

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologies

Projet de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme de

LICENCE

Domaine : Sciences et Technologies

Spécialité : Hydraulique

Thème

POMPAGE SOLAIRE

- **CHERIF NOURA.**
- **BEN TAYEB FATMA ZOHRA.**

Jury:

Mr. LOTFI BENADDA

Maître Assistant A

Univ. Ghardaïa **Encadreur**

Mr. Kifouche Abdessalam

Maître Assistant A

Univ. Ghardaïa **Examineur**

Année université 2014/2015

DÉDICACES

Je voudrais dédicacer ce travail à mes chers parents, qui m'ont encouragé à aller de l'avant et qui m'ont donné tout leur amour.

Que Dieu leurs accorde une longue vie.

A mes frères YOUCEF, ABDELKRIM, ABDELWAHAB.

A mes sœurs : MERIEM, RAZIKA, HOUDA

A ma belle-sœur : MARWA, ASMAA.

A mes nièces : OKBA, FERDOUS, ISRAA RITADJ, MOHAMED ABDELFETAH, ASSEM ABDEL DJABAR, MALAK RAHAF.

A tous mes profs qui pendent trois ans m'ont encouragé pour réussir mes études.

A tous mes collègues dans la formation Humane Verve Energie Diplôme :
Dr.LBENCHI, AHMED, ABDELFATTAH, CHOUAIB.

A ma meilleure amie FATIMA. Ainsi que tous mes collègues de la promotion 2015.

A mes amis : RAHMA, ASMAA, SAADIA, HADJER, ZINEB, RABIA, IMAN, RACHIDA, FADILA, MARWAN.

Une spéciale dédicace à une personne qui a été très paternaliste avec moi :
Mr. LOTFI BENADDA.

A ma famille et toutes les personnes que j'aime.

Trouvez dans ce modeste travail mes sincères gratitude et reconnaissance.

CHERIF NOURA



DÉDICACES

Je dédie ce travail de fin d'étude à ma famille, ma mère Aicha et mon père Ahmed, Pour leur patience, conseils, aident et aussi de m'avoir encourager à la réalisation de ce modeste travaille.

Mon frère Almi et mes sœurs : Naima, Ahlam, Nabila, Asma, Hadjer, Ouahiba

A toute ma famille et mes amis : Halima, Massouda, Khawla, Wafa ,Hafida, Nadia, Nassira, Nassima, Chaima, Lamia, Zahra, Asma, ma chère Noura et tout mes collègues notamment les étudiants de la 3^{ème} année hydraulique merci pour les bons moments qui ont contribué à rendre ces années inoubliables. Bonne chance à tous.

Mon encadreur qui m'a soutenu le long de mes travaux Mr. BENADDA
LOTFI.

BEN TAYEB FATMA ZOHRA

Remerciements

Notre remerciement s'adresse en premier lieu à Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant ces longues années.

Nous remercions le promoteur Mr. LOTFI BENADDA, pour toute l'aide qu'il nous a apporté avec ses encouragements et les orientations dans ce travail. Sa rigueur scientifique et sa sincérité seront toujours pour nous un modèle.

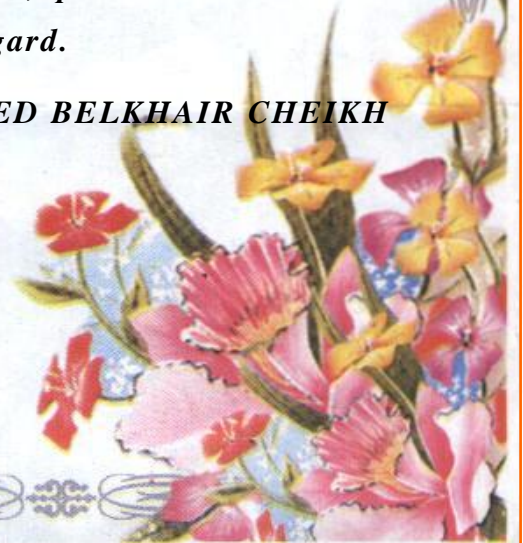
Nous tenons particulièrement à remercier Monsieur KIFOUCHE ABDESSALAM pour son attention portée à notre travail et d'avoir accepté son contrôle.

Nous exprimons notre profonde gratitude à Mr. le directeur de L'URAER et un remerciement particulier au chef l'unité Mr. BEKKOUCHE AMINE.

Nous adressons nos remerciements, à tout le personnel de laboratoire UREAR pour leur aide, dynamisme ainsi que l'ambiance chaleureuse, surtout le chef de laboratoire Mr. LHACHEMI AMMAR.

Nos vifs remerciements s'adresse également au chef de département Dr. HADJ SAYAD ABDELKADER, pour toute l'aide et l'intérêt qu'ils n'ont cessé de témoigné a nos égard.

Nous remercions également Mr. OULED BELKHAIR CHEIKH pour toute l'aide et l'encourager.



Résumé

De nos jours, l'utilisation des énergies fossiles devient de plus en plus une énigme aux décideurs politiques surtout en Algérie où bon nombre de sociétés électriques dépendent de l'exploitation du pétrole. De plus en plus a la nécessité d'assurer une continuité de service, de maîtriser l'énergie.

Parmi cette alternative aux énergies fossiles, l'énergie solaire photovoltaïque demeure la solution idéale pour les contrées isolées ou en développement. En effet dans les pays en voie de développement, la demande en eau est très forte avec parallèlement en une disponibilité en rayonnement solaire tout aussi impressionnante. Le pompage solaire est ainsi une alternative optimal.

Abstract

Nowadays, the use of fossil fuels is becoming more and more an enigma to policy makers especially in Algeria and many power companies depend on the exploitation of oil. More and more has the need to ensure continuity of service, control energy. Among the alternative to fossil fuels, solar PV is still the ideal solution for isolated areas or developing.

Indeed, in developing countries, water demand is very strong in parallel with solar radiation availability equally impressive. The solar pumping is thus an optimal alternative.

ملخص

في الوقت الحاضر، استخدام الوقود الأحفوري أصبحت أكثر وأكثر لغزا لصانعي السياسات خاصة في الجزائر والعديد من شركات الطاقة تعتمد على استغلال النفط. المزيد والمزيد من لديه الحاجة إلى ضمان استمرارية الخدمة، والطاقة السيطرة. بين بديلا للوقود الأحفوري، والطاقة الشمسية الكهروضوئية لا يزال هو الحل الأمثل للمناطق معزولة أو النامية. في الواقع، في البلدان النامية، الطلب على المياه قوية جدا بالتوازي مع توفر الإشعاع الشمسي نفس القدر من الإعجاب. ضخ الطاقة الشمسية وبالتالي بديلا الأمثل

Liste des figure

| <i>Nom de figure</i> | <i>N° de page</i> |
|--|-------------------|
| <i>Figure N°01 : Schéma de fonctionnement d'une pompe pour eaux usées</i> | <i>08</i> |
| <i>Figure N°02 : Exemple de Photo d'une pompe (type immergée)</i> | <i>08</i> |
| <i>Figure N°03 : Pompe à piston</i> | <i>15</i> |
| <i>Figure N°04 : Pompe Centrifuge Avec Vannes Isolement</i> | <i>15</i> |
| <i>Figure N°05 : Pompe Volumétrique A Membrane (Alternative)</i> | <i>16</i> |
| <i>Figure N°06 : pompe volumétrique (rotative)</i> | <i>16</i> |
| <i>Figure N°07 : Système de pompage solaire</i> | <i>19</i> |
| <i>Figure N°08 : Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables URAER Ghardaïa</i> | <i>22</i> |
| <i>Figure N°09 : Salle de lecture de l'URAER</i> | <i>24</i> |
| <i>Figure N°10 : Circuit hydraulique du banc d'essais</i> | <i>28</i> |
| <i>Figure N°11 : Générateur photovoltaïque</i> | <i>29</i> |
| <i>Figure N°12 : Image du data logger et ordinateur</i> | <i>30</i> |
| <i>Figure N°13 : Variation HMT en fonction au débit</i> | <i>31</i> |
| <i>Figure N°14 : Variation HMT en fonction au débit</i> | <i>32</i> |
| <i>Figure N°15 : Variation Rendement en fonction à la puissance</i> | <i>32</i> |
| <i>Figure N°16 : Variation Rendement en fonction à la puissance.</i> | <i>33</i> |
| <i>Figure N°17 : HMT globale des deux pompes</i> | <i>33</i> |
| <i>Figure N°18 : Rendement des pompes</i> | <i>34</i> |

