

Article 22. Etude de faisabilité technique de l'installation d'une pompe solaire en vue d'une irrigation à Cap Diégo Jean Christian RAVELOMIANGO¹, Antonio JAOMIARY², Ulrich CANISSIUS¹

¹Mention « Education-Apprentissage-Didactique et Ingénierie en Mécanique », ENSET de l'Université d'Antsiranana

²Mention « Education-Apprentissage-Didactique et Ingénierie en Electrotechnique et Electronique », ENSET de l'Université d'Antsiranana

jaomiaryantonio@yahoo.fr, ajaomiary@univ-antsiranana.edu.mg, j.ravelo@ymail.com

Résumé

Le présent article propose une étude de faisabilité technique d'un système de pompage solaire appliqué à l'irrigation des zones agricoles du fokontany de Cap Diégo. Pour ce faire, on a considéré les catégories d'informations suivantes: les données géographiques et météorologiques du site, les éléments conditionnant le choix d'une motopompe, des besoins en eau de la zone à irriguer. Après le traitement des informations susmentionnées, un système de pompage au fil du soleil est dimensionné et une simulation numérique de fonctionnement en un éclaircissement moyennement trouble dudit système est réalisée. En effet, elle consiste à analyser les variations du débit d'eau en fonction de l'éclaircissement et la hauteur manométrique totale. Les résultats obtenus par simulation démontrent que la hauteur manométrique du système de pompage photovoltaïque fonctionnent au fil du soleil dépend de la hauteur géométrique et des pertes de charge au niveau d'aspiration et de refoulement. Autrement dit, la quantité journalière d'eau pompée dépend de la puissance crête de panneau solaire, du rendement du système de pompage, de l'éclaircissement global et la hauteur manométrique totale. Ainsi, le modèle trouvé permet de calculer la quantité journalière d'eau pompée. L'une des perspectives de cette étude est l'optimisation du système de pompage.

Mots clés : Pompage Solaire, Energie Solaire, Débit d'eau, Irrigation, Simulation numérique

I. INTRODUCTION

La partie nord de Madagascar, en particulier le district d'Antsiranana, possède un important gisement solaire. Ceci peut rendre l'application du pompage de l'eau par l'intermédiaire des systèmes solaires photovoltaïques comme une solution pour l'irrigation des surfaces agricoles et pour l'approvisionnement en eau potable des sites isolés. En effet, Les habitants du Cap Diégo, une zone rurale de la ville de Diégo-Suarez, affrontent de grands problèmes dus au déficit en eau pour irriguer leurs rizières ou pour abreuver leurs bétails alors qu'ils disposent beaucoup de points d'eau (sources et rivières) situés en bas du village qui ont été mal exploitées, voire inexploitées. Les eaux de ces rivières se déversent alors directement dans la mer. En raison de l'inexistence d'équipements adéquats pour pomper l'eau, ces habitants n'ont pas pu profiter de cette ressource pour améliorer leur condition de vie. C'est dans cette optique que le présent article souhaite proposer une approche d'étude de faisabilité technique d'une installation de pompage solaire appliquée à l'irrigation au niveau dudit fokontany. Par conséquent cet article se répartit selon les parties suivantes: la méthodologie adoptée, les résultats ainsi que les discussions y afférentes et la conclusion.

II. MÉTHODOLOGIE ADOPTÉE

L'approche adoptée dans cet article se base sur trois principes fondamentaux: le calcul de l'éclaircissement, calcul de débit.

A. Calcul d'éclaircissement et de la puissance solaire

Cette approche permet de dimensionner les capteurs solaires photovoltaïques et par la suite analyser la variation de débit de pompage. Pour ce faire, nous avons considéré les fonctions permettant de calculer les paramètres ci-dessous:

- Eclaircissement global;
- Eclaircissement direct;
- Eclaircissement diffus;
- Déclinaison du soleil;
- Angle horaire;
- Puissance solaire

$$D^*(\beta) = \left[\frac{1 + \cos\beta}{2} \right] D_h^* + \left[\frac{1 - \cos\beta}{2} \right] a^* G_h^*$$

En ce qui concerne l'éclaircissement, nous avons utilisé les relations suivantes [1]:

