

Dimensionnement et conception d'un système de pompage solaire PV pour le maraichage à ANERSOL au Niger

**Ahmed ISSOUFOU IMADAN¹, Guy Clarence SEMASSOU¹, Hamidou AROUNA SALEY^{2,3,4},
Lawan SANI³ et Ibrahim DOUDOU BOUKARY⁴**

¹ *University of Abomey-Calavi (UAC), Laboratory of Energetics and Applied Mechanics (LEMA),
01BP 2009, Cotonou, Bénin*

² *Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi (UDDM), Faculté des Sciences Techniques (FST),
Département de Physique (DP), BP 465, Maradi, Niger*

³ *Université d'Agadez (UAZ), Institut Universitaire de Technologie (IUT), Département des Energies
Renouvelables (DER), BP 119, Agadez, Niger*

⁴ *Agence Nationale de l'Energie Solaire (ANERSOL), Direction d'Ingénierie (DI), BP 621, Niamey, Niger*

(Reçu le 10 Janvier 2024 ; Accepté le 19 Février 2024)

* Correspondance, courriel : ahmedissoufimadan@gmail.com

Résumé

Le système solaire PV de pompage d'eau pour l'irrigation est une innovation technologique qui utilise des pompes à eau plus efficaces et plus économiques. Malgré tous les avantages qu'offre cette technologie, beaucoup des petits exploitants agricoles ont eu une mauvaise expérience de cette technologie par l'installation des systèmes non ou mal dimensionnés, et continuent d'utiliser les pompes thermiques à énergies fossiles. Pour pallier ce problème, cette étude s'est fixée les objectifs suivants : (1) dimensionner et concevoir un système d'irrigation solaire PV efficace sur la base d'une bonne méthode de dimensionnement puis (2) comparer ses performances technico-économiques par rapport à une pompe thermique à essence pour le même service. Le dimensionnement a été effectué à l'aide d'une méthode analytique qui prend en compte les caractéristiques du site et la configuration du système de pompage à installer. Le choix de ladite configuration a été guidé par l'existence d'un potentiel solaire intéressant et des besoins en eau d'irrigation non négligeables sur le site d'étude à savoir : une irradiation moyenne annuelle de 5,41 kWh/m²/jour et un besoin en eau de 6,5 m³/jour. Les résultats obtenus ont montré que la taille minimale du Générateur PV est de l'ordre de 307 Wc et le coût global d'investissement s'élève à 2 887 500 FCFA pour une durée d'exploitation de 18 ans. Comparé à système de pompage à essence, l'étude de la rentabilité d'installation a montré un temps de retour sur investissement de 5 ans 3 mois 25 jours. Soit un pompage gratuit de 12 ans avec un bénéfice net de 6 890 100 F CFA. Un tel système de pompage est donc, à juste titre, rentable et peut être recommandé et proposé à l'ANERSOL afin de mieux le valoriser et le diffuser à grande échelle dans le but d'améliorer significativement les productions maraichères au Niger et dans la sous-région.

Mots-clés : *dimensionnement, conception, pompage solaire PV, ANERSOL, Niger.*

Abstract

Sizing and design of a PV solar pumping system for market gardening in ANERSOL, Niger

The solar PV water pumping system for irrigation is a technological innovation that uses more efficient and economical water pumps. Despite all the advantages offered by this technology, many small-scale farmers have had a bad experience of it through the installation of unsized or poorly dimensioned systems, and continue to use fossil-fueled thermal pumps. To alleviate this problem, this study set itself the following objectives : (1) to size and design an efficient solar PV irrigation system on the basis of a sound sizing method, and then (2) to compare its techno-economic performance with that of a gasoline-powered thermal pump for the same service. Sizing was carried out using an analytical method that takes into account the characteristics of the site and the configuration of the pumping system to be installed. The choice of the said configuration was guided by the existence of an interesting solar potential and significant irrigation water requirements on the study site, namely : an average annual irradiation of 5.41 kWh/m²/day and a water requirement of 6.5 m³/day. The results show that the minimum size of the PV generator is 307 Wp, and the overall investment cost is 2,887,500 FCFA for an 18-year operating period. Compared with a gasoline-powered pumping system, the profitability study showed a payback time of 5 years 3 months 25 days. In other words, free pumping for 12 years with a net profit of 6,890,100 F CFA. Such a pumping system is therefore justifiably profitable, and can be recommended and proposed to ANERSOL for further development and large-scale deployment, with the aim of significantly improving market garden production in Niger and the sub-region.