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| INTRODUCTION GENERALE..... | 2 |
| PROBLEMATIQUE..... | 5 |
| 1. PARTIE THEORIQUE..... | 6 |
| 1.1.CLASSIFICATION DES POMPES..... | 7 |
| 1.2.PRINCIPE..... | 7 |
| 1.3.CATEGORIES DES POMPES..... | 9 |
| 1.3.1. LES POMPES CENTRIFUGES..... | 9 |
| 1.3.1.1.PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT..... | 9 |
| 1.3.1.2. AMORÇAGE..... | 9 |
| 1.3.1.3. CARACTERISTIQUES..... | 10 |
| 1.3.1.4. UTILISATION..... | 10 |
| 1.3.1.5. ROUE DE LA POMPE CENTRIFUGE..... | 11 |
| 1.3.2.POMPES VOLUMETRIQUES..... | 11 |
| 1.3.2.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT ET GENERALITES..... | 11 |
| 1.3.2.2. POMPES VOLUMETRIQUES ROTATIVES..... | 12 |
| 1.3.2.3. POMPES VOLUMETRIQUES ALTERNATIVES..... | 14 |
| 1.4.COMPARAISON DES POMPES CENTRIFUGES ET VOLUMETRIQUES..... | 14 |
| 1.5.LE POMPAGE SOLAIRE..... | 17 |
| 1.5.1.HISTORIQUE..... | 17 |
| 1.5.2.PRINCIPES GENERAUX DU POMPAGE SOLAIRE..... | 17 |
| 1.5.3.CONSTITUTION DU POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE..... | 18 |
| 1.5.4.PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT..... | 19 |
| 2. PARTIE PRATIQUE..... | 20 |
| 2.1.INTRODUCTION..... | 21 |
| 2.2.PRESENTATION DE L'URAER..... | 21 |
| 2.3.ORGANISATION SCIENTIFIQUE..... | 22 |
| 2.4.FORMATION..... | 23 |
| 2.5.PRESTATIONS DE SERVICES..... | 24 |
| 2.6.MATERIELS ET METHODES..... | 25 |
| 2.6.1.MATERIELS UTILISE..... | 25 |
| 2.6.2.METHODE UTILISEE..... | 26 |
| 2.6.2.1.DESCRPTION DU BANC D'ESSAIS DU SYSTEME DE POMPAGE PV DE L'URAER..... | 26 |
| 2.6.2.2.ARMOIRE DE VISUALISATION..... | 27 |
| 2.6.2.3.ARMOIRES DE CONNEXION ET DE CONFIGURATION..... | 29 |
| 2.6.2.4.ALIMENTATION DU SYSTEME DE POMPAGE..... | 29 |
| 2.6.3. ACQUISITION DE DONNEES..... | 30 |
| 2.6.4. CARACTIRISTIQUE LES DEUX POMPES UTILISEES..... | 30 |

| | |
|---|----|
| 2.7.RESULTATS ET DISCUSSIONS..... | 31 |
| 2.7.1.VARIATION HMT EN FONCTION AU DEBIT..... | 31 |
| 2.7.1.1. LA POMPE CENTRIFUGE GRUNDFOS SQF5A-6 | 31 |
| 2.7.1.2.LA POMPE VOLUMETRIQUE WATER MAX WA..... | 32 |
| 2.7.2.VARIATION DU RENDEMENT EN FONCTION DE LA PUISSANCE..... | 32 |
| 2.7.2.1.LA POMPE CENTRIFUGE GRUNDFOS SQF5A-6..... | 32 |
| 2.7.2.2.LA POMPE VOLUMETRIQUE WATER MAX WA..... | 33 |
| 2.7.3.COMPARAISON DES DEUX POMPES HMT = F(DEBIT)..... | 33 |
| 2.7.4.COMPARAISON DES DEUX POMPES RENDEMENT EN FONCTION DE LA PUISSANCE..... | 34 |
| SYNTHESE GENERALE..... | 35 |
| BIBLIOGRAPHIE..... | 37 |

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Une pompe est une machine qui transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique. L'énergie mécanique est elle-même produite par un moteur électrique, thermique, etc. Comme une pompe ne peut se passer de moteur, on associe moteur et pompe lorsque l'on parle d'électropompe, de motopompe ou encore de pompe manuelle. Lors du pompage d'un liquide, la pompe ne doit pas seulement fournir une pression équivalente à celle correspondant à la différence de niveaux entre l'aspiration et le refoulement (hauteur géométrique d'élévation totale), mais également la pression nécessaire pour vaincre les pertes de charge dans les conduites d'aspiration et la tuyauterie de refoulement. On peut lire sur la courbe réseau le point de fonctionnement de la pompe : le débit et la pression fournie. On suppose, bien sûr, que par sa construction et la puissance de son moteur, la pompe soit effectivement capable de fournir le travail (l'énergie) demandé.

On peut très bien imaginer que la pompe au contraire, ne puisse pas accepter la pression imposée (qu'elle casse ou éclate sous l'effet de cette pression) ou que la puissance en jeu soit supérieure à ce que peut délivrer son moteur (donc qu'il cale).

Une pompe doit avoir des caractéristiques de débit et de hauteur compatibles avec celles du réseau. Ces caractéristiques sont illustrées sur la courbe débit/hauteur de la pompe qui est fournie par le constructeur.

Des pompes à eau solaires sont particulièrement conçues pour employer l'énergie solaire efficacement. Les pompes conventionnelles exigent le courant continu constant par rapport à ce que fournissent le réseau électrique ou les générateurs tels que groupe électrogène, motopompe.

Les pompes solaires emploient le courant continu des batteries et des panneaux photovoltaïques. En outre, elles sont conçues pour fonctionner effectivement pendant des états à faible niveau d'éclairement, sous tension réduite, sans perte de vitesse ou surchauffe.

Bien qu'un éventail de tailles soit disponible, la plupart des pompes utilisées dans des applications de bétail-arrosage sont bas volume. Le

pompage à faible volume réduit le coût du système en employant un nombre minimum de panneaux solaires et en employant la journée pour pomper l'eau ou pour charger des batteries.

Quelques pompes solaires sont entièrement submersibles, alors que d'autres ne sont pas. L'utilisation des pompes submersibles élimine des problèmes potentiels d'amorçage.

Dans ce mémoire, on s'est intéressé au pompage solaire, ainsi pour l'établir nous avons effectué un stage pratique à l'unité de recherches appliquées aux énergies renouvelables, où nous avons effectué une comparaison du pompage solaire sur deux types de pompes.

PROBLEMATIQUE

PROBLEMATIQUE

Le potentiel énergétique solaire en Algérie est très important, la moyenne annuelle de l'éclairement solaire sur une surface inclinée est environ 7 KWh/m²/jour [1].

L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non polluante, et son utilisation offre un approvisionnement en énergie inépuisable.

Etant donné que l'approvisionnement en eau pour les besoins domestiques et d'irrigation reste le souci quotidien des habitants des zones enclavées et sahariennes, les systèmes de pompage photovoltaïque sont particulièrement bien adaptés pour l'alimentation en eau à partir des puits ou des forages.

Plusieurs systèmes de pompage sont installés en Algérie surtout pour l'alimentation en eau potable.

Ces installations ont été effectuées par les opérateurs publics et privés afin de contribuer au développement socioéconomique de ces régions.

Toutefois, vu les différents types de pompage, il est primordiale de bien connaître le type de pompage le plus adapté à l'énergie solaire.

Ainsi, dans ce travail, nous avons effectué une étude sur le pompage solaire, en faisant la comparaison entre deux type de pompes, en l'occurrence la pompe centrifuge et la pompes volumétrique.

Raison pour laquelle, notre travail s'articule sur deux volets ; le premier théorique sur les systèmes de pompage, quant-au second est expérimental sur le pompage solaire en appliquant ce type de refoulement solaire sur un banc d'essai comportant deux pompe, une centrifuge et l'autre volumétrique, au niveau de l'URAER.

PARTIE THEORIQUE

1.1. CLASSIFICATION DES POMPES

On peut classer les pompes de plusieurs façons. Principalement, sur les mouvements retransmis aux organes des pompes, qui sont comme tous les mouvements mécaniques de deux grands types :

- ❖ Rotatif ;
- ❖ Rectiligne (alternatif).

Le mode de déplacement du fluide au travers des pièces en mouvement de la pompe et leur fonction permet de classer les pompes en plusieurs familles :

- ❖ Pompes de transfert :
 - ✓ Pompe rotative - axiale.
 - ✓ Pompe rotative - centrifuge.
- ❖ Pompes de dosage :
 - ✓ Pompe rotative - volumétrique.
 - ✓ Pompe alternative - volumétrique.
 - ✓ Pompes à queue.

1.2. PRINCIPE

Le principe de la pompe est apparu dès que l'homme a su construire un habitat artificiel pour se protéger des éléments naturels. Le besoin en eau nécessaire à sa survie l'obligea à trouver un système de transport de cette eau, du puits ou de la rivière à son habitat. Il faudra attendre la fin du XVIII^e siècle pour que les premières pompes soient réellement construites et utilisées.

