur dépend des caractéristiques électriques de la pompe alimenté (puissance, tension). Pour notre étude, l'onduleur choisi est [26]:

- **Type :** GRUNDFOS RSI 11Kw 800/380V

Où ;

4.3. Résultats de dimensionnement de générateur :

Energie hydraulique : $17031.84 Wh/jour$

Energie électrique : $47642 Wh/jour$

Puissance crêt : $5900Kw$

Nombre totale de modules : 24

Nombre de modules en série : 24

Nombre de modules en parallèle : 00

5. Évaluation financier et rentabilité de système :

Afin de valoriser les résultats issus de notre étude, il est indispensable de connaître certains coûts représentatifs de notre installation.

Pour une analyse économique précise de pompage de l'eau d'irrigation avec l'utilisation d'un générateur photovoltaïque en site saharienne une étude comparative doit être effectuée. Une comparaison de cette solution photovoltaïque avec les autres solutions concurrentes comme le raccordement à un réseau existant. Cette analyse demandera des moyennes logistiques importantes, telles que : Nombreuses informations sur les équipements, sur les paramètres influents sur le fonctionnement et l'exploitation de ces systèmes

5.1. Coût de l'installation d'alimentation avec ligne de Sonelgaz

Les Composants d'un système classique (alimentation Sonelgaz) :

- Conducteur almelec
- Support SB106(66/88)
- Support SB 96G99
- IACM De ligne
- Chaine de 3 éléments
- Chaine de 4 éléments
- Chaine éclateur
- Transformateur
- Accessoire

Le prix de construction d'une nouvelle ligne d'alimentation d'après SONELGAZ la facture pour un linge, MT de longueur de 0.63Km sans transformateur, est :

ANNEXE 01 : BORDEREAU DU PRIX

DESIGNATION DES TRAVAUX	Unité	Quantité	PRIX /UN	MONTANT
A-Travaux de raccordement en EE MT/A				
1:Réalisation d'une ligne MT/A (conducteur almelec 93,3mm2) MO+FU	Km	0,63	207 565,51	130 766,27
2:Support 106 BS G 66(MO+FU)	Un	1	89 997,42	89 997,42
3:Support 96 BS G 99 (MO+FU)	Un	2	201 353,58	402 707,16
4:Support 106 BS G 88 (MO+FU)	Un	3	160 564,84	481 694,53
5:IACM de ligne 36 Kv 25A (MO+FU)	Un	1	229 476,74	229 476,74
6:Dépose des support métallique(MO)	Un	3	5 794,22	17 382,65
7:Mise à la terre des supports (MO)	Un	6	2 578,91	15 473,46
08:mise à la terre parafoudre des éclateurs (MO)	Un	1	3 051,34	3 051,34
9:mise à la terre des support interrupteur/sectionneur (MO)	Un	1	3 573,78	3 573,38
10:chaîne à 3 éléments (MO+FU)	Un	5	5 223,13	26 115,67
11:chaîne éclateur (MO+FU)	Un	3	10 122,45	30 367,34
12:chaîne à 4 éléments (MO+FU)	Un	18	7 011,54	126 207,72
13:démolition des massifs de fondation 106 BS G 66 (MO)	M3	0,3	8 431,50	2 529,45
14:démont/dép/récup-interrupteurs sectionneurs aérien (MO)	Ens	1	10 421,25	10 421,25
15:démont/dép/récup-dépose et recuperation en élément (MO)	Ens	3	191,75	575,25
16:démont/dép/récup-dépose dépose conducteur en ALMELEC (MO)	Ens	0,738	12 327,64	9 097,80
17:F825 ALU/ALU 93,3 mm2 (MO+FU)	Un	3	1 871,36	5 614,09
18:boulon galvanise tete hexagonale EH 14X35 MM	Un	38	11,62	441,67
19:Transport :	Un	1	10 500,00	10 500,00
20:armement nappe -voute et armements ancrage (MO+FU)	Kg	455	172,298	78395,59
21:dépose conducteur almelec (MO)	Km	0,576	207565,503	119557,73
TOTAL (A)				1 793 946,51

Come le montre la table au-dessous le prix de réalisation est de 1 793 946 .51 DZD Ce montant couvert 0.63Km ce que signifier pour réaliser une ligne de 1km il faut payer une somme de 2 847 533 DZD et avec un prix supplémentaire d'un transformateur 16kva de 149,682.22DZD et le prix d'un pompe immergé 918 000.00DZD ; soit un montant total = le nombre de KM* 2 847 533 + 149,682.22+ 918 000.00

Par exemple pour 1KM le montant total =3 915 215.22DZD. Et un montant de facteur annuel 60 000 DZD, et avec une consommation d'eau annuel égale à 17550.3m³ donc le prix d'un mètre cube par le système classique et de 3 975 215/17550=**226,5DZD** cela pour la première année à partir de deuxième année nous devons payer la facturation de la consommation.