✓ L'éclaircissement global est défini:

$$G^* = \Phi + D^* \quad (1)$$

✓ L'éclaircissement direct est donné par la relation :

$$\Phi(\beta, \gamma) = I^* [\sin\beta \cos h \cos(a - \gamma) + \sin h \cos\beta] \quad (2)$$

Pour un capteur horizontal ($\beta=0$), l'éclaircissement ne dépend que de la hauteur du soleil [4] :

$$\Phi(h) = I^* \sin h \quad (3)$$

$$\text{Où } \sin h = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega - \sin \varphi \sin \delta \quad (4)$$

Avec :

- représente la latitude du lieu
- la déclinaison du soleil
- l'angle horaire du soleil

L'éclairement diffus est donné par la relation :

$$D^*(\beta) = \left[\frac{1+\cos\beta}{2} \right] D_h^* + \left[\frac{1-\cos\beta}{2} \right] a^* G_h^* \quad (5)$$

Pour un capteur horizontal ($\beta=0$), l'éclairement diffus devient : $D^*(\beta) = D_h^*$

La déclinaison du soleil est exprimée par :

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360}{365} (q - 81) \right] \quad (6)$$

q étant le quantième de l'année à partir du premier Janvier

Pour déterminer l'angle horaire du soleil varie à chaque instant de la journée on a utilisé la relation ci-après :

$$\omega = \frac{360}{24} t_{SV} - 180 \quad (7)$$

Le temps solaire vrai t_{SV} est déterminé à partir de la formule suivante :

$$t_{SV} = t_L - \kappa + 4(L - L_{st}) + \tau \quad (8)$$

Avec :

- t_L : temps légal exprimé en heures
- κ : coefficient de correction du fuseau horaire et de saison;
- L : longitude du site;
- L_{st} : longitude standard;
- τ : coefficient de correction du temps

Où

$$\kappa = C_1 + C_2 \quad (9)$$

Avec :

- C_1 : coefficient de correction du fuseau
- C_2 : coefficient de correction de saison.

$$L_{st} = 15 n_{fh} \quad (10)$$

$$\tau = 9,87 \sin 2 \left[\frac{360}{365} (q - 81) \right] - 7,53 \cos \left[\frac{360}{365} (q - 81) \right] - 1,5 \sin \left[\frac{360}{365} (q - 81) \right] \quad (11)$$

La puissance solaire, exprimée en watts, tombant sur la cellule est donnée par :

$$P^* = \phi S \quad (12)$$

- S étant la surface de la cellule.

Pour faire fonctionner l'installation, on détermine la surface S de cellule en fonction de puissance du moteur

$$S = \frac{P_{mot}}{\phi \eta_{PV}} \quad (13)$$

Avec:

- P_{mot} : la puissance du moteur en Watt
- ϕ : l'éclairement solaire en Watt par mètre carré
- η_{PV} : le rendement des photopiles I*

La puissance crête est déterminée à partir de la formule simplifiée suivante [2]:

$$P_c = \frac{E_j}{k G^*} = \frac{2,725 Q H_{MT}}{\eta_{sp} k G^*} \quad (14)$$

Où E_j est l'énergie moyenne journalière nécessaire pour le fonctionnement des équipements à courant continu exprimée en Wh

La valeur du coefficient k varie en fonction de types d'installation à mettre en œuvre (au fil du soleil, avec stockage)

Le nombre de modules peut être déterminé à partir de la relation suivante :

$$N_m = \frac{P_c}{P_m} \quad (15)$$

Avec:

P_c est la puissance crête d'un module

- P_m la puissance du module.

Le nombre de module PV peut être calculé par la relation suivante:

$$N_m = \frac{\left[\frac{N_j+1}{t_{jc}}\right] E_j}{G_0(\beta, \gamma) S_m \eta_m} \quad (16)$$

$$G_0(\beta, \gamma) = \int_{h_{ls}}^{h_{cs}} G^*(\beta, \gamma) dt \quad (17)$$

B. Dimensionnement de la pompe

On a utilisé la méthode par flotteur pour mesurer le débit de la rivière. Cette méthode consiste à déterminer la vitesse de l'eau et la surface du profil mouillé de la rivière.