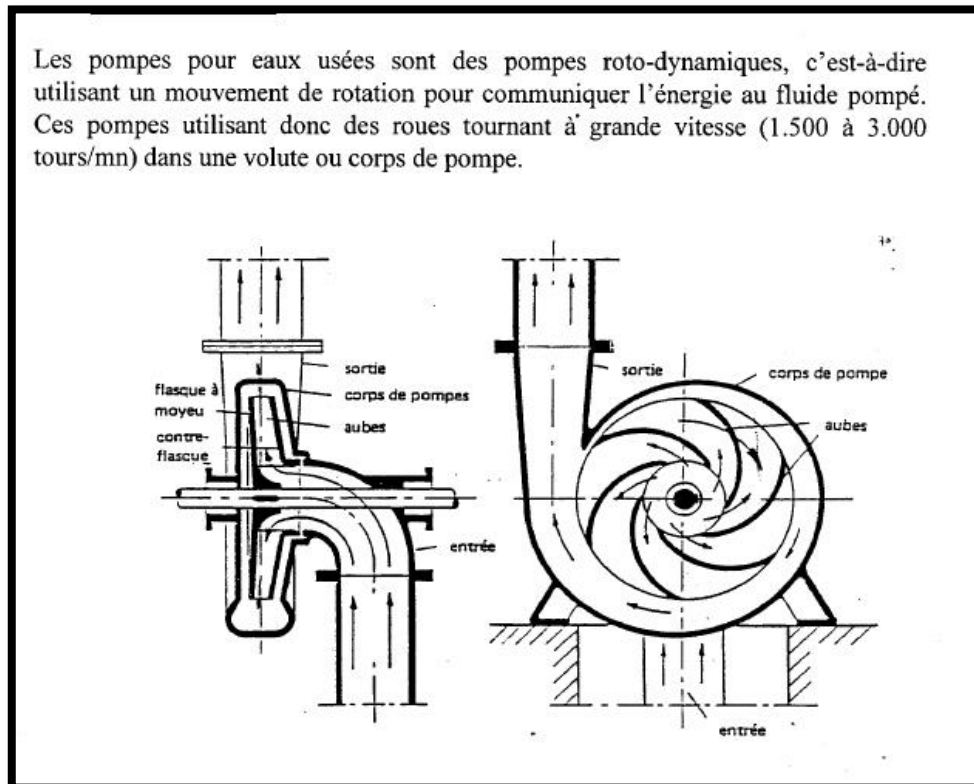


Figure N°01 - Schéma de fonctionnement d'une pompe pour eaux usées



Figure N°02 - Exemple de Photo d'une pompe (type immergée)

1.3. CATEGORIES DES POMPES

Généralement les pompes véhiculant des liquides se divisent en deux catégories principales :

- ❖ Les pompes centrifuges dont Le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge.
- ❖ Les pompes volumétriques dont l'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide.

1.3.1. LES POMPES CENTRIFUGES

1.3.1.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Une pompe centrifuge est constituée par :

- ❖ Une roue à aubes tournant autour de son axe ;
- ❖ Un distributeur dans l'axe de la roue ;
- ❖ Un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelée volute.

Le liquide arrive dans l'axe de l'appareil par le distributeur et la force centrifuge le projette vers l'extérieur de la turbine. Il acquiert une grande énergie cinétique qui se transforme en énergie de pression dans le collecteur où la section est croissante. L'utilisation d'un diffuseur (roue à aubes fixe) à la périphérie de la roue mobile permet une diminution de la perte d'énergie.

1.3.1.2. AMORÇAGE

Les pompes centrifuges ne peuvent s'amorcer seules. L'air contenu nécessite d'être préalablement chassé. On peut utiliser un réservoir annexe placé en charge sur la pompe pour réaliser cet amorçage par gravité.

Pour éviter de désamorcer la pompe à chaque redémarrage il peut être intéressant d'utiliser un clapet anti-retour au pied de la canalisation d'aspiration.

1.3.1.3. CARACTERISTIQUES

Les hauteurs manométriques totales fournies ne peuvent dépasser quelques dizaines de mètres. Pour dépasser ces valeurs on utilise des pompes centrifuges multicellulaires où plusieurs roues sont montées en série sur le même arbre. Le refoulement d'une des pompes communique avec l'aspiration de la pompe suivante

Il est également possible de coupler en série plusieurs de ces pompes.

Le rendement est de l'ordre de 60 à 70 % : il est inférieur à celui des pompes Volumétriques.

Les pompes centrifuges vérifient des lois (lois de similitude) qui à partir d'une courbe caractéristique établie pour une vitesse de rotation N de la roue de la pompe permettent d'obtenir la caractéristique pour une vitesse de rotation N' quelconque.

Si on connaît pour une vitesse N, le débit Q_vN , la hauteur manométrique totale H_tN et la puissance absorbée P_N , on sait qu'il existe deux courbes caractéristiques (H_t en fonction de Q_v et P en fonction de Q_v) pour la vitesse N' tels que les points définis par les coordonnées (Q_vN' , H_tN') et (Q_vN' , $P_{N'}$) en soient respectivement éléments.

Les lois de similitude permettent de déterminer Q_vN' , H_tN' et $P_{N'}$:

$$Q_v N' = Q_v N \times (N' / N)$$

$$H_t N' = H_t N \times (N' / N)^2$$

$$P N' = P N \times (N' / N)^3$$

On peut ainsi reconstruire point par point les caractéristiques pour la vitesse de rotation N' en prenant des points différents des caractéristiques établies pour la vitesse N.

1.3.1.4. UTILISATION

Ce sont les pompes les plus utilisées dans le domaine industriel à cause de la large gamme d'utilisation qu'elles peuvent couvrir, de leur simplicité et de leur faible coût.

Néanmoins, il existe des applications pour lesquelles elles ne conviennent pas :

- ❖ L'utilisation de liquides visqueux : la pompe centrifuge nécessaire serait énorme par rapport aux débits possibles.
- ❖ L'utilisation de liquides "susceptibles" c'est-à-dire ne supportant pas la très forte agitation dans la pompe (liquides alimentaires tels que le vin, le lait et la bière).
- ❖ L'utilisation comme pompe doseuse : la nécessité de réaliser des dosages précis instantanés risque d'entraîner la pompe en dehors de ses caractéristiques optimales.

Ces types d'application nécessitent l'utilisation de pompes volumétriques.

Contrairement à la plupart des pompes volumétriques, les pompes centrifuges admettent les suspensions chargées de solides.

1.3.1.5. ROUE DE LA POMPE CENTRIFUGE

Il existe trois formes principales de roues :

- ❖ Roue fermée ;
- ❖ Roue semi-ouverte ;
- ❖ Roue ouverte.

La hauteur engendrée par la roue est fonction du carré de la vitesse périphérique. En conséquence, pour une hauteur donnée à réaliser, plus la vitesse de rotation sera grande plus le diamètre sera faible et inversement. Plus le débit est important, plus la section d'entrée et la largeur de sortie sont grande.

1.3.2. POMPES VOLUMETRIQUES

1.3.2.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT ET GENERALITES

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté. Leur fonctionnement repose sur le principe suivant :

- ❖ Exécution d'un mouvement cyclique ;
- ❖ Pendant un cycle, un volume déterminé de liquide pénètre dans un compartiment avant d'être refoulé à la fin.

Ce mouvement permet le déplacement du liquide entre l'orifice d'aspiration et l'orifice de refoulement.

On distingue généralement :

- ❖ Les pompes volumétriques rotatives : constituées par une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe, qui tourne dans le corps de pompe et crée le mouvement du liquide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement.
- ❖ Les pompes volumétriques alternatives : la pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif.

Les pompes volumétriques sont généralement auto-amorçantes. Dès leur mise en route elles provoquent une diminution de pression en amont qui permet l'aspiration du liquide. Les pompes volumétriques permettent d'obtenir des hauteurs manométriques totales beaucoup plus élevées que les pompes centrifuges. La pression au refoulement est ainsi plus importante. Le débit est par contre généralement plus faible mais il ne dépend pratiquement pas des caractéristiques du réseau. Le rendement est souvent voisin de 90 %.

1.3.2.2. POMPES VOLUMETRIQUES ROTATIVES

Elles sont de différents types, à savoir :

- ❖ **Pompes à palettes libres** : constituée d'un corps cylindrique fixe communique avec les orifices d'aspiration et de refoulement. A l'intérieur se trouve un cylindre plein, le rotor, tangent intérieurement au corps de la pompe et dont l'axe est excentré par rapport à celui du corps. Le rotor est muni de 2 à 8 fentes diamétralement opposées deux à deux, dans lesquelles glissent des palettes que des ressorts appuient sur la paroi interne du stator. Le mouvement du rotor fait varier de façon continue les différentes capacités comprises entre les cylindres et les palettes en créant ainsi une aspiration du liquide d'un côté et un refoulement de l'autre. ce sont des pompes caractérisées par des débits allant jusqu'à 100 m³/h et des pressions au refoulement de 4 à 8 bars. Elles conviennent aux liquides peu visqueux.

