



LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES

Génie Électrique

RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé

Etude et dimensionnement
D'un système de pompage
solaire photovoltaïque.

Réalisé par :

DAO Bintou Nagasso

Encadré par :

Pr ZAZ Ghita (FST FES)

Mr BAMOU Abderrahmane (Elec Energie)

Soutenu le 04 juillet 2022 devant le Jury

Pr ZAZ Ghita (FST FES)

Pr MECHAQRANE Abdellah (FST FES)

Remerciements :

Je remercie tout d'abord ALLAH le tout puissant qui m'a permis d'en arriver jusque-là, ensuite je remercie Mr BAMOU Abderrahmane pour m'avoir donné l'opportunité de faire un stage au sein sa société. Je remercie aussi Mme Sara pour sa gentillesse à mon égard.

Un très grand merci à mon encadrante Pr Ghita ZAZ pour m'avoir aidé à réaliser ce projet, sa patience, sa gentillesse, ses conseils et remarques m'ont été d'une très grande utilité pour mener à bien cette tâche, sans oublier tous les professeurs que j'ai eu à côtoyer durant mon parcours universitaire, merci à eux pour leurs efficacités et leurs professionnalismes, ils m'ont beaucoup appris.

Je remercie également Dada (A.H.H) pour le soutien incondtionnel qu'il m'a apporté.

Dédicaces :

Je dédie mon travail à mon très cher père ainsi qu'à ma très chère mère pour m'avoir soutenu dans tous mes choix, dans les bons ainsi que les mauvais moments, à mon frère et mes sœurs, à ma famille et amis(es) proches.

SOMMAIRE :

Remerciements.....	2
Dédicaces.....	3
Avant-Propos	7
CHAPITRE1 : PRESENTATION DE LA SOCIETE.....	9
I Historique	9
II Structure et organisation de la société :.....	9
III Activité de la société :.....	9
IV Produits de la société :	10
V Fiche technique :	10
VI. Objectif du Stage :	10
CHAPITRE2 : ÉTUDES DES COMPOSANTS D'UN SYSTÈME DE POMPAGE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE.	12
I Introduction.....	12
II Présentation du système.....	12
III Types de systèmes de pompages.....	12
IV Éléments principaux d'un système de pompage.....	13
1. Les panneaux solaires.....	13
2. La pompe.....	14
a) Le moteur.....	14
a)1. Le moteur à courant continu.....	14
a)2. Le moteur à courant alternatif.....	14
b) Les turbines.....	14
c) Types de pompes.....	14
d) Types de poses.....	15
d.1 Pompe de surface.....	15
d.2 Pompe immergée.....	15
3. Variateur de vitesse[7].....	15
V Conclusion.....	15
CHAPITRE3: DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME DE POMPAGE.....	16
I. Introduction :.....	16

III. Définition de la zone géographique.....	17
IV. Définition des besoins en eau	18
V. Dimensionnement de la partie hydraulique	19
VI. Dimensionnement du réseau solaire.....	21
VII. Dimensionnement de la partie électrique.....	25
VIII. Résultats de la simulation.....	29
IX. Conclusion.....	30
CONCLUSION.....	31
Liste des figures	32
Bibliographie	33

Liste des abréviations :

AC : Courant alternatif

A : Ampères

DC : Courant continu

HMT : Hauteur Manométrique Totale

Imp : Intensité(courant) idéale, pour un panneau fonctionnant à pleine puissance

Icc : Courant de court-circuit

In : Intensité nominale

Irm : Intensité maximum de retour

Ie : Courant d'emploi

Iz : Courant admissible

Lc : Longueur Critique

mm^2 = Millimètre carré

Ng : densité de foudroiement

P : Puissance

PV : photovoltaïque

Ue : tension d'emploi

V : Volt

Vmp : Tension idéale à pleine tension

Voc : Tension à vide

Wc : Watt Crête

Wh : Watt heure

Liste des tableaux :

Table 1: Fiche technique10

Table 2: Références de la pompe.....20

Table 3: Références des panneaux solaires.21

Table 4: Références du variateur.22

Avant-Propos :

A la fin du cycle Licence Sciences et Techniques (LST), chaque étudiant de la Faculté des Sciences et Techniques (FST) est amené à faire un stage d'une durée de 2mois au sein d'une entreprise pour y acquérir d'avantages expériences afin d'accroître ses connaissances. C'est dans cette optique que j'ai eu la chance de faire un stage dans une société qui s'occupe des énergies renouvelables plus précisément « **l'énergie solaire** ». Durant ce stage j'ai assisté et participé à la réalisation de certains projets sur l'énergie solaire, ce qui m'a permis d'approfondir mes connaissances. Parmi ces différentes réalisations il y'a eu celle du pompage solaire photovoltaïque qui est le thème de ce rapport.