Keywords : *sizing, design, solar pv pumping, ANERSOL, Niger.*

1. Introduction

Les sources d'énergie conventionnelles telles que le nucléaire ou les combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz) sont issues de stocks limités de matières extraites du sous-sol de la terre. Chacune d'elles provoquent dans leurs utilisations des conséquences à long terme plus ou moins importantes sur l'environnement et qui tendent à être mieux maîtrisées : pollution atmosphérique, changement climatique, contamination radioactive, etc. [1]. Par contre les sources d'énergie renouvelable (le soleil, le vent, l'eau, la végétation, la géothermie) sont propres et illimitées, leur utilisation ne pollue pas l'atmosphère et elles ne produisent pas de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et les oxydes d'azote qui sont responsables du réchauffement climatique de la terre et de la destruction de la couche d'ozone [2]. Depuis la découverte de l'énergie photovoltaïque, l'utilisation de l'énergie solaire est devenue l'une des applications les plus prometteuses, dans les pays développés où l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque est pour l'instant le plus courant, il sert habituellement de complément d'énergie électrique à usage domestique et industriel en milieu urbain et dans les pays en voie de développement qui sont pour la plupart équatoriaux ou tropicaux, donc très ensoleillés, et qui ont beaucoup de localités où le réseau électrique est absent, l'énergie photovoltaïque devrait être par conséquent sans concurrence [3]. Cette réalité est encore plus accentuée dans le cas d'applications au pompage d'eau dans les pays sahéliens tel que le Niger, du fait de l'adéquation entre la demande maximale en eau, et la disponibilité optimale de la ressource solaire. Cependant, il est à constater que le pompage d'eau dans les états sahéliens se fait généralement dans le but de satisfaire les besoins des populations, des agriculteurs et du bétail en eau potable dans les régions où aucun réseau de distribution d'eau n'est prévu ou parvenu [4]. La zone sahélienne est caractérisée par des précipitations faibles (300 à 700 mm/an) avec une forte variabilité interannuelle et intra-saisonnière. L'évapotranspiration potentielle très importante (~2500 mm/an) rend le déficit hydrique chronique. Les systèmes agraires y sont basés sur l'agriculture pluviale de subsistance et l'élevage extensif, qui sont très vulnérables aux aléas climatiques. En années de

sécheresse, le déficit de production agricole entraîne des crises alimentaires, avec des famines qui peuvent être dramatiques (1913, 1973 et 1984) [5]. Face aux enjeux récurrents des sécheresses et des inondations qui pèsent sur les moyens d'existence des agriculteurs et des éleveurs, l'eau représente souvent un problème dans le Sahel, qu'il y en ait trop ou pas assez et ce sont les plus pauvres et les plus vulnérables qui sont le plus touchés [6]. Pour développer l'irrigation, les eaux souterraines, mieux réparties dans l'espace, pourraient également être mobilisées, là où des terres irrigables sont aussi disponibles. Pays sahélien enclavé, le Niger illustre bien la problématique de sécurité alimentaire : une population avec un taux d'accroissement de plus de 3,83 % en 2017, vivant à 80 % de l'agriculture et de l'élevage, une pression forte sur des terres agricoles vulnérables à l'érosion qui conduit à un appauvrissement des sols, une irrégularité des rendements et de la production agricole qui entraîne des déficits céréaliers parfois importants. Depuis les grandes crises sahéliennes des années 1970 et 1980, le Niger fait régulièrement face à des crises alimentaires nationales : 1991, 2005 et 2010 [5]. L'autosuffisance alimentaire est donc au cœur des stratégies de développement du pays. L'irrigation est considérée comme le meilleur moyen d'augmenter la production agricole et de réduire sa vulnérabilité face à la variabilité climatique. Avec l'appui des bailleurs de fonds internationaux, l'État a lourdement investi dans la grande irrigation, dont les superficies sont passées de 350 ha en 1934 à 13 000 ha en 2012 [5]. Le Niger dispose d'un potentiel hydraulique considérable mais difficilement mobilisable et se trouve confronté à d'importants problèmes [7] et les estimations du potentiel en terres irrigables varient entre 220 000 et 440 000 ha [6]. C'est dans le cadre de l'exploitation de ces importants potentiels que l'état du Niger a mis en place des stratégies pour accompagner les différents acteurs concernés dans sa stratégie nationale d'approvisionnement en eau afin de faciliter l'agriculture irriguée, accroître la surface irriguée et pouvoir atteindre les objectifs fixés par l'Etat. L'objectif global de cette étude est de dimensionner un système de pompage solaire photovoltaïque puis faire une analyse comparative de ses performances technico-économiques par rapport à un système de pompage par groupe électrogène à essence ou diesel.

2. Présentation du système de pompage d'eau

Quel que soit le système d'approvisionnement en eau déployé, le pompage d'eau est un élément essentiel pour véhiculer de l'eau (transfert) ou pour soulever l'eau à des conditions d'exploitation favorables à l'utilisation domestique, agricole ou industrielle à l'aide d'une pompe et une source d'approvisionnement en énergie électrique (l'ensemble appelé système de pompage d'eau) [8]. A ce jour, on distingue plusieurs techniques de systèmes de pompage d'eau à savoir :

- Le Pompage manuel : système de pompage à motricité humaine, sans électricité.
- Le Pompage d'eau par groupe électrogène par combustion de l'essence, du gasoil ou du gaz.
- Le Pompage d'eau par le réseau électrique (électropompes).
- Le pompage éolien : basé sur l'exploitation de la force du vent.
- Le pompage solaire photovoltaïque : basé sur la conversion de la lumière du soleil en électricité grâce à l'effet photovoltaïque.
- Le pompage hybride : système fonctionnant avec deux ou plusieurs sources d'énergies différentes.

De toutes ces systèmes, seulement le système de pompage solaire PV et le système de pompage par groupe électrogène à essence rentrent dans le cadre de cette étude.