Pour notre exemple 60 000/17550= **3.41 DZD** /an.

5.2. Coût d'une installation alimenté par un système PV

Les composants d'un système photovoltaïque de pompage d'eau au fil de soleil sont:

- 1) Les panneaux photovoltaïques
- 2) L'onduleur
- 3) Le groupe motopompe

La facture suivant (tableau N°7) montre le prix total de l'installation de pompage PV pour une puissance crêt de générateur de 12,5kw, qui peut être fournie par la société SCET Energie. Voir Annex 01

Designation de la fourniture	Qte	PU HT	PT HT
GRUNDFOS SP 17-15	1	918 000.00	918 000.00
GRUNDOS RSI 11KW	1	394 400.00	394 400.00
GENERATEUR SOLAIRE 12.5KW	1	1 324 800.00	1 324 800.00
Prix Total HT			2 637 200.00
TVA 19%			501 068.00
Prix TTC			3 138 268.00

Tableau 7 Prix d'une installation de pompage

Nous estimons le prix total de l'installation pour une puissance crêt de 5.9 kW à 2 223 891.04 DZD. Donc Le prix d'un mètre cube d'eau pompé par le SPPV est $2\ 223\ 891.04 / 17550 = 126.71$ DZD pour le 1ere année. À partir de deuxième année le free de mètre cube et gratuite, avec un faible travail de maintenance pour un meilleure fonctionnement de système, voir le tableau N°8.

soint un 1KM de ligne	système classique	système pV
prix de installation	.د.ج. 3,915,215.22	.د.ج. 2,223,891.04
la facturation anualle	.د.ج. 60,000.00	0
consommation d'eau annuel [M3]	17550	
prix de M3 pour le 1ere année	.د.ج. 226.51	.د.ج. 126.72
prix de M3 a partire de 2eme année	.د.ج. 3.42	**

Tableau 8 Résultats de comparaison des prix

•Discussion :

Le raccordement à un réseau électrique par extension de lignes permet en théorie d'accéder à un confort complet. La réalité n'est pas si simple parce que, les coûts des lignes électriques sont très élevés, suivant les spécifications et les conditions locales.

Les résultats obtenus de première vue, montrent que le prix du m³ d'eau pompée par utilisation du système photovoltaïque de pompage est très proche du prix du m³ d'eau pompée par utilisation du réseau dans le cas de réalisation de 1km de ligne aérienne MT.

Dans le cas du réseau le prix de l'énergie est lié à :

- L'éloignement de première ligne existante car le prix de raccordement est très élevé
- L'augmentation du prix de l'énergie active (la facturation).

Dans le cas de pompage photovoltaïque

- L'influence de l'éloignement sur le prix de l'énergie est négligeable.
- Le prix de l'énergie est lié directement à l'ensoleillement moyenne journalière, situation favorable pour notre région d'étude et il est lié aux prix des modules solaires, ces prix vont baisser dans les prochaines années.

Conclusion :

Dans ce travail, nous avons dimensionné un système de pompage photovoltaïque destiné à l'irrigation des palmiers dans la région de Ouargla.

La présentation des différentes possibilités pour chacun des éléments nous permet de faire un choix en se basant sur des critères techniques. Cependant, pour la mise en œuvre d'un programme d'équipements pompe ces critères sont insuffisants : Il nous faut tenir compte de deux autres facteurs.

Le premier est d'ordre économique. Nous ne pouvons préconiser une solution techniquement intéressante, mais d'un prix de revient élevé.

Il nous faut aussi envisager la disponibilité du matériel et la possibilité de disposer d'une gamme étendue de pièces pour notre système.

Les deux contraintes, outre celles énoncées précédemment en plus les données climatiques de la région et les besoins énergétiques nécessaires pour satisfaire les besoins en eau d'irrigation. Étant donné que la région étudiée est une région à fort taux d'ensoleillement, nous avons adopté le pompage sans stockage d'énergie (pompage au fil du soleil) qui offre une très grande simplicité d'exploitation.