INTRODUCTION :

L'énergie d'un système solaire photovoltaïque fournie de nos jours l'énergie électrique nécessaire pour plusieurs utilisations, notamment pour le fonctionnement d'une pompe permettant de puiser l'eau à de grandes profondeurs.

Le système de pompage solaire utilise une source d'énergie renouvelable (le soleil) 100% verte, ce qui permet de réduire l'utilisation de combustibles fossiles qui dans quelques années seront épuisés et en plus polluent l'atmosphère. Il s'adapte particulièrement dans les zones où les ressources en eau sont peu accessibles, dans les zones agricoles, et dans les zones les plus isolées où il n'y a pas réseaux électriques et d'infrastructures adéquates. C'est la raison pour laquelle le pompage solaire suscite de plus en plus l'intérêt des gens dans toutes les régions du monde.

La problématique du sujet est de dimensionner un système de sorte qu'il soit le plus optimale et sécurisé possible. Ce travail est représenté dans le présent rapport en trois (3) parties :

La 1^{ère} partie portera sur la présentation de la société Elec Energie,

La 2^{ème} sur l'étude les différents composants d'un système de pompage solaire,

Et pour finir la dernière partie portera le dimensionnement de notre système et une simulation grâce au logiciel PVsyst.

CHAPITRE1 : PRESENTATION DE LA SOCIETE.

I Historique

La société **Elec Energie** est une société marocaine de forme anonyme SA, qui a vu le jour en 2012 sous la devise « SAVE OUR PLANET ». Elle a pour but le renforcement de l'utilisation des produits énergétiques photovoltaïques, notamment dans le cadre de la stratégie énergétique à l'horizon 2030.

II Structure et organisation de la société :

La société ELEC ENERGIE se compose de :

- **M. BAMOU Abderrahmane** : Directeur technique ou directeur général, il s'occupe de mettre en route les chantiers et de diriger les équipes, réaliser les commandes de matériels.
- **M. ABDALLAOUI Mohammed** : Directeur commercial celui-ci s'occupe de voir les clients, de dimensionner les installations puis de réaliser des devis, il est Techno-commercial.
- **Mme Sara** : Secrétaire, elle s'occupe de la réception des clients et de fournir des informations aux clients et de programmer les rendez-vous pour le Directeur.
- **Des techniciens** : Ils s'occupent des installations.

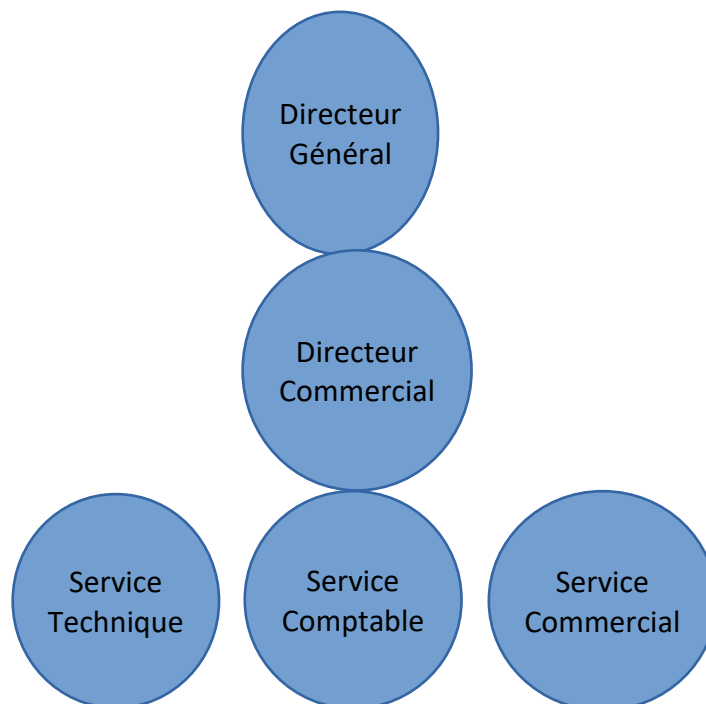


Figure 1: Organigramme de la société Elec Energie.