2-1. Système de pompage solaire PV

Les panneaux solaires photovoltaïques produisent l'énergie électrique sous forme d'un courant continu qui est converti à travers un convertisseur statique pour alimenter un groupe moto - pompe immergé ou flottant. Le groupe motopompe est composé d'un moteur à courant alternatif mono, bi ou triphasé ou à courant continu à commutation électronique qui est couplé à une pompe centrifuge à étages multiples ou à une pompe volumétrique ou autre suivant le débit recherché. La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes alors que la pompe volumétrique transmet l'énergie du moteur par un mouvement hélicoïdal qui permet littéralement de propulser l'eau à la surface. Les systèmes proposés sont composés de modules photovoltaïques montés sur un châssis de support incliné suivant la latitude du site afin d'optimiser la production photovoltaïque, ou rotatif suivant la course du soleil pour exploiter le plein potentiel solaire. Le dispositif est complété par le convertisseur statique monté en surface et qui permet la conversion du courant continu produit par le champ solaire en courant alternatif ou continu pour alimenter le moteur couplé à la pompe. Un château peut être placé en sortie de la pompe pour un stockage de l'eau permettant d'avoir une réserve utilisable même sans soleil (cas étudié ici). Les pompes peuvent aussi fonctionner en rajoutant des batteries. Dans ce cas un parc batterie est rajouté dans l'installation, ainsi qu'un régulateur de charge qui gère la charge des batteries. Les panneaux solaires chargent les batteries en journée et la pompe peut être utilisée pendant la nuit [9 - 15].

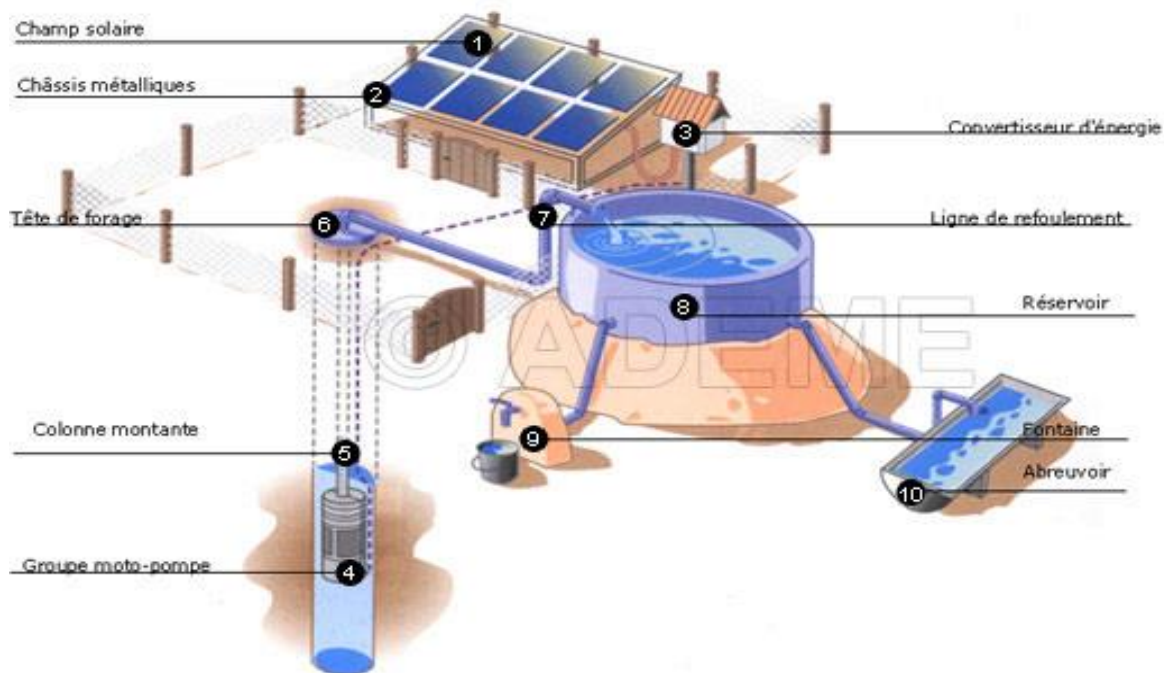


Figure 1 : Installation d'un système de pompage solaire PV [9]

2-2. Système de pompage à essence

La motopompe à essence est un ensemble compact comprenant sur un même châssis un moteur et une pompe. Le moteur consomme de l'énergie fossile liquide (essence, pétrole, gasoil ou gaz). La mise en marche des motopompes à essence se fait manuellement en tirant sur un fil relié. C'est un système de pompage qui ne nécessite l'intervention humaine qu'au démarrage et à l'arrêt. Son exploitation nécessite la recharge permanente du carburant et l'entretien du moteur (vidange) [10]. Le démarrage des motopompes à essence se fait selon les étapes standards ci-après :

- Installer la motopompe sur un support flexible pour minimiser les vibrations du moteur et le contact avec l'eau.
- Faire l'appoint de carburant.
- Vérifier l'appoint d'huile jusqu'au niveau préconisé.
- Connecter les tuyauteries (exhaure et refoulement).
- Remplir le corps de la pompe d'eau.
- Ouvrir le robinet de carburant.
- Placer la tirette du starter (levier) sur « ON ».
- Mettre le contacteur sur « ON ».
- Tirer sur la poignée du lanceur.
- Placer la tirette du starter (levier) sur « OFF ».