- ❖ **Pompes à engrenages extérieurs :** Elle est constituée par deux engrenages tournant à l'intérieur du corps de pompe. Le principe consiste à aspirer le liquide dans l'espace compris entre deux dents consécutives et à le faire passer vers la section de refoulement. ce sont des pompes qui peuvent atteindre des pressions au refoulement de l'ordre de 5 à 30 bars. Les débits peuvent atteindre 300 m³/h. La hauteur manométrique maximale est de 50 à 200 m CE. Elles n'admettent pas le passage de particules solides sous peine de destruction. Elles sont utilisées pour les produits autolubrifiants et alimentaires.
- ❖ **Pompes à rotor hélicoïdal excentré :** elles sont composées de deux engrenages hélicoïdaux : le rotor tourne à l'intérieur du stator. Le mouvement tournant excentré du rotor permet de véhiculer le produit pompé. Ces pompes peuvent atteindre des pressions au refoulement de 20 à 60 bars. Le débit est de 500 m³/h. Elles sont utilisées notamment pour les produits pétroliers et les produits alimentaires. Son utilisation pour alimenter les filtres-presses est fréquente.
- ❖ **Pompes péristaltiques :** l'effet de pompage est obtenu par la compression d'un tube en élastomère par des galets fixés sur le rotor. Les galets, en se déplaçant, entraînent le liquide jusqu'au refoulement. Elles permettent de pomper des liquides très abrasifs et chargés à un débit pouvant aller à 50 m³/h. La pression au refoulement est de 15 bars. La hauteur manométrique maximale est de 160 m CE. Elles s'utilisent pour les produits chimiques et alimentaires.

1.3.2.3. POMPES VOLUMETRIQUES ALTERNATIVES

Elles sont de différents types également :

- ❖ Pompes à piston : son principe est d'utiliser les variations du volume occasionné par le déplacement d'un piston dans un cylindre. Ces déplacements alternativement dans un sens ou dans l'autre produisent des phases d'aspiration et de refoulement. Quand le piston se déplace dans un sens le liquide est comprimé: il y a fermeture du clapet d'admission et ouverture du clapet de refoulement. Le fonctionnement est inverse lors de l'aspiration du liquide dans la pompe. Une membrane est parfois liée au piston. Elles ne conviennent que pour des débits moyens de l'ordre de 80 m³/h. L'intérêt des membranes est l'utilisation avec des produits chimiques corrosifs, abrasifs ou acides. La pression au refoulement peut aller jusqu'à 25 bars.
- ❖ **Pompes doseuses** : Elles sont essentiellement à piston et (ou) à membrane. L'introduction d'un débit bien déterminé de liquides est rendu possible grâce à un dispositif précis de réglage de la course du piston et de sa fréquence. Elles ont des débits relativement faibles (de quelques Litres par heure à quelques m³/h) et peuvent mettre en œuvre des pressions au refoulement allant jusqu'à 300 bars. Elles sont auto amorçantes mais n'acceptent que des viscosités faibles.les principales applications sont le dosage fin de produits chimiques et l'injection de carburant pour les véhicules automobiles.

1.4. COMPARAISON DES POMPES CENTRIFUGES ET VOLUMETRIQUES

La sélection de la bonne pompe commence par la connaissance de :

- ❖ La hauteur ou la pression totale de fonctionnement ;
- ❖ Le débit souhaité ;
- ❖ La capacité d'aspiration ;
- ❖ Les caractéristiques du fluide (température, corrosivité, etc.).

La pompe assurant les quatre caractéristiques précédentes est considérée comme le plus performante du projet.



Figure N°03 - Pompe à piston



Figure N°04 - Pompe Centrifuge Avec Vannes Isolement



Figure N°05 - Pompe Volumétrique A Membrane (Alternative)



Figure N°06 - pompe volumétrique (rotative)

1.5. LE POMPAGE SOLAIRE

1.5.1. HISTORIQUE

Pomper à l'aide du soleil est un vieux rêve. On rapporte une première tentative par Héron d'Alexandrie en l'an 100 après J.C. consistant à utiliser la dilatation de l'air entre le jour et la nuit pour aspirer de l'eau. Les premières machines ont utilisé l'effet thermique du rayonnement solaire pour constituer la source chaude d'une machine thermodynamique. La pompe de l'américain Schumann en 1911 près du Caire utilisait des capteurs à concentration et, dans les années 1970 en France, la pompe SOFRETES utilisait un capteur plan avec un fluide volatil.

Le rendement de ces machines, lié à celui du cycle de Carnot, était très faible, inférieur à 1%. L'arrivée des cellules photovoltaïques, ou photopiles, a fait l'effet d'une révolution, tant le procédé était simplifié. C'est aux établissements Pompes Guinard, basés en France, que l'on doit la première pompe solaire photovoltaïque, installée à titre expérimental à Propiano en Corse en 1975.

Les résultats satisfaisants ont permis d'installer la première pompe à Koni, au Mali, deux ans après. Pour une puissance nominale de 1kW, les 5 tonnes de matériel et le mois d'installation d'une pompe thermodynamique étaient remplacés par 850 kg d'équipements et deux jours d'installation pour la pompe ALTAX.

1.5.2. PRINCIPES GENERAUX DU POMPAGE SOLAIRE

La caractéristique de l'énergie solaire est d'être périodique (jour/nuit), continuellement variable en fonction de l'ensoleillement au cours d'une journée.

Aussi faut-il en général un stockage tampon afin de pouvoir utiliser des récepteurs, consommateurs d'électricité, quel que soit le moment souhaité. Le pompage solaire est une exception, il est en effet relativement facile de stocker l'énergie potentielle de l'eau dans un réservoir surélevé, alternative largement moins onéreuse et plus fiable qu'un stockage par

accumulateurs électriques, car les batteries ont une durée de vie limitée et nécessitent un entretien rigoureux.

Par la variation de vitesse, et donc de débit, le pompage permet d'utiliser directement une puissance continuellement variable, celle issue des modules photovoltaïques. Le débit de pompage va donc évoluer avec l'intensité de l'ensoleillement : c'est ce que l'on appelle le pompage "au fil du soleil". Le débit maximum de la pompe, exprimé en m^3/h , obtenu généralement à midi est environ le sixième du débit journalier.

Pour une pompe volumétrique, le couple est constant : la puissance absorbée sera proportionnelle à la vitesse de rotation (Puissance = couple x vitesse). Il existe des situations où cet atout ne peut être mis à profit. Elles nécessitent un stockage par banc de batteries. Tel est le cas par exemple des petites unités de pompage à usage domestique. Elles font souvent partie d'un système pourvu de différentes applications, éclairages, froid, équipements audiovisuels. C'est l'utilisateur qui déclenche la mise en route de la pompe qui fonctionne alors en régime fixe.

1.5.3. CONSTITUTION DU POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

Les systèmes de pompage solaire photovoltaïque utilisent la conversion du rayonnement solaire en électricité pour alimenter une pompe dans un forage ou un puits.

La seule différence entre un système de pompage solaire et un système de pompage classique est l'utilisation de panneaux photovoltaïques, d'un convertisseur et d'une pompe adéquate (Fig. 07). Les pompes utilisées peuvent être immergées, centrifuges ou volumétriques selon les conditions d'utilisation :

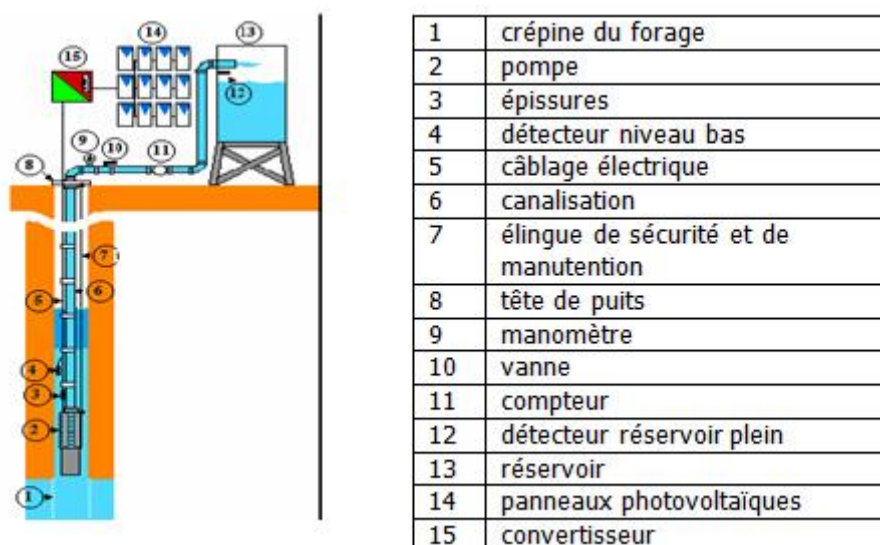


Figure N°07 – Système de pompage solaire

1.5.4. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Les panneaux solaires convertissent l'énergie solaire en énergie électrique. L'électricité produite est un courant continu d'une intensité de quelques ampères, sous une tension de 12 à 18V, fournissant une puissance selon les modèles de 60 à 90 W.

Cette énergie peut être accumulée dans des batteries (accumulateurs) pour permettre un fonctionnement continu, ou transmise directement à l'appareil électrique.

Le convertisseur permet l'alimentation en courant alternatif 220V de la pompe à partir du courant continu fourni par les panneaux solaires. Le débit de la pompe variera en fonction de l'ensoleillement avec un débit maximum au milieu de la journée.