III Activité de la société :

Elec Energie offre des services comme :

- _ l'installation des pompes solaires photovoltaïques, des chauffe eaux solaires ;
- _ vente des panneaux solaires et d'appareils électroniques solaires ;
- _ Maintenance ;
- _Électrification des sites , plomberie générale ;
- _ Audit efficacité énergétique ;
- _ études de dossiers ;

IV Produits de la société :

La société offre l'accès à plusieurs produits comme :

- _Panneaux solaires de très bonne qualité de plusieurs marques ;
- _Une large variété de pompe immergée et de surface
- _ Des variateurs et Onduleurs des marques les plus connues ;
- _ Des ampoules à basse consommation ;
- _ Des régulateurs manuels et automatiques ;
- _Des coffrets de protections pour les pompes ;

V Fiche technique :

Nom commercial : ELEC ENERGIE
Forme juridique : SARL
Date de création : 31/12/2012
Siège social : 20 rue Ben Zarte, Avenue Urbain-Soussa (Rte Imouzzer Montfleury 2) 30010 Fès.
Capital : 100 000DHS
Identifiant fiscal : 14369003
Registre de commerce : 39235
Patente : 13075054
Gmail : elecenergie.ba@gmail.com

Table 1: Fiche technique

VI. Objectif du Stage :

Les objectifs de ce projet sont :

- Comprendre le fonctionnement et l'importance du système de pompage solaire photovoltaïque à travers une étude bibliographique et quelques réalisations pratiques ;
- Dimensionner le système de pompage suivant un cahier de charges précis.
- Faire une simulation virtuelle.

La réalisation du projet s'est faite comme suite :

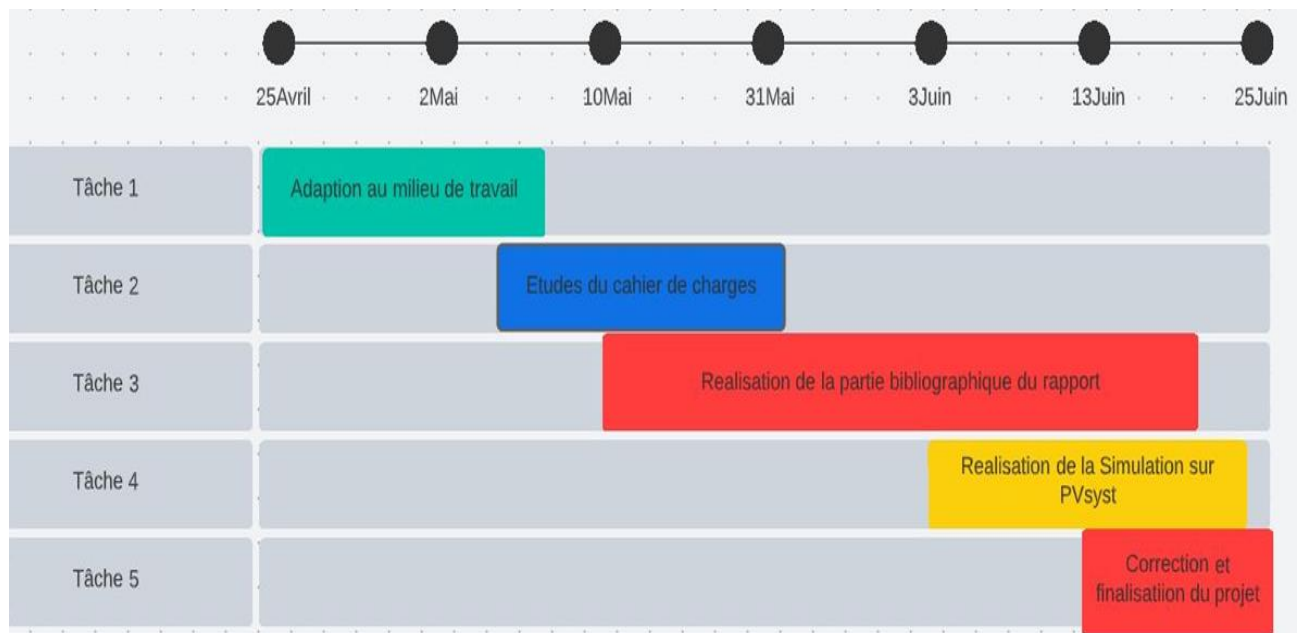


Figure 2: Diagramme de Gantt.