Figure 2 : Pompe à essence [10]

2-3. Facteurs sociaux, technico-économiques et environnementaux de deux systèmes

Le pompage motorisé joue un rôle important dans l'accroissement des superficies irriguées car il réduit considérablement le temps et la force consentis pour l'exhaure manuel. L'utilisation des sources d'énergie fossile n'est pas sans conséquence sur l'environnement. En effet, les pompes à essence émettent des nuisances sonores et du dioxyde de carbone dont l'ampleur varie selon l'état de la pompe. Dans les zones rurales, plusieurs pertes en vie humaines sont enregistrées suite à l'asphyxie lors du démarrage des pompes thermiques suspendues dans les puits ou contre puits, la fuite des hydrocarbures des pompes [10]. De nos jours, aucun impact environnemental significatif n'est encore relevé pour le système de pompage solaire. De Plus, pour les mêmes cultures, le bénéfice d'exploitation tirés de l'utilisation du système solaire sont supérieurs. La durée de vie est de 18 ans au minimum pour le système solaire a alors que les pompes à essence ne dépassent pas 2 à 5 ans au maximum [16]. Le **Tableau 1** ci-dessous présente les principaux avantages et inconvénients de deux systèmes [17 - 21].

Tableau 1 : Comparaison des deux systèmes

Systèmes	Avantages	Inconvénient
Pompage solaire PV	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de charge d'exploitation - Durée de vie élevée - Possibilité d'atteindre les nappes de profondeur moyenne - Irrigation de grandes superficies 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût d'investissement élevé - Temps limité d'irrigation et faible débit en période de faible ensoleillement - Nettoyage fréquent des panneaux en période de poussière - Vol et vandalisme des équipements - Qualité douteuse des équipements
Pompage à essence	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilité des pompes sur le marché - Prix abordable des pompes - Disponibilité de l'essence - Disponibilités des artisans réparateurs - Disponibilité des pièces de rechanges 	<ul style="list-style-type: none"> - Prix élevé de l'essence - Recharge fréquente du carburant - Entretien courant - Emissions de gaz à effet de serre - Durée de vie courte - Nuisance sonore - Risque d'incendi lié aux transport et stockage non appropriés de l'essence - Isure rapide des pièces maîtresses

3. Méthodologie

La méthode de travail était basée sur : l'expérimentation sur les sites (essais et mesures, puis caractérisation du site), le dimensionnement du système de pompage PV et une comparaison des performances technico-économiques avec un système de pompage à essence.

3-1. État des lieux

Le site d'étude concerné est situé dans l'enceinte de l'Agence Nationale de l'Energie solaire (ANERSOL). C'est un champ de moringa reparti sur un terrain rectangulaire d'une longueur de 49 m (quarante-neuf mètre) et d'une largeur de 22 m (vingt-deux mètre) soit donc une surface de 1078 m² (mille soixante-dix-huit mètre carré). Le local dispose déjà d'un puit de forage d'une profondeur total de 45 m (quarante-cinq mètre), de deux réservoirs de stockage d'eau en plastique d'un volume totale de 10 m³ placés à une hauteur de 5 m (cinq mètre) par rapport au sol maintenus sur un support en dalle de béton et une installation des gouteurs pour une irrigation goutte à goutte. La distance entre le puit et le réservoir est de 25 m (vingt-cinq mètre). Le travail à faire consiste à dimensionner un système de pompage solaire PV sur le site afin d'assurer le besoin en eau nécessaire pour pouvoir irriguer le champ par une irrigation goutte à goutte.



Figure 3 : Champ à irriguer



Figure 4 : Réservoirs de stockage

3-2. Dimensionnement

3-2-1. Dimensionnement du système solaire

Dimensionner un système photovoltaïque, c'est déterminer en fonction des sollicitations telles que l'ensoleillement et le profil de charge, l'ensemble des éléments de la chaîne photovoltaïque afin de garantir une bonne fourniture d'énergie. Dans tous les cas il est nécessaire de connaître le besoin en eau, le gisement d'énergie solaire du site concerné. Le dimensionnement d'un système de pompage solaire PV peut se faire soit de manière analytique ou à l'aide d'un logiciel [21 - 26]. Nous avons opté pour la méthode analytique pour la bonne prise en compte des paramètres réels mesurés sur le site d'étude. Nous avons suivi les étapes ci-dessous selon l'ordre d'agencement pour y parvenir à un dimensionnement optimal :

- Détermination des besoins en eau du champ à irriguer ;
- Détermination de l'ensoleillement du site d'étude ;
- Détermination de la hauteur manométrique HMT ;
- Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire ;
- Dimensionnement et choix du type de motopompe ;
- Estimation de l'énergie solaire disponible ;
- Dimensionnement du générateur PV ;
- Dimensionnement de la section des câbles et de la tuyauterie.

3-2-1-1. Détermination du besoin en eau du champ à irriguer

Quant à la détermination de la quantité d'eau à apporter (Q), on doit irriguer de sorte à compenser les pertes par évaporation et à prévenir la salinisation de la rhizosphère. Le moringa étant classé parmi les cultures maraichères, son besoin en eau est estimé à $60m^3/jour/ha$ selon le **Tableau 2** ci-dessous fourni par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Tableau 2 : Besoin en eau des Cultures selon l'OMS

Irrigation	Débit Q (m ³ /jour/ha)
Agricultures Maraichères	60
Riz	100
Graines	45
Canne à sucre	65
Coton	55

NB : Pour cette étude notre champ est d'une superficie de 1078 m² soit 0,1078 ha. Du coup le besoin en eau de notre champ est déterminé par la **Relation 1** ci-après :

$$Q = 60 \times 0,1078 \quad (1)$$

3-2-1-2. Détermination de l'ensoleillement du site d'étude (Hi)