Le rendement des panneaux solaires est fonction de l'ensoleillement et de l'angle d'exposition d'une part et de la température des cellules d'autre part. Ces deux paramètres dépendent de la latitude et des caractéristiques climatologiques et géographiques de la zone d'implantation. Une étude est obligatoire pour chaque cas afin de connaître la surface de panneaux nécessaire à la pompe.

PARTIE PRATIQUE

2.1. INTRODUCTION

Projet de fin d'étude est sous forme d'un stage sur le pompage solaire à l'URAER d'une durée de un (01) mois. Le pompage de l'eau est un facteur important dans le développement des zones rurales et isolées des pays en développement.

Aujourd'hui, la production d'énergie à partir des énergies renouvelables, constitue un excellent moyen pour protéger l'environnement et de contribuer au développement durable et ce, du fait qu'elle est considérée comme une énergie très propre.

Dans le cas de l'Algérie, l'énergie photovoltaïque est fortement appliquée pour le pompage de l'eau, surtout en zones arides où l'irradiation solaire est importante et les besoins en eau sont extraordinaires.

Le système présenté, est un système de pompage photovoltaïque constitué d'un générateur PV, d'un moteur à courant continu et d'une pompe.

Les pompes submersibles sont fortement utilisées dans les applications de pompage à travers le monde.

Dans ce travail nous faisons la comparaisons entre deux types des pompes (centrifuge et volumétrique).

2.2. PRESENTATION DE L'URAER

Créée en Novembre 2002, l'unité de recherche appliquée en énergies renouvelables (URAER), rattachée au centre de développement des énergies renouvelables (CDER) est située à 1 Km de l'aéroport de Ghardaïa et à 600 Km d'Alger.

La spécificité de l'unité tient d'abord à son environnement aride et semi-aride qui permet de développer des recherches scientifiques motivées par des problèmes concrets présentant un impact économique à la société de la région qui génèrent de nouveaux concepts théoriques.

L'URAER vise à développer, diffuser et valoriser de nouvelles pistes de recherche appliquée en vue d'offrir un lieu de concertation et de coordination pour les activités de recherche liée aux énergies renouvelables.

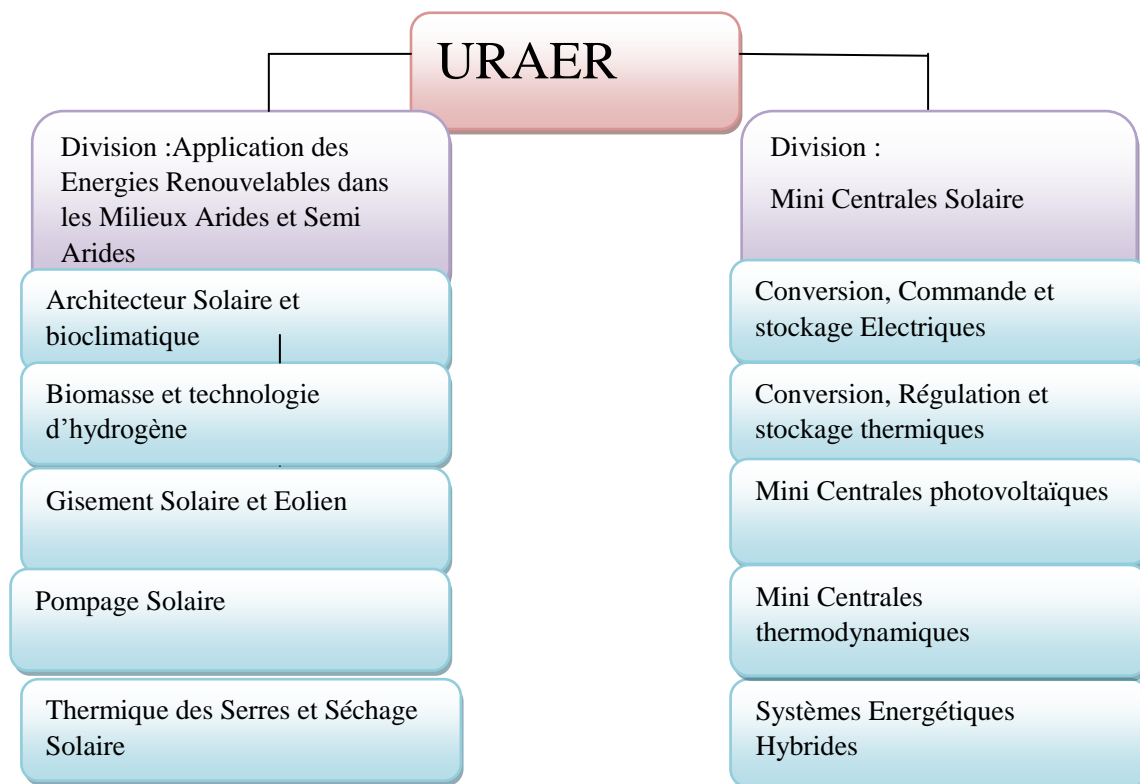


Fig. 08 - Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables
URAER Ghardaïa

2.3. ORGANISATION SCIENTIFIQUE

Suite à une étude prospective sur le plan organisationnel, l'unité est structurée autour de deux divisions et 10 équipes de recherche.

Les deux divisions définissent un champ général d'étude et interconnectent les travaux de tous les chercheurs de l'équipe. Elles contribuent, de manière efficace, à la recherche de solutions aux problèmes de développement liés à l'énergie et à l'environnement qui se posent avec acuités dans les régions arides et semi arides.



2.4. FORMATION

L'URAER demeure un établissement fortement imprégné de son rôle scientifique ,notamment en matière de formation .grâce a son potentiel humain et matériel, l'unité s'est montrée capable de répondre a la majorité des besoins socioéconomiques de la région ce qui lui a prévalu une nette visibilité et légitimité L'URAER la continuité de la formation graduée comporte un volume d'enseignements théoriques, méthodologiques et appliqués , mais la grande partie est destinée surtout à l'initiation aux techniques de recherche par des travaux et des stages au laboratoire.

Les étudiants stagiaires doivent être familiarisés aux méthodes de recherche et sensibilisés aux questions qui se posent dans le domaine des énergies renouvelables. L'unité offre à l'étudiant l'occasion d'expérimenter concrètement l'articulation théorie et pratique qui est au cœur de sa formation et d'opérationnaliser les savoirs acquis.



Fig. 09 - Salle de lecture de l'URAER

L'URAER assure des stages dans plusieurs disciplines telles que le thermique, le photovoltaïque, la biomasse et le gisement. Ces stages sont conduits suivant une méthodologie qui procure au stagiaire des connaissances qui lui permettent de dépasser les logiques universitaires traditionnelles et les perspectives disciplinaires exclusives, les chiffres sont davantage une image de collaboration et de coordination entre l'URAER et les universités algériennes.

2.5. PRESTATIONS DE SERVICES

L'URAER assure des prestations de service, notamment l'étude et la réalisation des systèmes solaires :

- ❖ Etude et réalisation des systèmes photovoltaïques : éclairage photovoltaïque, pompage solaire ...etc.
- ❖ Alimentation en énergie solaire des maisons autonomes : électricité, eau chaude sanitaire ...etc.
- ❖ Serres agricoles intelligentes.
- ❖ Audits énergétiques.
- ❖ Données météorologiques : éclairement solaire, température ambiante, humidité, vitesse et direction du vent ...etc.

2.6. MATERIELS ET METHODES

2.6.1. MATERIELS UTILISE



Module PV



Puits et armoire de visualisation



Charge électronique



PC contrôle et traitement des données



Pompe Grundfos SQF5A-6



Pompe Water Max WA

2.6.2. METHODE UTILISEE

2.6.2.1. DESCRIPTION DU BANC D'ESSAIS DU SYSTEME DE POMPAGE PV DE L'URAER

Le banc d'essai installé au niveau du l'URAER permet de tester et caractériser différents systèmes de pompage PV. Il permet de simuler des hauteurs de pompage dans des conditions réelles d'opération. Les intervalles de mesure peuvent atteindre 2,75 KW de puissance, 120 m de hauteur de pompage et 10 m³/h de débit d'eau. Les systèmes de pompage peuvent être alimentés soit à l'aide du générateur PV, soit à l'aide d'une alimentation DC programmable.

Nous avons trois procédures de mesures différentes : mesures sans contrôle, mesures de la courbe à hauteur constante, mesures de la courbe hauteur-débit à tension constante.

La caractérisation complète d'une pompe dans le banc d'essais permet d'obtenir les paramètres des modèles mathématiques pour la simulation et l'optimisation. Cette plateforme expérimentale est réalisée en vue de :

- ❖ Evaluer les performances d'un système de pompage PV dans des conditions réelles de fonctionnement ;
- ❖ Caractériser les pompes utilisées pour cette application ;
- ❖ Etudier l'influence du choix des configurations sur les performances du système ;
- ❖ Introduire un dispositif de poursuite de point de puissance maximale ;
- ❖ Modéliser les différents éléments constituant le système de pompage ;
- ❖ Valider la méthode qui a servi au dimensionnement du système de pompage ;
- ❖ Réaliser des modèles mathématiques qui décrivent le comportement du groupe moteur-pompe à partir des paramètres caractéristiques du courant, tension, débit ainsi que la hauteur de pompage, utilisés dans des programmes de simulation et d'optimisation.