CHAPITRE2 : ÉTUDES DES COMPOSANTS D'UN SYSTÈME DE POMPAGE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE.

I Introduction :

Ce chapitre sera dédié à l'étude, à la description du principe de fonctionnement des différents éléments principaux du système de pompage solaire photovoltaïque.

II Présentation du système :

Un système de pompage solaire est un assemblage de plusieurs composants mécaniques et électroniques qui par leur fonctionnement permettent de puiser l'eau d'un point à un autre. Un système de pompage complet comprend :

_Des panneaux solaires photovoltaïques pour capter l'énergie solaire et la transformer en électricité,

_ D'un contrôleur (variateur/onduleur/régulateur) permettant de faire varier la fréquence et la tension de sortie en fonction de la puissance disponible du générateur solaire,

_Une pompe immergée ou montée en surface constituée d'un moteur électrique et de turbines,

_Un câblage électrique, par lequel passe l'énergie du générateur au moteur,

_De canalisations qui conduisent l'eau de sa source jusqu'aux points d'utilisation.

III Types de systèmes de pompages [1] :

Un système de pompage photovoltaïque se présente fondamentalement de deux façons selon qu'elle fonctionne avec ou sans batterie.

- La première, la pompe sans batterie, plus communément appelée « pompe **au fil du soleil** », utilise un réservoir pour stocker l'eau jusqu'au moment de son utilisation.

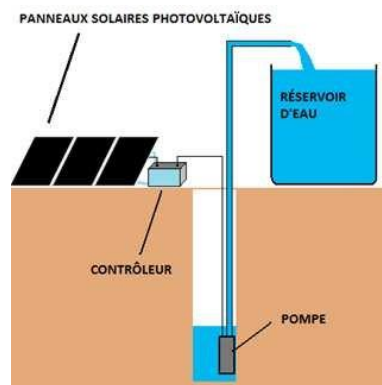


Figure 3: Pompage au fil du soleil (source : <https://www.researchgate.net>)

- La deuxième est munie d'une batterie, elle est encore appelée « Pompage isolé » permet de s'affranchir des aléas du soleil et des problèmes d'adaptation entre générateur

photovoltaïque et pompe. Le débit de pompage peut se faire à la demande, lorsque les utilisateurs en ont besoin, ou permettre un pompage régulier durant toute la journée.



Figure 4 Montage d'un système isolé réalisé à Elec Energie.

IV Éléments principaux d'un système de pompage :

1. Les panneaux solaires :

Les panneaux solaires sont un assemblage de plusieurs cellules photovoltaïques qui produisent de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque.

- **Description de l'effet photovoltaïque [2]:**

Lorsqu'un photon ultraviolet frappe la zone de transition d'une cellule photovoltaïque composée de matériau semi-conducteur, typiquement de deux couches de silicium, il arrache un électron à l'atome de silicium en y laissant un trou. Cet électron, sous l'effet du champ électrique, se déplace du côté N tandis que le trou migre du côté P (excitation d'un électron de la bande de valence vers la bande de conduction). Ainsi, grâce aux photons qui transmettent leur énergie aux électrons, un mouvement de charges électriques se produit et un courant se manifeste à l'intérieur de la matière cristalline.

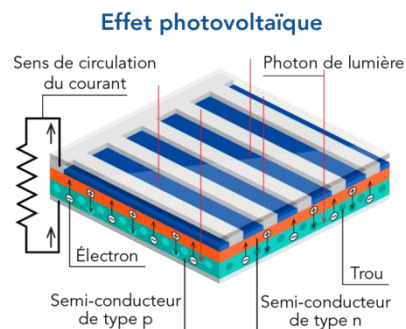


Figure 5: Effet photovoltaïque (source : <https://parlonssciences.ca>).