Les résultats de notre calcul pour l'évaluation du coût du système de pompage (PV) montrent que le coût du mètre cube d'eau peut être changé, parce que plusieurs facteurs peuvent influencer ces résultats, car les variations potentielles des paramètres sont trop importantes donc notre calcul permet simplement de situer le niveau des coûts.

Pour le futur plusieurs facteurs laissent prévoir une diminution des frais d'investissement et une amélioration de la compétitivité du pompage photovoltaïque telle que :

L'amélioration de la conception et l'adéquation entre les composants du système (l'optimisation de fonctionnement de système), amenant un accroissement du rendement et une diminution de la taille requise pour les panneaux.

Table des matières

1.Introduction :	44
2.Les méthodes de dimensionnement	44
2.1 La méthode du mois le plus défavorable :	44
2.2. La méthode de la moyenne annuelle :	44
3.Technique de dimensionnement :	44
3.1Détermination de la charge (calcul de l'énergie quotidienne requise) :	45
3.2. Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire	45
3.3. Le volume d'eau(V) :	45
3.5. Dimensionnement de la pompe	48
3.6. Dimensionnement des tuyauteries	48
3.7. Calcul du champ photovoltaïque :	49
3.8. La puissance crête du générateur photovoltaïque :	49
3.9. Le nombre de modules photovoltaïques :	49
3.10. Choix de l'onduleur :	50
4. Pièce d'identité du matériel :	53
4.1. Pièce d'identité de motopompe	53
4.2. Pièce d'identité de l'onduleur :	53
5. Évaluation financier et rentabilité de système :	54
Conclusion :	53
Tableau 1irradiation solaire enregistrée à une année (ouargla).....	44
Tableau 2 Le besoin en eau d'un hectare de palmier :.....	45
Tableau 3valeurs de K_ac pour différents accessoires. :	47
Tableau 4 Les principales caractéristiques de l'onduleur :.....	50
Tableau 5 résultats de dimensionnement de système pour chaque mois et par les deux méthodes, à un angle fixe.....	52
Tableau 6 résultats de dimensionnement de système pour chaque mois et par les deux méthodes, à un angle variable	52
Tableau 7 Prix d'une installation de pompage	56
Tableau 8 Résultats de comparaison des prix.....	57
Figure 1 schéma descriptif d'un puits d'eau avec un réservoir.....	46
Figure 2 La puissance installée par un angle fixe.....	53
Figure 3 La puissance installée par un angle optimum.....	53
Figure 4 volume d'eau.....	54

Conclusion générale

Conclusion générale :

Dans ce travail, nous avons dimensionné un système de pompage photovoltaïque destiné à l'irrigation des palmiers dans la région de Ouargla.

La présentation des différentes possibilités pour chacun des éléments nous permet de faire un choix en se basant sur des critères techniques. Cependant, pour la mise en œuvre d'un programme d'équipements pompe ces critères sont insuffisants : Il nous faut tenir compte de deux autres facteurs.

Le premier est d'ordre économique. Nous ne pouvons préconiser une solution techniquement intéressante, mais d'un prix de revient élevé.

Il nous faut aussi envisager la disponibilité du matériel et la possibilité de disposer d'une gamme étendue de pièces pour notre système.

Les deux contraintes, outre celles énoncées précédemment en plus les données climatiques de la région et les besoins énergétiques nécessaires pour satisfaire les besoins en eau d'irrigation. Étant donné que la région étudiée est une région à fort taux d'ensoleillement, nous avons adopté le pompage sans stockage d'énergie (pompage au fil du soleil) qui offre une très grande simplicité d'exploitation.

Les résultats de notre calcul pour l'évaluation du coût du système de pompage (PV) montrent que le coût du mètre cube d'eau peut être changé, parce que plusieurs facteurs peuvent influencer ces résultats, car les variations potentielles des paramètres sont trop importantes donc notre calcul permet simplement de situer le niveau des coûts.

Pour le futur plusieurs facteurs laissent prévoir une diminution des frais d'investissement et une amélioration de la compétitivité du pompage photovoltaïque telle que :

L'amélioration de la conception et l'adéquation entre les composants du système (l'optimisation de fonctionnement de système), amenant un accroissement du rendement et une diminution de la taille requise pour les panneaux.