Ce banc d'essai est réalisé en acier inoxydable. Il est facilement démontable. Il est constitué des éléments suivants :

- ❖ Une cuve inoxydable d'une profondeur de 2 m et 1 m de diamètre ;
- ❖ Un circuit hydraulique ;
- ❖ Un puits ;
- ❖ Des capteurs de débit et de niveaux ;
- ❖ Armoire de visualisation ;
- ❖ Armoires de connexion et de configuration ;
- ❖ Un générateur photovoltaïque de 2,75 KW ;
- ❖ Un data logger pour l'acquisition de données ;
- ❖ Un ordinateur pour le stockage et traitement des mesures.

Les intervalles de mesures sont respectivement de 0 à 2,75 KW pour la puissance du générateur PV, de 0 à 120 m pour la profondeur de pompage et de 0 à 10 m³/h pour le débit d'eau pompée.

2.6.2.2. ARMOIRE DE VISUALISATION

L'armoire de visualisation centralise sert à visualiser les paramètres essentiels du système de pompage à savoir :

- ❖ I_{TB} : Courant continu absorbé par les pompes à tester (A) ;
- ❖ V_{TB} : Tension d'alimentation des pompes à tester (V) ;
- ❖ E : Eclairage sur le plan des modules (W/m²) ;
- ❖ T : Température des modules (°C) ;
- ❖ P_1 : Profondeur du puits simulé correspondant à SP_1 pour les faibles hauteurs (m)
- ❖ P_2 : Profondeur du puits simulé correspondant à SP_2 pour les grandes hauteurs (m) ;
- ❖ P_3 : Niveau d'eau dans la cuve correspondant à SP_3 (m).

Tous ces paramètres sont visualisés par des afficheurs. Les capteurs de pression SP_1 , SP_2 et SP_3 sont affichés directement en leur correspondance en profondeur en mètre, ainsi que des capteurs de débit C1 et C2 avec option de comptage accumulatif.

La figure suivante présente le circuit hydraulique du banc d'essais des systèmes de pompage PV de l'URAER.

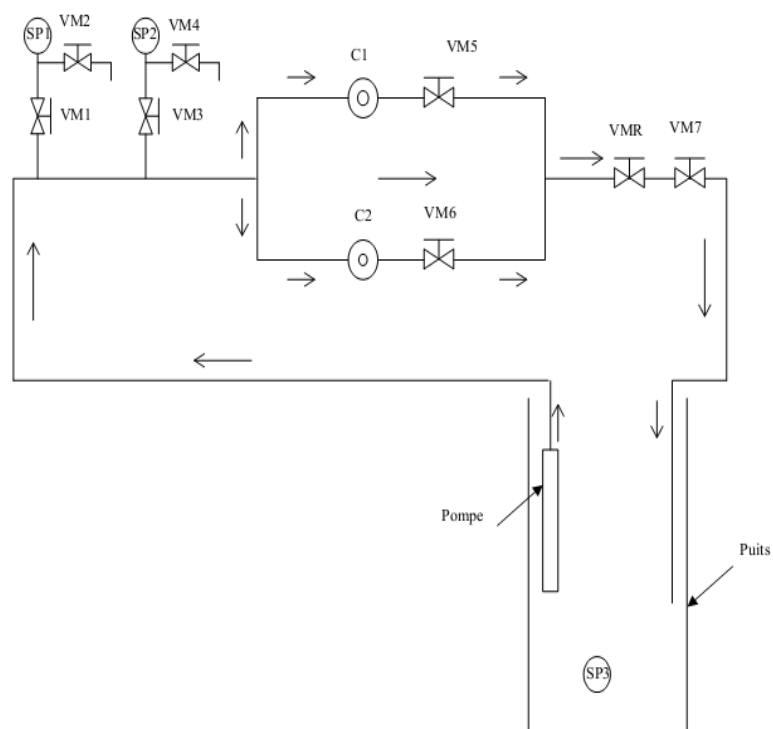


Fig. 10 - Circuit hydraulique du banc d'essais

Où :

- ❖ VM1: Vanne Manuelle 1/2"
- ❖ VM2: Vanne Manuelle 1/2"
- ❖ VM3: Vanne Manuelle 1/2"
- ❖ VM4: Vanne Manuelle 1/2"
- ❖ VM5: Vanne Manuelle DN50
- ❖ VM6: Vanne Manuelle DN50
- ❖ VM7: Vanne Manuelle DN50
- ❖ VMR: Vanne Manuelle de Régulation de débit
- ❖ SP1 : Capteur de Pression 0 – 160 m
- ❖ SP2 : Capteur de Pression 0 – 10 m
- ❖ SP3 : Capteur de Pression 0 – 2,50 m
- ❖ C1 : Débitmètre électromagnétique 10.000 l/h
- ❖ C2 : Débitmètre électromagnétique 2.500 l/h

2.6.2.3. ARMOIRES DE CONNEXION ET DE CONFIGURATION

Une armoire de connexion est installée près du générateur PV (GPV), permettant ainsi, de sélectionner la gamme de puissance de ce dernier (tension, courant) et ce, selon le groupe moteur - pompe à caractériser.

L'armoire de configuration est conçue de sorte à permettre le choix de la configuration du système de pompage à savoir :

- ❖ Avec ou sans **MPPT** ;
- ❖ Pompe continue ou alternative.

2.6.2.4. ALIMENTATION DU SYSTEME DE POMPAGE

L'alimentation du système à tester, peut être réalisée à l'aide d'un GPV constitué de 25 modules de marque ISOFOTON et de modèle 110, ce qui correspond à une puissance totale de 2,75 KW. Ce générateur peut être remplacé par une alimentation continue de type EA-PS 6065-10, modèle AP10090A de 650W de puissance avec une gamme de tension 0-65V et de courant 0-10A.

Le générateur photovoltaïque est monté à environ 40 m à l'extérieur du laboratoire, plein sud (angle d'azimut égal à zéro) et son angle d'inclinaison égal à la latitude du site (32°).

G1: générateur PV avec la configuration (2 x 6) est sélectionné pour alimenter le solaire Grundfos SQF5A-6 pompé.

G2: générateur PV avec la configuration (2 x 2) est sélectionné pour alimenter le solaire Water Max WA pompé.



Fig. 11 - Générateur photovoltaïque

2.6.3. ACQUISITION DE DONNEES

Elle se fait sur un data logger Agilent, modèle 34970A (Image) permet l'acquisition des données. Il comporte deux cartes :

- ❖ La 34001A est un module de 20 entrées analogiques indépendantes plus 2 entrées pour la mesure du courant DC ou AC (100 nA-1A) ;
- ❖ La carte 34002A correspondant à un module de 16 entrées analogiques indépendantes de 300V, dont les principales caractéristiques sont :
 - ✓ Possibilités de commutation de 250 canaux par seconde ;
 - ✓ Mesures de tensions DC et AC, thermocouples, thermo résistances ;
 - ✓ 50 K de mémoire non volatile ;
 - ✓ Dispose d'échelle et alarmes pour chaque canal ;
 - ✓ Logiciel Bench Link Data Logger pour la configuration et l'analyse de données.



Fig. 12 - Image du data logger et ordinateur

2.6.4. CARACTERISTIQUES LES DEUX POMPES UTILISEES

Les pompes utilisées ont les caractéristiques suivantes :

- ❖ Pompe Grundfos avec puissance nominale :

| | | |
|---|---|---|
| { | P = 900 W. DC 30V - 300 V. I _{max} = 7 A. Q max=9m ³ /h. | } |
| | HMT =30m. | |

❖ Pompe Water Max WA avec puissance nominale :

$$\left\{ \begin{array}{l} P = 300 \text{ W.} \\ V = 64 \text{ V.} \\ I_{\text{max}} = 4,6 \text{ A.} \\ Q_{\text{max}} = 1,5 \text{ m}^3 / \text{h.} \\ \text{HMT} = 10\text{-}80 \text{ m.} \end{array} \right.$$