Le site est localisé sous une latitude de 13.52° Nord, une longitude de 2.10° Est et une altitude de 207 m correspondants à la localisation de la ville de Niamey (Niger), ce qui donne une orientation optimale de 15° Nord-sud pour la fixation des modules solaires. En ce qui concerne l'ensoleillement Hi, nous avons placé un solarimètre sur un module solaire fixé à 15° Nord-Sud pour la mesure d'ensoleillement journalier pendant un mois. Ceci nous a permis de trouver les moyennes journalières annuelles d'ensoleillement sur le site pour le dimensionnement. La **Figure 5** ci-après montre l'appareil utilisé pour mesurer l'ensoleillement sur le site d'étude.



Figure 5 : Solarimètre utilisé pour mesurer l'ensoleillement sur le site d'étude

3-2-1-3. Détermination de la hauteur manométrique HMT

La hauteur manométrique totale d'une pompe est la différence de pression en mètre de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Elle est déterminée par les **Relations 2, 3 et 4** suivantes.

$$HMT = H_g + \Delta J \quad (2)$$

H_g : Hauteur géométrique (m) ;

$$H_g = N_d + H_r \quad (3)$$

$$HMT = N_d + H_r + \Delta J \quad (4)$$

avec, N_d : Niveau dynamique (m) ; H_r : Hauteur du réservoir (m) ; Δj : représente les pertes de la charge produite par le frottement de l'eau sur les parois de conduites. Ces pertes de charges correspondent à 10 % de H_g .

Pour rappel de notre cas : $N_s = 11 \text{ m}$; $N_d = 22 \text{ m}$; $H_r = 05 \text{ m}$; $\Delta j = 2.7 \text{ m}$. Le diagramme permettant de la détermination de la HMT est présenté sur la **Figure 6** ci-dessous.

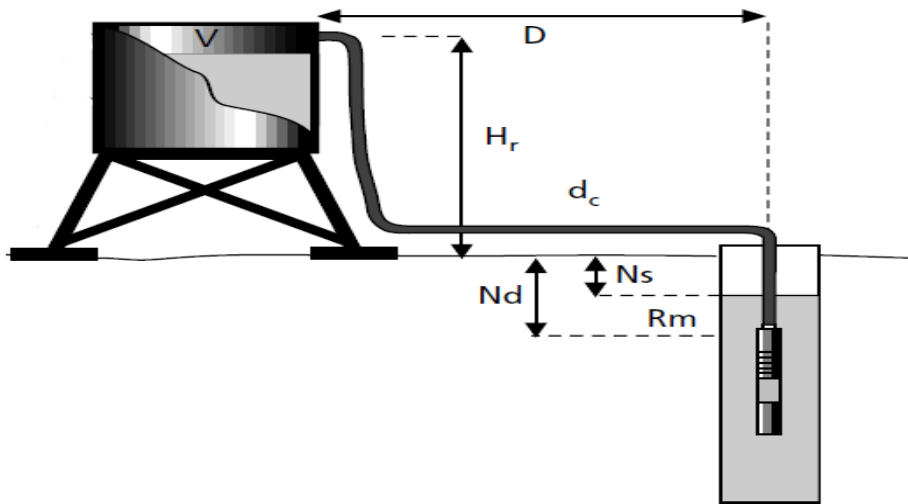


Figure 6 : Etapes de calcul de la HMT [8]

3-2-1-4. Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire

Nous avons calculé l'énergie hydraulique moyenne journalière nécessaire à partir de la **Relation 5** suivante :

$$E_h = Ch \times Q \times HMT \tag{5}$$

avec, E_h : Energie hydraulique (Wh/j) ; Ch : Constante hydraulique (kg.s.h/m²), dépendant de la gravité terrestre et de la densité d'eau ; $Ch = g \times f / 3600 = 9,81 \times 1000 / 3600 = 2,725 \text{ (kg.s.h/m}^2\text{)}$; Q : Débit journalier (m³/jour) ; HMT : Hauteur manométrique totale (m).

3-2-1-5. Dimensionnement et choix du type de motopompe

Le choix de la pompe se fait en fonction des caractéristiques hydrauliques de l'installation envisagée (débit d'eau, HMT). Mais pour le choix idéal de la pompe appropriée pour notre système, elle est choisie aussi en fonction de la HMT et du débit horaire (Qh) qui est le quotient du débit journalier sur la durée maximum de l'ensoleillement (8h pour cette étude).

$$Q_h = Q / T \tag{6}$$

D'où notre choix porté sur la pompe de marque Lorentz de modèle *PS200-HR-07* dont les caractéristiques sont indiquées dans le **Tableau 3** ci-dessous.

Tableau 3 : Gamme de pompe Lorentz de modèle PS200

PS200	HR-04	HR-07	HR-14
HMT(m)	0-50	0-30	0-20
Débit max (m ³ /h)	0.8	1.2	2.7
Fonctionnement solaire direct	24-48VDC	24-48VDC	24-48VDC
Rendement (%)	40-60	40-61	40-62

3-2-1-6. Estimation de l'énergie solaire disponible

Elle est appelée aussi l'énergie électrique. C'est l'énergie nécessaire pour soulever une quantité d'eau à une hauteur donnée pendant une journée, elle est calculée à partir de **l'Équation** suivante

$$E_{elec} = E_h / (R_{mp} \times R_{ond}) \quad (7)$$

avec, E_{elec} : Energie électrique (Wh/j); E_h : Energie hydraulique (Wh/j); R_{mp} : Rendement du groupe motopompe ; R_{ond} : Rendement de l'onduleur.