2. La pompe :

Toutes les pompes sont constituées d'un moteur qui est équipé d'un rotor à une ou plusieurs turbines. C'est grâce à cette ou ces roues que l'aspiration et le refoulement sont possibles.

a) Le moteur :

Les moteurs utilisés pour le pompage sont des moteurs électriques totalement protégés contre les entrées d'eau, à courant continu ou alternatif, mono ou triphasé. Le moteur électrique fournit tout simplement la puissance pour pomper l'eau.

a)1. Le moteur à courant continu [3] :

Le moteur à courant continu est entraîné par un courant continu (DC), constitué de deux parties électriques : le stator et le rotor. Lorsqu'on alimente le moteur, il se crée une interaction magnétique qui met le moteur en mouvement. Lorsqu'on inverse le sens de la tension qui alimente le moteur, il tourne en sens inverse. Ce moteur fonctionne directement avec l'énergie continue fournie par les panneaux solaires.

a)2. Le moteur à courant alternatif [4] :

Le moteur à courant alternatif est un moteur électrique entraîné par un courant alternatif (AC). L'utilisation de ce moteur nécessite un convertisseur. Il est utilisé de plus en plus pour les systèmes de pompage photovoltaïque à cause de son coût peu élevé du moteur et son faible besoin de maintenance.

b) Les turbines :

La turbine est l'élément mobile de la pompe. En tournant, elle crée une dépression entre les pâles qui aspirent l'eau et la propulse vers le moteur pour le refroidir. La plupart du temps l'échauffement des moteurs est dû à une turbine défectueuse.



Figure 6: Turbines d'une pompe démontée à Elec Energie.

c) Types de pompes [5] :

Les pompes à eau sont habituellement classées selon leur principe de fonctionnement : elles sont soit de type volumétrique ou bien de type centrifuge.

- **La pompe centrifuge :** La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues. L'eau entre au centre de la pompe et est poussée vers l'extérieure et vers le haut grâce à la force centrifuges des aubages. On utilise les pompes centrifuges pour les gros débits et les profondeurs moyennes ou faibles.
- **La pompe volumétrique :** La pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va-et-vient permettant au fluide de vaincre la gravité par

variations successives d'un volume raccordé alternativement de l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement.

d) Types de poses [6] :

d.1 Pompe de surface :

Elle est positionnée au-dessus du point d'eau avec une entrée pour l'aspiration et une sortie pour le refoulement. Le moteur assure la commande d'aspiration du corps de pompe. Le corps de pompe est muni d'une roue (turbine) qui fait circuler l'eau et la relève. L'eau est ensuite dirigée sous pression vers le raccord de refoulement. Le moteur est en partie refroidi par cette eau qui la traverse. Une pompe de surface doit donc fonctionner à l'air libre. Elle est recommandée pour les profondeurs inférieures ou égales à 8 mètres.

d.2 Pompe immergée :

Comme l'indique son nom, la pompe immergée se trouve directement dans l'eau, en général, elles sont accompagnées d'un surpresseur (réservoir vessie) qui va notamment permettre de réguler le débit et la pression. L'eau pompée est envoyée dans un tuyau, qui redirige le liquide au réseau pour y être traitée. Elle est utilisée pour les profondeurs au-delà de 8 mètres.

3. Variateur de vitesse [7] :

Un variateur électronique de vitesse est un dispositif destiné à régler la vitesse et le couple d'un moteur électrique à courant alternatif en faisant varier respectivement la fréquence et le courant, délivrés à la sortie de celui-ci. Le courant continu obtenu à partir des panneaux alimente le variateur qui, à son tour, alimente la pompe sous forme de courant alternatif, ce qui permet d'extraire l'eau de la terre.



Figure 7: Variateur de vitesse (Elec Energie).

V Conclusion :

Dans ce chapitre nous venons de voir, les principaux éléments qu'on retrouve dans tous les systèmes de pompage solaire photovoltaïque.

CHAPITRE3: DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME DE POMPAGE.

I. Introduction :

De nos jours la simulation est de plus en plus utilisée pour voir les performances d'un système avant sa mise en place. PVsyst est un logiciel utilisé par la société pour effectuer le dimensionnement et la simulation d'une installation photovoltaïque afin de voir son efficacité avant sa réalisation. Ce chapitre sera dédié au dimensionnement et à la simulation d'un système de pompage au fil du soleil pour l'approvisionnement en eau d'un site agricole avec le logiciel PVsyst. Le système sera divisé en 3 sous systèmes :

1. La partie hydraulique du système ;
2. Le réseau solaire lui-même, constitué par des panneaux solaires ;
3. La partie électrique du système constituée des convertisseurs et des câbles.