2.7. RESULTATS ET DISCUSSIONS

2.7.1. VARIATION HMT EN FONCTION AU DEBIT

2.7.1.1. LA POMPE CENTRIFUGE GRUNDFOS SQF5A-6

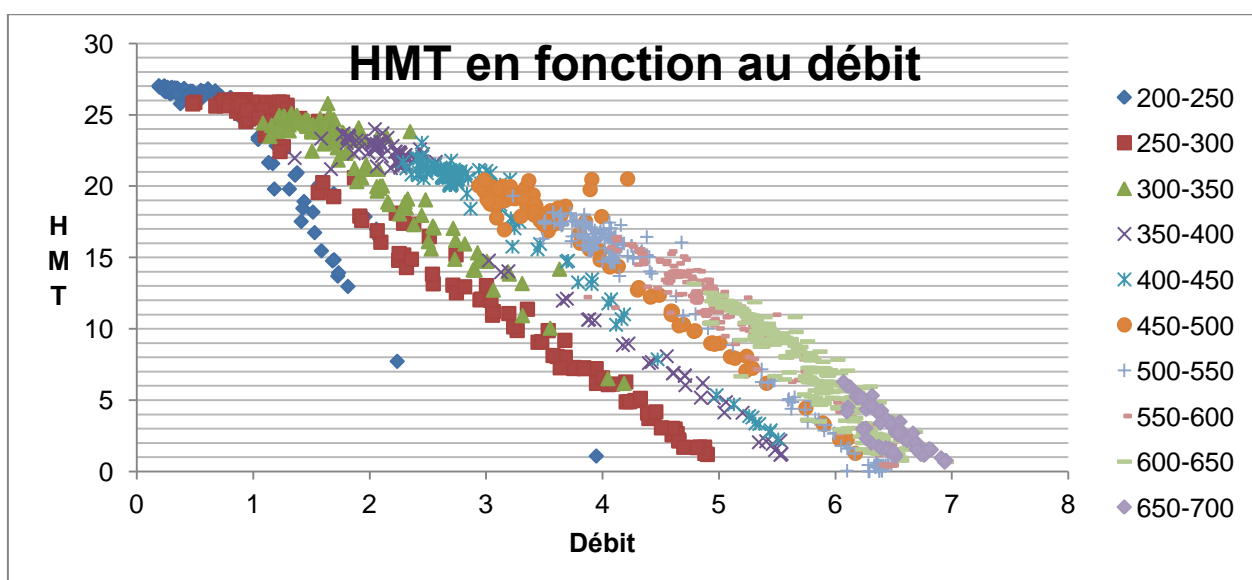


Fig. 13 - Variation HMT en fonction au débit

La figure représente les caractéristiques HMT en fonction au débit pour différent gamme de puissance et nous observons le HMT maximum corresponde au débit minimum et le HMT minimum corresponde au débit maximum. (HMT_{max} = 27,04 m - HMT_{min} = 0,02 m / Q_{max} = 6,955 m³/h – Q_{min} = 0,191 m³/h).

2.7.1.2. LA POMPE VOLUMETRIQUE WATER MAX WA

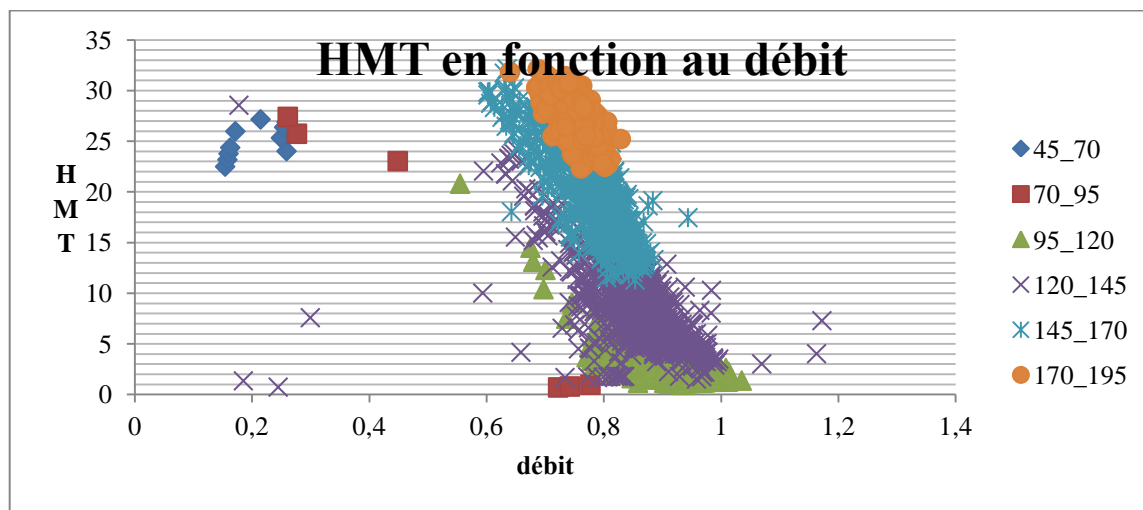


Fig. 14 - Variation HMT en fonction au débit

La figure représente les caractéristiques HMT en fonction au débit pour différent gamme de puissance et nous observons le HMT maximum corresponde au débit minimum et le HMT minimum corresponde au débit maximum ($Q_{max} = 1,171 \text{ m}^3/\text{h} - Q_{min} = 0,153 \text{ m}^3/\text{h} / \text{HMT}_{max} = 30,796 \text{ m} - \text{HMT}_{min} = 0,682 \text{ m}$).

2.7.2. VARIATION DU RENDEMENT EN FONCTION DE LA PUISSANCE

2.7.2.1. LA POMPE CENTRIFUGE GRUNDFOS SQF5A-6

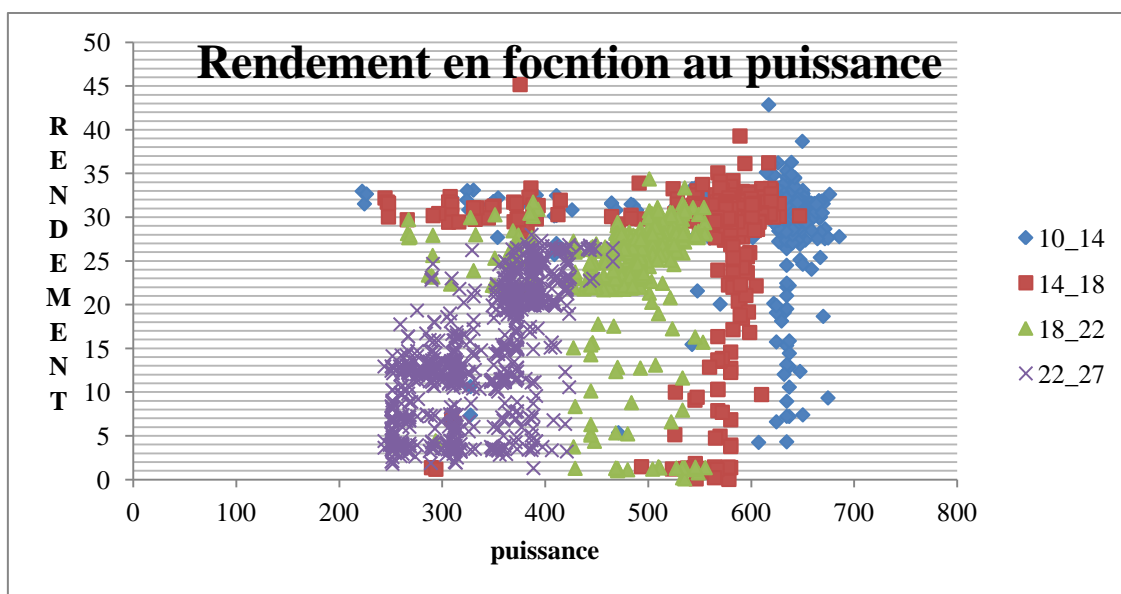


Fig. 15 - Variation Rendement en fonction à la puissance

La figure représente les caractéristiques du rendement en fonction au puissance pour chaque gamme de HMT. Le Rendement maximum de cette pompe à la HMT entre 14 et 18 m.

2.7.2.2. LA POMPE VOLUMETRIQUE WATER MAX WA

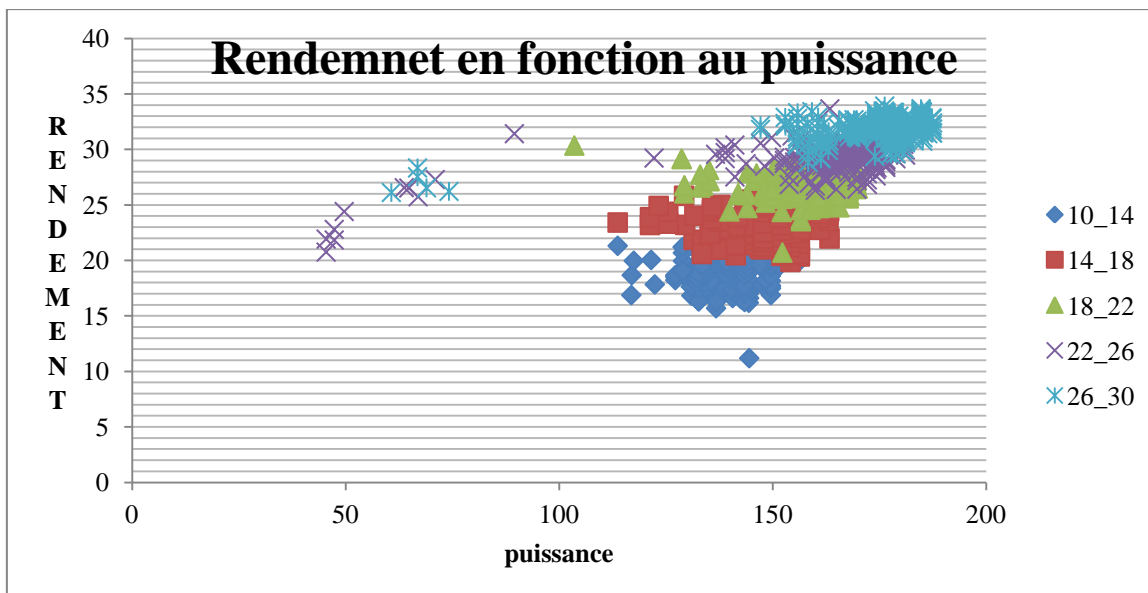


Fig. 16 - Variation Rendement en fonction à la puissance.