NB : Lorsque le couple est direct (sans onduleur) l'expression précédente devienne la suivante :

$$E_{elec} = E_h / R_{mp} \quad (8)$$

3-2-1-7. Dimensionnement du générateur PV

Ce dimensionnement tient compte (en gros) de la puissance nominale du champ de module (P_c) majorée des différentes pertes (conversion de tension, régulation, etc.) et de l'ensoleillement du site. Son montage (Orientation) dépend de sa position géographique (latitude). Le dimensionnement proprement dit, c'est-à-dire l'agencement série - parallèle des panneaux solaires se détermine conjointement avec le choix de la pompe pour qu'il y ait compatibilité entre l'offre et la demande d'énergie. En effet, les caractéristiques tension et courant des modules photovoltaïques et de la pompe doivent être en corrélation. Si la corrélation n'est pas respectée, des éléments peuvent se retrouver en panne. Tout cela est scrupuleusement régulé par l'onduleur s'il y en a besoin (cas d'une pompe fonctionnant en courant alternatif), dans le cas d'un accouplement direct ceci est pris en compte dans le dimensionnement. Pour la détermination de cette puissance crête nous avons utilisé la **Relation (8) et la Relation (9)** suivante :

$$E_{elec} = P_c \times H_i \times K_p \quad (9)$$

avec, P_c : puissance crête (W); H_i : Irradiation solaire ($kWh/m^2/j$); K_p : coefficient de productivité du générateur, $K_p = 0,8$ pour un système sans batterie.

En égalisant les **Relations (8) et (9)** nous aurons :

$$P_c = (Ch \times Q \times HMT) / (R_{mp} \times H_i \times K_p) \quad (10)$$

D'où on déduit que :

$$P_c = E_{elec} / (H_i \times K_p) \quad (11)$$

Le nombre (N) de panneau nécessaire pour cette installation est déterminé de la manière suivante :

$$N_s = V_{syst} / V_{mod} \quad (12)$$

avec, N_s : Nombre de panneau en série ; V_{syst} : Tension du système ; V_{mod} : Tension du module solaire.

$$N_p = P_c / (N_s \times P_{cmod}) \quad (13)$$

avec, N_p : Nombre de panneau en parallèle ; P_{cmod} : puissance crête du module solaire.

La fiche technique du module utilisé est donnée dans le **Tableau 4** ci-dessous

Tableau 4 : Caractéristiques du module solaire utilisé

Technologie	Sun Plus
Puissance crête	110 Wc
Tension de puissance max (Vmp)	18 V
Courant de puissance max (Imp)	6.5 A
Tension de court-circuit (Voc)	21.6 V
Courant de court-circuit (Icc)	7 A

3-2-1-8. Dimensionnement de la section des câbles et de la tuyauterie

La section du câble est déterminée par la **Formule** suivante :

$$S \geq (2 \times \varphi \times L \times I) / (\Delta V \times U) \tag{14}$$

avec, φ : résistivité, elle est de $0.017 \Omega/\text{mm}^2/\text{m}$ pour les conducteurs en aluminium ; L : longueur 25 m ; I : intensité du générateur (A) ; U : la tension du générateur (V) ; ΔV : Chute de tension, elle de 3 % selon la norme française C 15712.

Le diamètre de la tuyauterie a été choisi sur la base de la fiche technique de la pompe utilisée qui conseille un diamètre de 4'' soit 100 mm.

3-2-2. Dimensionnement et choix de la motopompe à essence

Notre choix est porté sur la motopompe Yamaha de modèle YP 20C d'une durée de vie de 2 ans en raison de 2h par jour et d'un débit maximal de 36 m³/h. C'est la motopompe légère, elle est la plus utilisée dans les périmètres irrigués des agriculteurs rencontrés pour l'irrigation des petits périmètres.

4. Résultats et discussion

4-1. Résultats de dimensionnement du système solaire

Le **Tableau 5** ci-dessous présente les résultats de dimensionnement obtenus pour le système de pompage solaire selon la méthode analytique proposée et suivie.

Tableau 5 : Résultats de dimensionnement

Besoin en eau	6,5 m ³ /j
Ensoleillement du site	5,41 kWh/m ² /jour
HMT	30 m
Energie hydraulique	531 ,375 Wh/j
Energie électrique (solaire)	1 328,5 Wh/j
Puissance crête nécessaire	307 Wc
Nombre des panneaux	3
Puissance crête installée	330 Wc
Tension du générateur	54 V
Intensité du générateur	6,5 A
Section des câbles	6 mm ²
Diamètre de la tuyauterie	100 mm / (4'')

4-2. Coût d'investissement et d'exploitation du système solaire

L'ensemble des coûts d'investissement et d'exploitation du système solaire dimensionné pour une durée de vie minimale de 18 ans est donné dans le **Tableau 6** suivant.