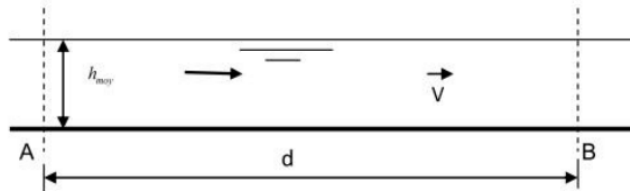


Figure 1. Profil longitudinal de la rivière

La vitesse mesurée de la rivière, ou vitesse réelle de la rivière, est déterminée par:

$$V_{mes} = \frac{d}{t_{moy}} \quad (18)$$

Avec:

- d : distance de parcours du corps flottant (en m)
- t_{moy} : le temps moyen des parcours du corps flottant (en s).

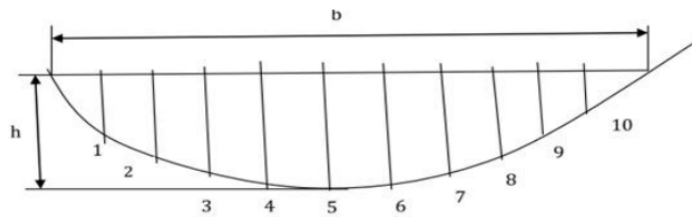


Figure 2. Section transversale de la rivière

La vitesse moyenne de la rivière V_{moy} est donnée par la relation suivante :

$$V_{moy} = 0,8 V_{mes} \quad (19)$$

La surface moyenne S_{moy} est :

$$S_{moy} = b h_{moy} \quad (20)$$

où b est la largeur de la rivière et h_{moy} la profondeur moyenne de la rivière.

La profondeur moyenne suivant la section de la rivière est donnée par la relation:

$$h_{moy} = \frac{\sum h_i}{N} \quad (21)$$

où h_i est la profondeur (en m) au point de mesure i de la rivière et N le nombre total des profondeurs à mesurer.

Le débit de la rivière est donc donné par le produit de la vitesse par la surface mouillée :

$$Q = V_{moy} S_{moy} \quad (22)$$

C'est l'énergie cinétique par unité de poids du liquide en mouvement, donnée par la relation :

$$H_{dyn} = \frac{v^2}{2g} \quad (23)$$

Dans une section déterminée, la hauteur totale est donnée par :

$$H = Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \quad (24)$$

La hauteur H1 totale de charge dans la section d'aspiration de la pompe s'écrit :

$$H_1 = Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} \quad (25)$$

La hauteur H2 totale de charge dans la section de refoulement de la pompe s'écrit :

$$H_2 = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (26)$$

La hauteur manométrique totale de la pompe est la différence algébrique entre la hauteur totale de charge au refoulement et la hauteur totale de charge à l'aspiration. Soit :

$$H_{MT} = H_2 - H_1 \quad (27)$$

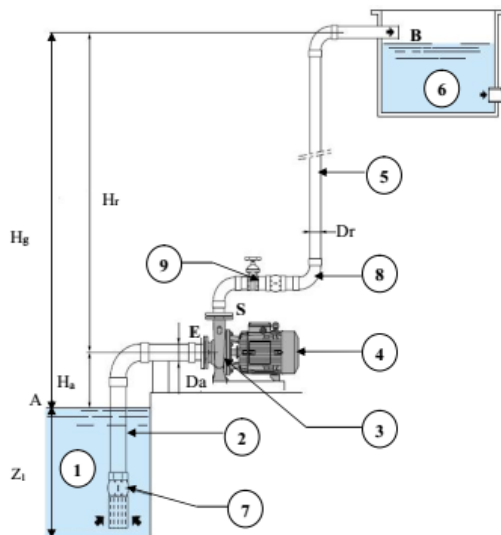


Figure 3. Schéma descriptif du système de pompage

En tenant compte des pertes de charge dus au frottement entre les points A et B, pendant l'aspiration et le refoulement, la hauteur manométrique totale, mesurée en mètres de colonne (mCL), est déterminée par [3]:

$$H_{mT} = H_g + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + J_a + J_r \quad (28)$$

où J_a est la perte de charge de la conduite à l'aspiration et J_r la perte de charge de la conduite au refoulement.