II. Cahier de charges

- _ Lieu d'implantation : Fès
- _ Un débit $Q=30\text{m}^3/\text{h}$
- _ Une HMT (Hauteur Manométrique Totale) = 100m
- _ Profondeur du puit : 80m
- _ Niveau de la pompe : 75m
- _ Niveau statique:37m

- **Taches à faire :**

- _ Dimensionner correctement le système pour finir un besoin journalier de $180\text{m}^3/\text{jour}$.

III. Définition de la zone géographique :

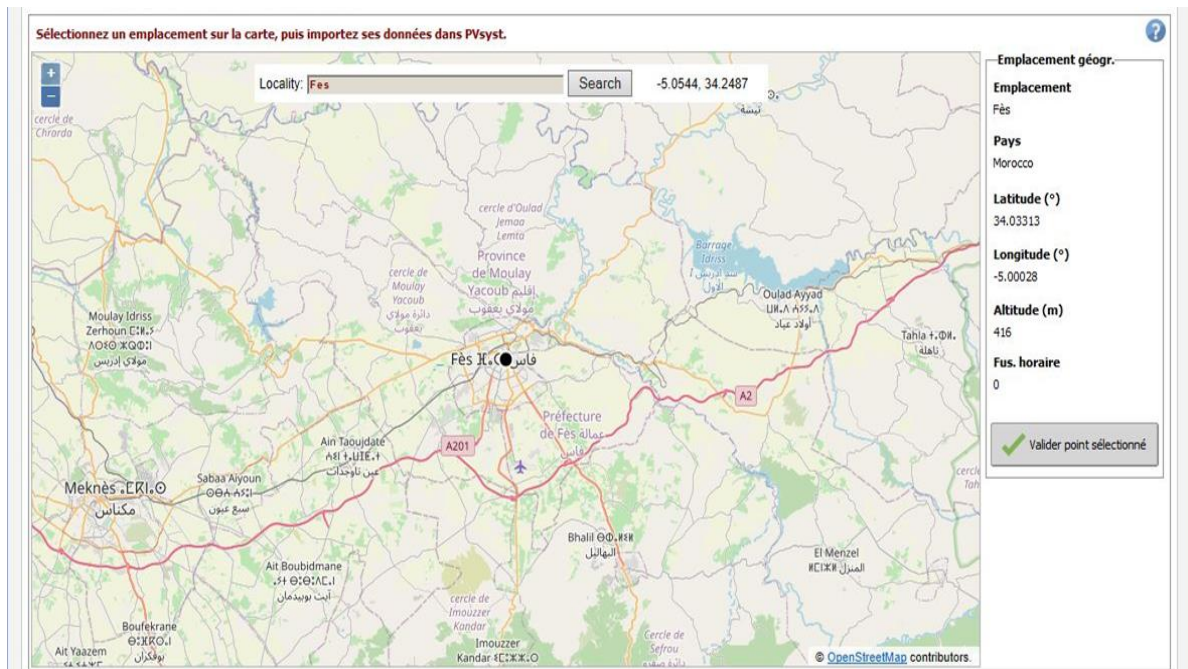


Figure 8: Définition de la localité sur le logiciel PVsyst.