Tableau 6 : Coût global du système solaire pour 18 ans

N°	Composants	Prix unitaire (F CFA)	Nombre	Prix total (F CFA)
1	Module solaire	90 000	3	270 000
2	Fixation des modules	12 500	3	37 500
3	Pompe	1 200 000	1	1 250 000
4	Tuyauterie (55 m)	6 000	55	330 000
5	Câble un rouleau (4× 6 mm ²)	5 000	100	500 000
6	Ingénierie	500 000	1	500 000
7	Coût d'investissement initial			2 887 500
Coût Total d'exploitation sur 18 ans				2 887 500

4-3. Coût d'acquisition et d'exploitation de la motopompe à essence

Le **Tableau 7** ci-après présente le coût d'investissement pour l'acquisition de la motopompe et le coût de son exploitation incluant la consommation en carburant, les vidanges et les éventuelles pannes et réparations sur une durée de 18 ans.

Tableau 7 : Coût d'acquisition et d'exploitation de la motopompe à essence sur 18 ans

Désignation	Prix (F CFA)
Motopompe	120 000
Consommation en carburant (2l/j)	788 400
Vidange chaque 2 semaines	78 000
Maintenances et réparations	100 000
Coût total sur 2 ans	1 086 400
Coût Total d'exploitation sur 18 ans	9 777 600

L'utilisation de la motopompe à essence pour une durée de 2 ans s'élève à un million quatre-vingt-six mille quatre cent franc CFA (1 086 400 F CFA). Donc l'utilisation de la motopompe pour une durée de 6 ans s'élèvera à trois million deux cent cinquante-neuf mille deux cent franc CFA (3 259 200 F CFA) ce qui dépasse même l'investissement de système photovoltaïque (2 887 500 F CFA) qui a une durée de vie minimale de dix-huit ans (18 ans) alors que le coût d'exploitation de la motopompe à essence sur une durée de 18 ans, s'élève à neuf million sept cent soixante-dix-sept mille six-cent franc CFA (9 777 600 F CFA). Ce qui permet de déterminer un temps de retour sur investissement de 5 ans 3 mois 25 jours. Ici en utilisant le pompage solaire, l'agriculteur bénéficiera d'un système de pompage gratuit de plus de 12 ans contrairement à celui qui utilise la motopompe à essence, ce qui lui permettra également d'économiser une somme de six million huit-cent quatre-vingt-dix mille cent franc CFA (6 890 100 F CFA) par rapport à celui qui va utiliser la motopompe à essence durant 18 ans.

5. Conclusion

Le pompage de l'eau est un élément primordial dans le cycle de l'eau (adduction d'eau potable, irrigation, industrie). Différents systèmes de pompage de l'eau de l'archaïque au moderne existent. Ces systèmes peuvent être applicables surtout dans les zones sahéniennes. Le choix de tels systèmes (conventionnelle, à énergie renouvelable ou hybride) est tributaire de plusieurs facteurs dont notamment les paramètres caractérisant

les sites, la puissance électrique requise pour l'exhaure et la distribution de l'eau projetée, le coût d'investissement et les contraintes d'accès au site. A cet effet, on peut dire que l'efficacité de tout système porte sur son coût et sa durée de vie. Certes le coût de notre système de pompage solaire PV est un peu élevé pour un début de fonctionnement mais quand on tient compte de la faible maintenance que nécessite le système, sa durée de vie avant l'amortissement (18 ans au minimum), ses avantages économiques et environnementaux vis-à-vis de l'utilisation de la motopompe à essence, on peut conclure que notre système est un système performant, fiable, viable et économiquement rentable.

Références

- [1] - R. ZEGAIT, M. B. TRIA, M. AZLAOUI et S. KAREF, « Etude technico-économique d'un système de pompage solaire dans le Sahara algérien (Application sur quelque puits pastoraux) », Centre de Développement des Energies Renouvelables, Algérie, 543 - 548
- [2] - S. OULD-AMROUCHE, D. REKIOUA et A. HAMIDAT, « Modelling photovoltaic water pumping systems and evaluation of their CO2 emissions mitigation potential », doi: 10.1016/j.apenergy.2010.05.021, *Appl. Energy*, Vol. 87, N°11 (2010) 3451 - 3459
- [3] - M. A. HOSSAIN, M. S. HASSAN, M. A. MOTTALIB et S. AHMMED, « Technical and Economic Feasibility of Solar Pump Irrigations for Eco-friendly Environment », doi: 10.1016/j.proeng.2015.05.047, *Procedia Eng.*, Vol. 105, (2015) 670 - 678
- [4] - A. KABADE, A. RAJORIYA et U. C. CHAUBEY, « Solar Pump Application in Rural Water Supply - A Case Study from Ethiopia », *Int. J. Energy Eng.*, Vol. 3, N° 5 (2013) 176 - 182
- [5] - Y. NAZOU MOU, G. FAVREAU, M. M. ADAMOUE et I. MAÏNASSARA, « La petite irrigation par les eaux souterraines, une solution durable contre la pauvreté et les crises alimentaires au Niger ? », doi: 10.1051/cagri/2016005, *Cah. Agric.*, Vol. 25, N° 1 (2016) 15003 - 15013
- [6] - F. BRONDEAU, « La gestion de l'eau à l'Office du Niger : bilan, enjeux et perspectives (Water management in the Office of Niger : assessment, stakes and perspectives) », doi: 10.3406/bagf.2003.2335, *Bull. Assoc. Géographes Fr.*, Vol. 80, N° 3 (2003) 269 - 286
- [7] - H. KIMBA, « La politique nationale de l'eau et de l'assainissement du Niger : approche de gestion intégrée des ressources en eau a l'échelle locale, régionale, nationale et internationale », Haut-Commissariat à l'Aménagement de la vallée du Niger, 17 p.
- [8] - S. S. CHANDEL, M. NAGARAJU NAIK et R. CHANDEL, « Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies », doi: 10.1016/j.rser.2015.04.083, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Vol. 49, N° 9 (2015) 1084 - 1099
- [9] - R. NISHA et K. GNANA SHEELA, « Review of PV fed water pumping systems using BLDC Motor », doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.612, *Mater. Today Proc.*, Vol. 24, (2020) 1874 - 1881
- [10] - PARIIS NIGER, « Etude Comparative des performances technico-économiques des systèmes de pompage à l'essence, au gaz et à l'énergie solaire », ZIS/CILSS, (2023) 5 p.
- [11] - S. MEUNIER et al., « A validated model of a photovoltaic water pumping system for off-grid rural communities », doi: 10.1016/j.apenergy.2019.03.035, *Appl. Energy*, Vol. 241, N° 5 (2019) 580 - 591
- [12] - I. B. CARRÊLO, R. H. ALMEIDA, L. NARVARTE, F. MARTINEZ-MORENO et L. M. CARRASCO, « Comparative analysis of the economic feasibility of five large-power photovoltaic irrigation systems in the Mediterranean region », doi: 10.1016/j.renene.2019.08.030, *Renew. Energy*, Vol. 145, N° 1 (2020) 2671 - 2682
- [13] - P. REJEKININGRUM et Y. APRIYANA, « Design and implementation of solar pump irrigation systems for the optimization of irrigation and increase of productivity », doi: 10.1088/1755-1315/622/1/012046, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, Vol. 622, N° 1 (2021) 19 p.