C'est la puissance communiquée au liquide à son passage à travers la pompe

$$P_U = \rho g Q H_{MT} \quad (29)$$

C'est la puissance mesurée sur l'accouplement de la pompe ou puissance sur l'arbre de la pompe.

$$P_a = \frac{P_U}{\eta} = \frac{\rho g Q H_{MT}}{\eta} \quad (30)$$

La puissance fournie par le moteur est donnée par :

$$P_m = \frac{P_a}{\eta_m \eta_{tr}} = \frac{\rho g Q H_{MT}}{\eta_m \eta_{tr}} \quad (31)$$

Dans un système de pompage solaire, la valeur du Rendement de transmission (ligne d'arbres, coupleur, multiplicateur,) varie généralement entre 0,8 et 0,9

Le diamètre intérieur de conduite d'aspiration est donné par :

$$D_a = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_a}} \quad (32)$$

Le diamètre intérieur de conduite de refoulement est donné par :

$$D_r = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_r}} \quad (33)$$

Le Nombre de Reynolds au niveau d'aspiration est :

$$R_e = \frac{\rho v_a D_a}{\mu} \quad (34)$$

Le Nombre de Reynolds au niveau de refoulement est:

$$R_e = \frac{\rho v_r D_r}{\mu} \quad (35)$$

La Perte de charge singulière est donnée par [5] :

$$J_{sx} = \xi \frac{V_x^2}{2g} \quad (36)$$

La Perte de charge régulière est donnée par [5]:

$$J_{rx} = \lambda_x \frac{L_{cx} V_x^2}{D_x 2g} \quad (37)$$

Remarque : l'indice « x » peut être remplacé par « a » au niveau de l'aspiration et par « r » au niveau du refoulement.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

A. Eclairage au niveau Cap Diego

Le tableau 1 rassemble les valeurs des éclairagements, direct, diffus et global, dans le site d'étude, pendant une journée. L'éclairage solaire reçu par un panneau solaire varie typiquement de la manière représentée sur la figure 1 au cours d'une journée moyennement trouble : nul la nuit, il augmente dès lever du jour pour atteindre un maximum au midi solaire avant de décroître de nouveau jusqu'à s'annuler à la tombée de la nuit

Tableau 1: Valeurs des éclairagements, direct, diffus et global, dans le site d'étude

Temps légal (h)	Edirect [GWh]	Ediffus	Eglobal	Débit
6	1,48	21,81	23,29	28,18
7	140,22	82,26	222,49	269,16
8	347,46	100,79	448,25	542,28
9	537,08	120,19	657,27	795,15
10	682,28	139,59	821,87	994,28
11	768,89	153,50	922,39	1115,90
12	790,00	157,30	947,30	1146,00
13	744,43	149,35	893,78	1081,30
14	635,09	132,80	767,89	928,98
15	471,46	112,79	584,25	706,81
16	271,07	94,30	365,37	442,02
17	71,36	71,26	142,62	172,53

A titre d'illustration graphique, les résultats ci-dessus sont consolidés dans la figure suivante:

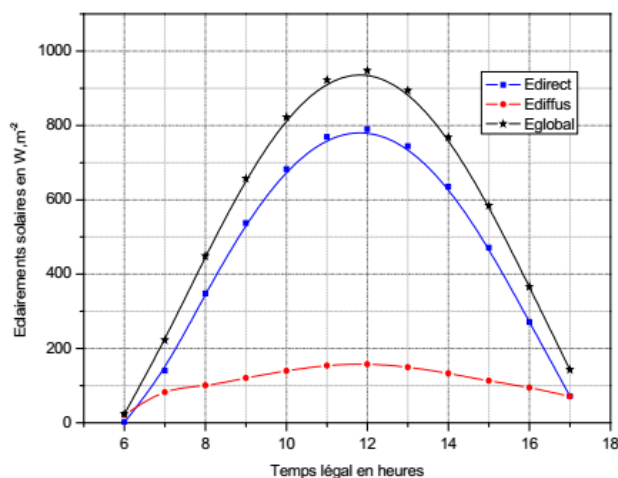


Figure 4. Eclairagements solaires en fonction du temps TL pour n = 197 dans le cas d'un ciel moyennement trouble

B. Variations du débit en fonction du temps

La figure 5 démontre que le débit varie en fonction du temps.