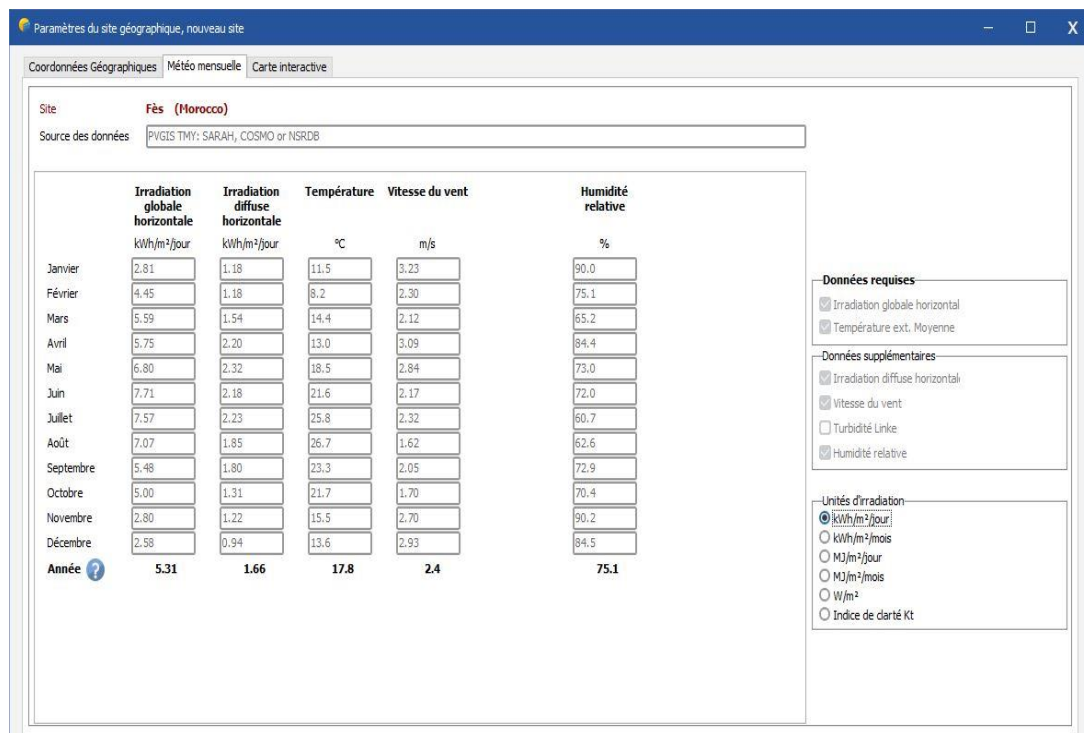


Figure9:Météo annuelle du site.

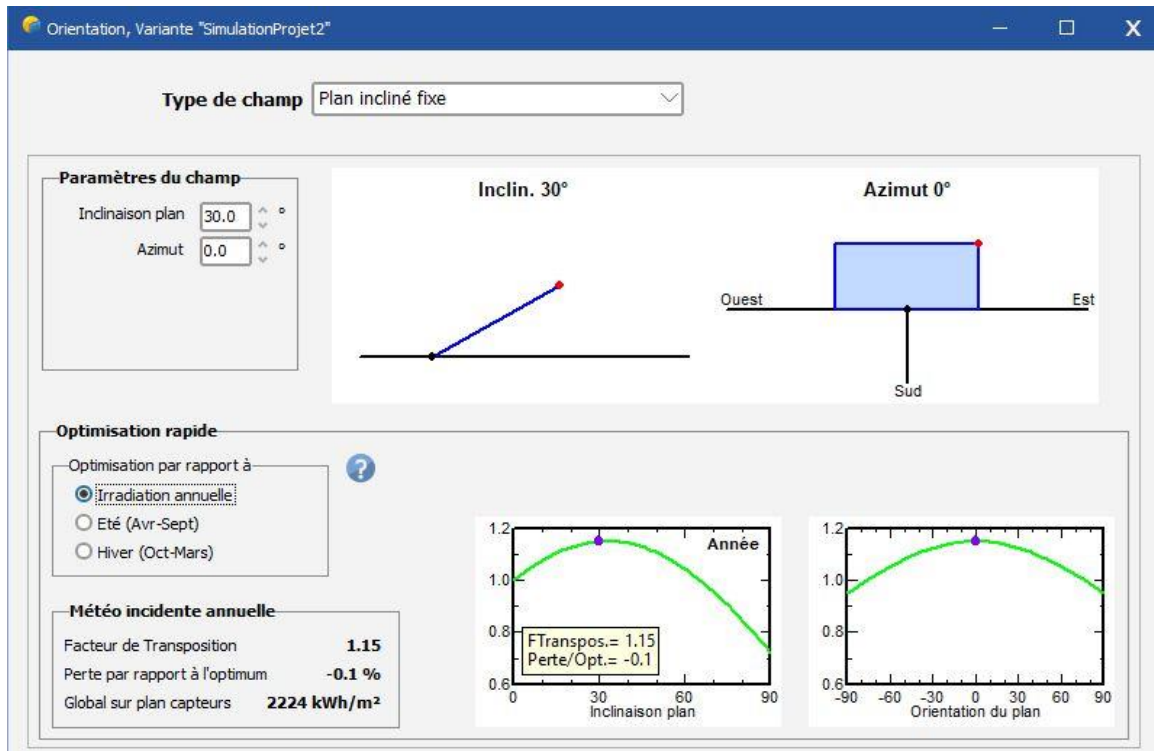


Figure 10: Inclinaison optimale du site.