- [14] - GET. INVEST, « Les énergies renouvelables dans les chaînes de valeur agricoles modèle d'analyse de rentabilité : pompage d'eau à l'énergie solaire photovoltaïque », Bruxelles, 6 (2019) 11 p.
- [15] - T. T. ASSEFA et al., « Evaluating Irrigation and Farming Systems with Solar MajiPump in Ethiopia », doi: 10.3390/agronomy11010017, *Agronomy*, Vol. 11, N° 12 (2020) 17 p.
- [16] - PIETRO ELIA et al, "Dynamic modeling of a PV pumping system with special consideration on water demand", Elsevier, ICAE, (2012) 39 p.
- [17] - D. YAMEGUEU, Y. ALOKORE et G. CORSO, « Potential of microfinanced solar water pumping systems for irrigation in rural areas of Burkina Faso », doi: 10.1186/s13705-019-0190-7, *Energy Sustain. Soc.*, Vol. 9, N° 12 (2019) 13 p.
- [18] - C. S. GUNO et C. B. AGATON, « Socio-Economic and Environmental Analyses of Solar Irrigation Systems for Sustainable Agricultural Production », doi : 10.3390/su14116834, *Sustainability*, Vol. 14, N° 6 (2022) 6834 - 6849
- [19] - D. D. GOYAL, « Solar pumps and drip irrigation help Indian farmers save water and energy », *Rural* 21, 2 (2015) 3 p.
- [20] - M. T. EJIGU, « Solar-powered pump drip irrigation system modeling for establishing resilience livelihoods in South Omo zone and Afar regional state, Ethiopia », doi: 10.1007/s40808-020-00927-2, *Model. Earth Syst. Environ.*, Vol. 7, N° 3 (2021) 511 - 521
- [21] - A. HAFFAF, F. LAKDJA, R. MEZIANE et D. O. ABDESLAM, « Study of economic and sustainable energy supply for water irrigation system (WIS) », doi: 10.1016/j.segan.2020.100412, *Sustain. Energy Grids Netw.*, Vol. 25, N° 3 (2021) 100412 - 100459
- [22] - L. DIOP, « Technical and economic feasibility of solar irrigation pumping system: a review », doi: 10.51526/kbes.2020.1.01.1-22, *Knowl.-Based Eng. Sci.*, Vol. 1, N° 12 (2020) 1 - 22
- [23] - N. HOQUE, A. ROY, MOHD. R. A. BEG et B. K. DAS, « Techno-Economic Evaluation of Solar Irrigation Plants Installed in Bangladesh », doi: 10.14710/ijred.5.1.73-78, *Int. J. Renew. Energy Dev.*, Vol. 5, N° 2 (2016) 73 - 78
- [24] - H. HARTUNG et L. PLUSCHKE, « The Benefits and Risks of Solar Powered Irrigation », FAO, Rome, (2018) 87 p.
- [25] - R. B. SILVA, I. TEODORO, J. L. D. SOUZA, R. A. FERREIRA JÚNIOR, M. A. D. SANTOS et G. M. C. MARTINS, « Water balance and technical-financial performance of irrigation in the cassava cultivation », doi: 10.1590/0034-737x202370050007, *Rev. Ceres*, Vol. 70, N° 5 (2023) 70507 11 p.
- [26] - R. PARMAR et al, "Performance Analysis of Cost Effective Portable Solar Photovoltaic Water Pumping System", doi : <https://doi.org/10.21218/CPR.2021.9.2.051>, *Current Photovoltaic Research*, Vol. 9, N° 2 (2021) 51 - 58