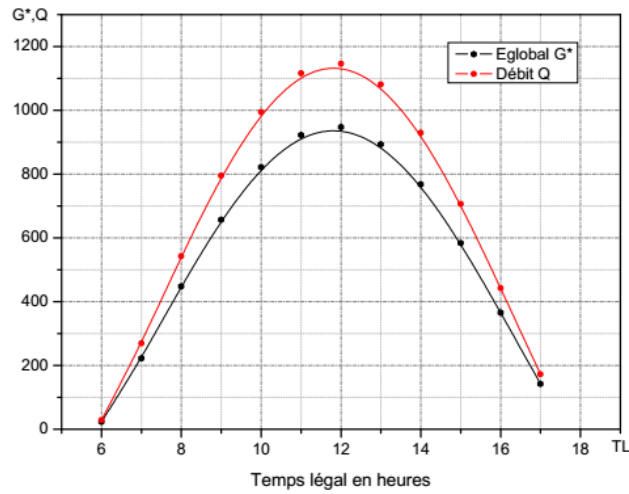


Figure 5. Eclairages solaires en fonction du temps TL pour n = 197 dans le cas d'un ciel moyennement trouble

Si on linéarise les courbes ci-dessus, on a une courbe de variation de débit en fonction de l'éclairage global:

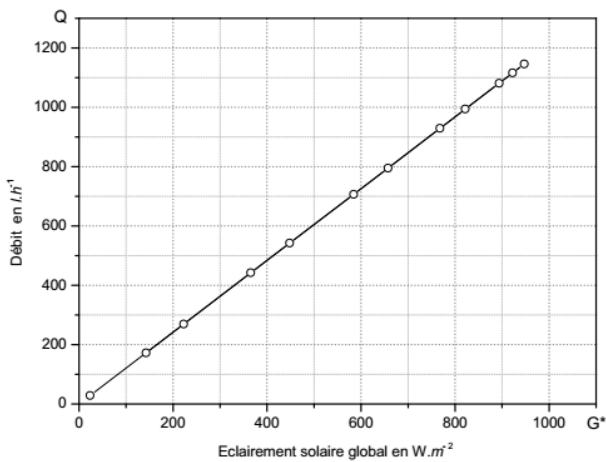


Figure 6. Variations du débit en fonction de l'éclairage global

La pompe débite dès que l'ensoleillement est suffisant. Le débit croît jusqu'à midi, puis décroît au cours de l'après-midi. La pompe s'arrête en fin d'après-midi. Donc le débit de la pompe, augmentera proportionnellement avec l'ensoleillement pour atteindre le maximum à midi solaire. On peut affirmer que le débit d'une pompe croît linéairement en fonction de l'éclairage global

C. Variations du débit en fonction de la HMT

On a vu ci-dessus que le débit est fonction du temps. En combinant ce dernier avec la hauteur manométrique, on a le résultat suivant:

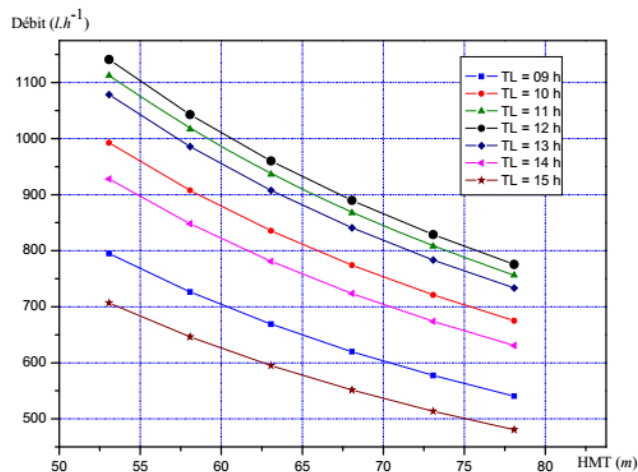


Figure 7. Variations du débit en fonction de la hauteur HMT pour différentes valeurs du temps

En subdivisant la variation en deux demi-journées, on a:

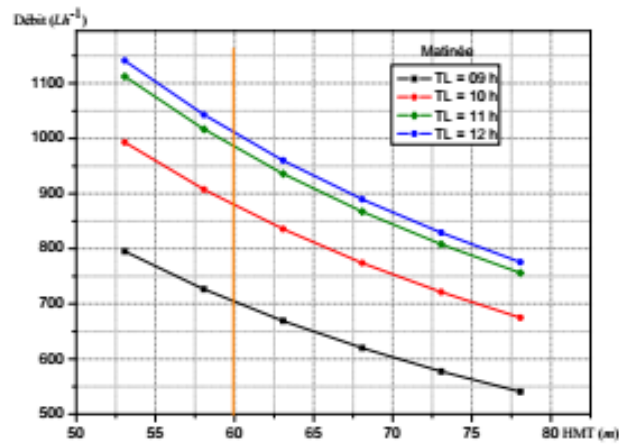


Figure 8. Variations du débit en fonction de la HMT (matinée)