La figure représente les caractéristiques du rendement en fonction au puissance pour chaque gamme de HMT. Le Rendement maximum de cette pompe à la HMT entre 26 et 30 m.

2.7.3. COMPARAISON DES DEUX POMPES HMT = F(DEBIT)

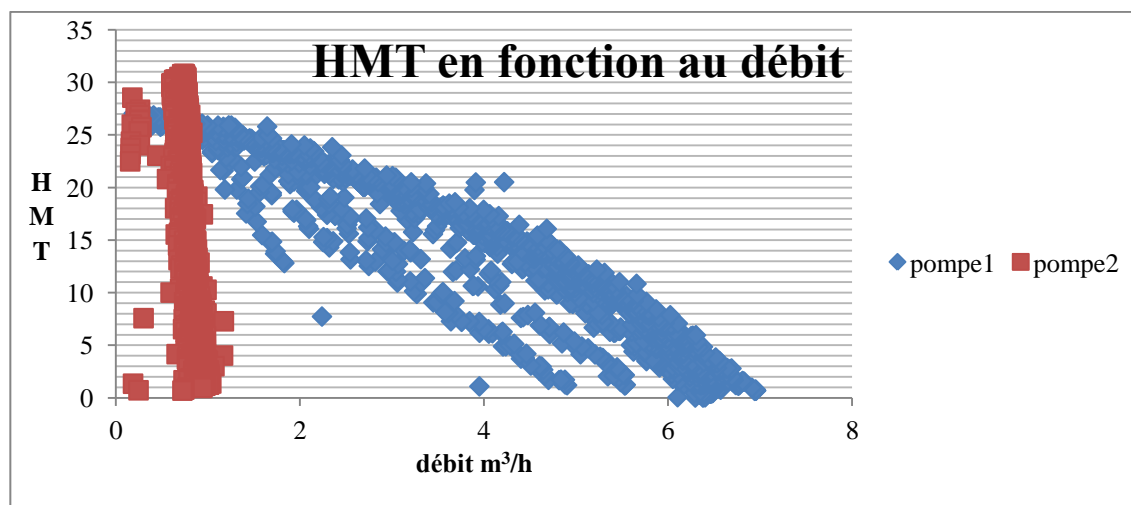


Fig. 17 - HMT globale des deux pompes

On observe pour la même gamme de HMT les deux pompes ont des débits différents.

2.7.4. COMPARAISON DES DEUX POMPES RENDEMENT EN FONCTION DE LA PUISSANCE

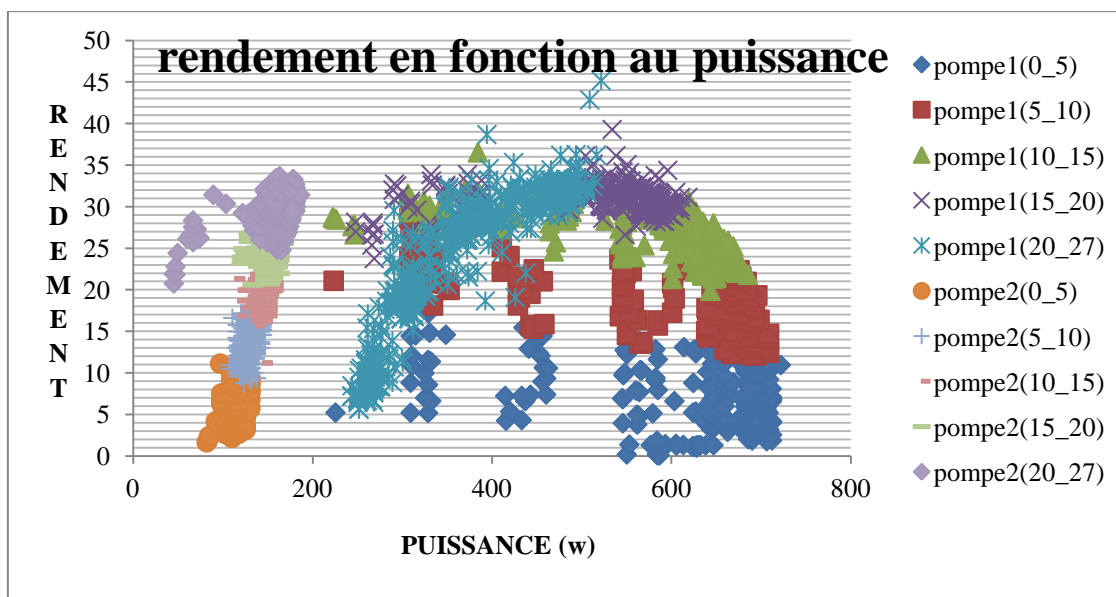


Fig. 18 - Rendement des pompes

La figure ci-dessus représente le rendement des pompes en fonction de la puissance pour chaque gamme de HMT.

On observe que pour la même gamme de HMT les deux pompes ont différents rendements.

La pompe centrifuge et la pompe volumétrique pour chaque augmentation de profondeur le rendement augmente, toutefois, la pompe centrifuge atteint son rendement maximal pour des profondeurs entre 15 à 20 m, par la suite le rendement diminue.

La pompe centrifuge est donc conseillée pour les petites et moyennes profondeurs, et la pompe volumétrique pour grandes profondeurs.

SYNTHESE GENERALE

SYNTHESE GENERALE

Le travail présenté dans ce rapport concerne la modélisation, l'identification et la simulation expérimentale d'un système de pompage solaire constitué de panneaux photovoltaïques.

Nous avons présenté au départ une partie théorique sur les différents systèmes de pompage, ainsi que le pompage solaire, objet de notre stage.

Par la suite, nous avons donné la description de notre stage pratique étudié deux types de pompes ; en l'occurrence, une centrifuge et l'autre volumétrique, installées au laboratoire via un banc d'essai au niveau du centre de recherche des énergies renouvelables (URAER-Ghardaia).

Les deux pompes ont fait l'objet de comparaison pour différents débit/HMT et différents rendement/puissance.

A partir des expériences nous avons constaté que les facteurs d'impact sur le pompage photovoltaïque sont :

- ❖ Le débit,
- ❖ La pression,
- ❖ L'éclairement,
- ❖ La tension et
- ❖ L'ampérage.

Ces paramètres sont les facteurs déterminant de la puissance hydraulique, puissance électrique et le rendement.

Le détermination de rendement permet de faire des optimisations sur le système de pompage photovoltaïque.

Toutefois, nous avons conclu que pour ce type de pompage, la pompe centrifuge est suggérée pour les petites et moyennes profondeurs, quant-à la pompe volumétrique pour grandes profondeurs.

Le travail présent peut être exploité pour d'autres fins de recherche, vu le nombre d'expériences qui peuvent être effectuées. Nous espérons qu'il sera une bonne référence pour les travaux similaires.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographiques

- [1] A. Hadj Arab, F.Chenlo, K.Mukadem J.L.Balenzategui, ‘‘Performance of PV Water Pumping Systems’’. Renewable Energy, Vol. 18, N°2, pp. 191-204, 1999.
- [2] A.Hamidat, ‘Simulation of the Performance and Cost calculations of the Surface Pump’. Renewable, Energy, Vol. 18, pp. 383 - 392, 1999.
- [3] M. Buresh, ‘Photovoltaic__Energy__Systems’, McGraw-Hill Book, Company. New-York, 1983.
- [4] A. Hadj Arab, ‘L’ nergie Solaire Photovoltaïque’, Bulletin des Energies Renouvelables, CDER, Algérie, N°19, 2011.
- [5] L’énergie au Naturel. BP Solar/Chapitre 7.
- [6] Principles of Solar Engineering.
- [7] Pumps (ACF): le pompage, à ebook, Available: <http://www.watersanitationhygiene.org>
- [8] Dimensionnement d’une pompe photovoltaïque/
- [9] A. Hamidat, ‘Simulation des Systèmes de Pompage Photovoltaïques Destinés pour l’Alimentation et Eau Potable et pour la Petite Irrigation’, Thèse de Doctorat, Université Abou Bakr Belkaïd, Tlemcen, 2004.
- [10] The Energies Plus, website. <http://www.energiepluslesite.be/index.php?id=1095>
- [11] Les caractéristiques pompe Grundfos SQF5A-6 : catalogue GUNDFOS DATA BOOKLET (SQFlex) page N°27
- [12] les caractéristiques pompe WATER MAX WA : catalogue WATERMAX OWNER’S MANUAL page N°18