Bibliographie

- [1] : A. Moumi, N. Hamani, N. Moumi et A. Z. Mokhtari, « Estimation du rayonnement solaire par deux approches semi empiriques dans le site de Biskra », Centre Universitaire de Béchar–Algérie, 11 et 12 Novembre 2006.
- [2]: F. Lasnier, T. G. Ang, « Photovoltaic Engineering Handbook », IOP Publishing Ltd. 1980.ISBN 0-85274-311-4.
- [3] : Djarallah, Mohamed, "Contribution a l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couplés au réseau électrique," université de Batna, Thèse de Doctorat en Science, 2008.
- [4] : B. Mohammed, "Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque autonome," Centre Universitaire De Bechar Mémoire de Magister, 2007-2008.
- [5]: K. Benlarbi, L. Mokrani, M. S. Nait-Said, « A fuzzy global efficiency optimization of a photovoltaic water pumping system », a LSPIE Laboratory, Electrical Engineering Department, Engineering Science Faculty, Batna University, 2004
- [7] : Mohamed Lakhdar LOUAZENE, « Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla », Thèse de Magister de université El Hadj Lakhdar – Batna 2008
- [8]:A. Oi. « Design and simulation of photovoltaic water pumping system », These de Doctorate, California Polytechnic State University San Luis Obispo, 2005
- [9]: A. C. Pastor, "Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques," Institut National de Science Appliquée de Toulouse Thèse de doctorat.
- [10]: M. Angel, C. Pastor, « Conception et réalisation de modules Photovoltaïque électroniques », Thèse de Doctorat « Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.
- [11] : M. SLAMA Fateh, « Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique », Thèse de Magister de l'université Ferhat Abbas - Sétif-
- [12] : B. Molle, « Les stations de pompage individuelle pour l'irrigation », juin 1996.
- [13] : J. Royer, T. Djako, « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa, 2002.
- [14] : Y. Pankow, « Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension. Application au générateur photovoltaïque », Thèse de Doctorat de l'Ecole Doctorale de L'ENSAM ED432, 2004
- [15] : B. Multon, H. B. Ahmed, N. Bernard, « les moteurs électriques pour applications de grande série », Pierre-Emmanuel CAVAREC Antenne de Bretagne de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, Revue 3EI juin 2000.
- [16] : J. Royer, T. Djako, « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa.
- [17] : A. Hadj Arab, M. Benghanem et A. Gharbi, « Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque », Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19 – 26.
- [18] : Atlas d'Algérie extrait d'internet par le site de Ministre des énergies et des mines (consulté le 00/00/2010) « irradiation global journalière reçus sur un plan horizontal au moins de juillet)
- [19] : A. DJAFOUR, « Etude d'une station de pompage photovoltaïque dans une région saharienne », Thèse de magistère, université de Ouargla, 2000.

[20] : 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.

[21] : B. Bouzidi et A. Malek, « Analyse économique des systèmes énergétiques-station de pompage », Rev.Energ. Ren : ICPWE (2003)53-60.

[22]:B. Chabot from cost to prices: « Economic analysis of PV energy and services progress in photovoltaics research and applications », Vol 6. P55-68 (1998).

[23]: La nouvelle technique comptable : L .GUIZARD et C.PEROCHON. Les éditions Foucher - Paris.

[24] : Site de ministère de l'énergie <http://www.energy.gov.dz> (Consulté en Mai 2017)

[25] : <https://www.solaris-store.com> (Consulté en Mai 2017)

ANNEXE N°01

SARL SCET ENERGIE



Capital sociale 509 200 000.00 DZD

Cité 498 logts BT N°11 Local 03 Bab-ezzouar Alger/ Zone industrielle de rouiba Lot,W Alger

Tèl. : 021 24 70 66-021 24 85 02/ 023 86 22 11-023 86 22 14-023 86 22 13

Fax: 021 24 85 93/023 86 22 15-023 86 22 12

Alger le : 03/06/2018

Proforma N°:16-ALY-18

Client: EURL ABC
Adresse: OUARGLA
Tel: 671 568 326
Mail : Az0658649986@gmail.com

Designation de la fourniture	Qte	PU HT	PT HT
GRUNDFOS SP 17-15	1	918 000.00	918 000.00
GRUNDOS RSI 11KW	1	394 400.00	394 400.00
GENERATEUR SOLAIRE 12.5KW	1	1 324 800.00	1 324 800.00
Prix Total HT			2 637 200.00
TVA 19%			501 068.00
Prix TTC			3 138 268.00

Validité de l'offre : **Un (01) mois**

Délai de livraison : **Quatorze (14) semaines a reception de commande.**

Garantie : **12 Mois**

Modalité de paiement : **100% à la livraison - cheque certifier ou virement bancaire**

Lieu de livraison : **Zonne Industrielle Rouiba**