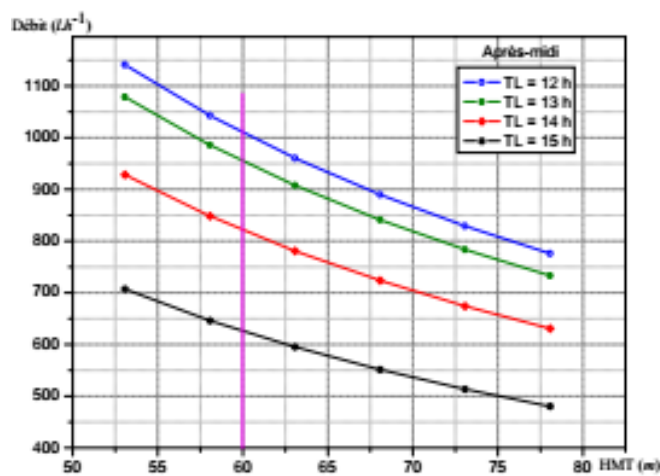


Figure 9. Variations du débit en fonction de la HMT (après-midi)

Les courbes débit - HMT ont normalement une évolution stable, c'est-à-dire la hauteur manométrique totale, HMT diminue lorsque le débit d'une pompe croît. Le débit d'une pompe varie en fonction du temps légal aussi, c'est-à-dire le débit et TL croît jusqu'à midi, puis décroît au cours de l'après-midi.

IV. Conclusion et perspective

Le présent article a permis de dégager des critères de choix, de dimensionnement et d'optimisation de l'exploitation d'un système de pompage photovoltaïque pour mener à bien son étude de faisabilité technique.

Le paramètre central est le débit. Ceci conduit ainsi au dimensionnement approximatif de la capacité de stockage de l'eau. Les éléments conditionnant le choix d'une moto-pompe dépendent de plusieurs facteurs importants: le type de pompe voulu, le type du moteur, la puissance nécessaire pour le pompage, la hauteur manométrique totale de l'installation, le débit d'eau etc.

L'analyse est à peu près identique pour le choix et le dimensionnement des panneaux solaire : leurs caractéristiques constructeurs de tension et puissance étant variables d'un modèle à un autre.

Finalement, le positionnement, la détermination de la puissance crête des panneaux solaires ainsi que la surface nécessaire pour le bon fonctionnement de la pompe peuvent être calculés. Ceux-ci nécessitent quelques connaissances des paramètres géographiques du site ainsi que de son ensoleillement.

Les résultats obtenus par simulation présentés dans cette étude montrent que la hauteur manométrique du système de pompage photovoltaïque fonctionnent au fil du soleil dépend de la hauteur géométrique et des pertes de charge au niveau d'aspiration et de refoulement.

La quantité journalière d'eau pompé dépend de:

- **la puissance crête de panneau solaire,**
- **le rendement du système de pompage photovoltaïque,**

- l'éclairement global,
- la hauteur manométrique totale.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. Zaninetti, *Modélisation vectorielle de l'éclairement global en lancer de rayons*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2013, p. 190.
- [2] Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric Schiller, Bocar Sada Sy, *le pompage photovoltaïque*, IEPF/Université d'Ottawa/EIER/CREPA, 1998.
- [3] KSB-Aktiengesellschaft, *Détermination des pompes centrifuges*. Frankenthal: KSB AG, 2005.
- [4] J.B. Blaisot, *énergie solaire*, 2010, p.79
- [5] Sellem Fouad, *Hydraulique Générale*, Institut National Agronomique, Département du génie rural, Section hydraulique Agricole.
- [6] André LAUGIER et Jean Alain ROGER, *Les photopiles solaires du matériau au dispositif du dispositif aux applications*.
- [7] Eric MICHEL et Arnaud DEVES, *Energie photovoltaïque application au traitement de l'eau potable et des eaux usées en zones rurales. FNDA n° 12 Réédition 2003*
- [8] André SAVATIER et François GADELLE, *Les pompes et les stations de pompage. Troisième édition mise à jour et complétée*, 1994.