Sur la figure8, il faut définir le lieu d'implantation, le logiciel se charge de fournir les données météorologiques et l'ensoleillement journalier qui est de **5.31Kwh/m² / jour**(figure9) et l'inclinaison parfait qui est de **30°**(figure10).

IV. Définition des besoins en eau :

Dans cette partie, il faut définir les différents paramètres du besoin en eaux. Ces paramètres sont :

Le niveau statique qui est la distance le niveau de l'eau et le point d'aspiration.

La hauteur dynamique qui est la distance le niveau de l'eau et le point d'aspiration quand la pompe marche.

Enfin le Rabattement qui est calculée par le logiciel par l'expression :

$$\text{Rabattement} = (\text{Niveau dynamique} - \text{Niveau statique}) / \text{Débit max.}$$

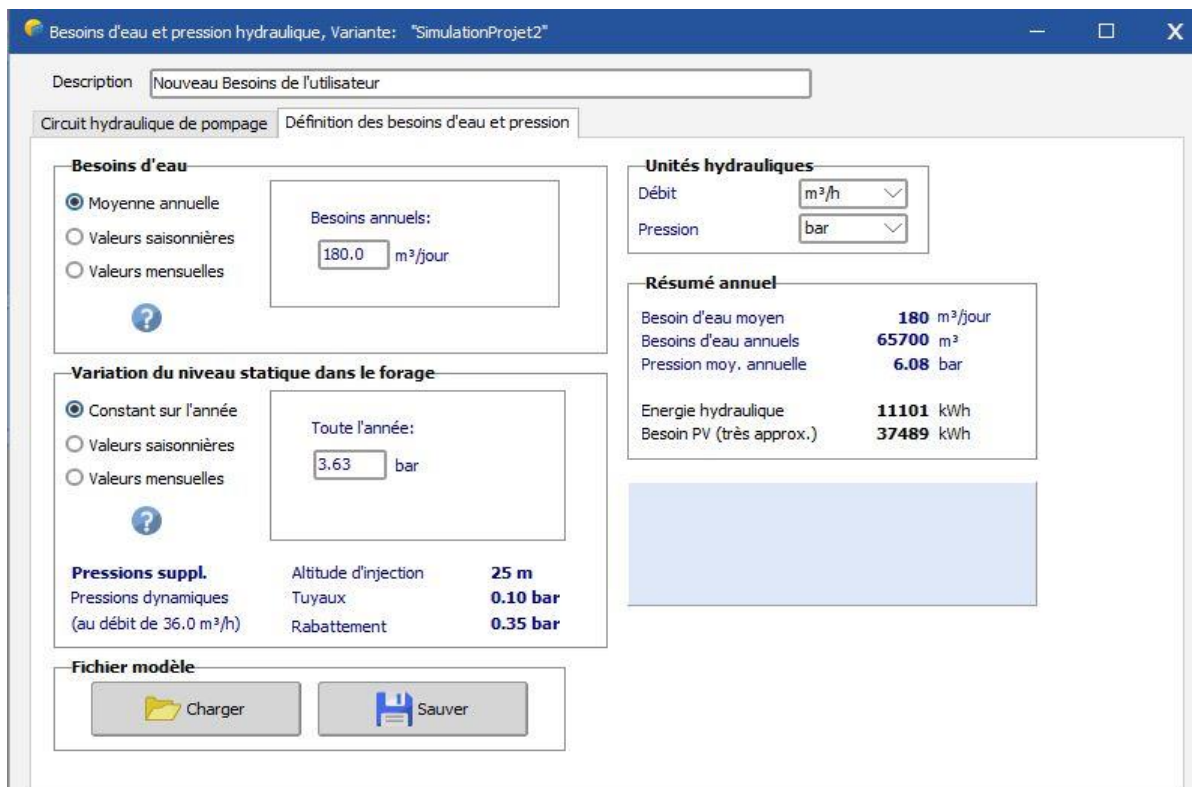
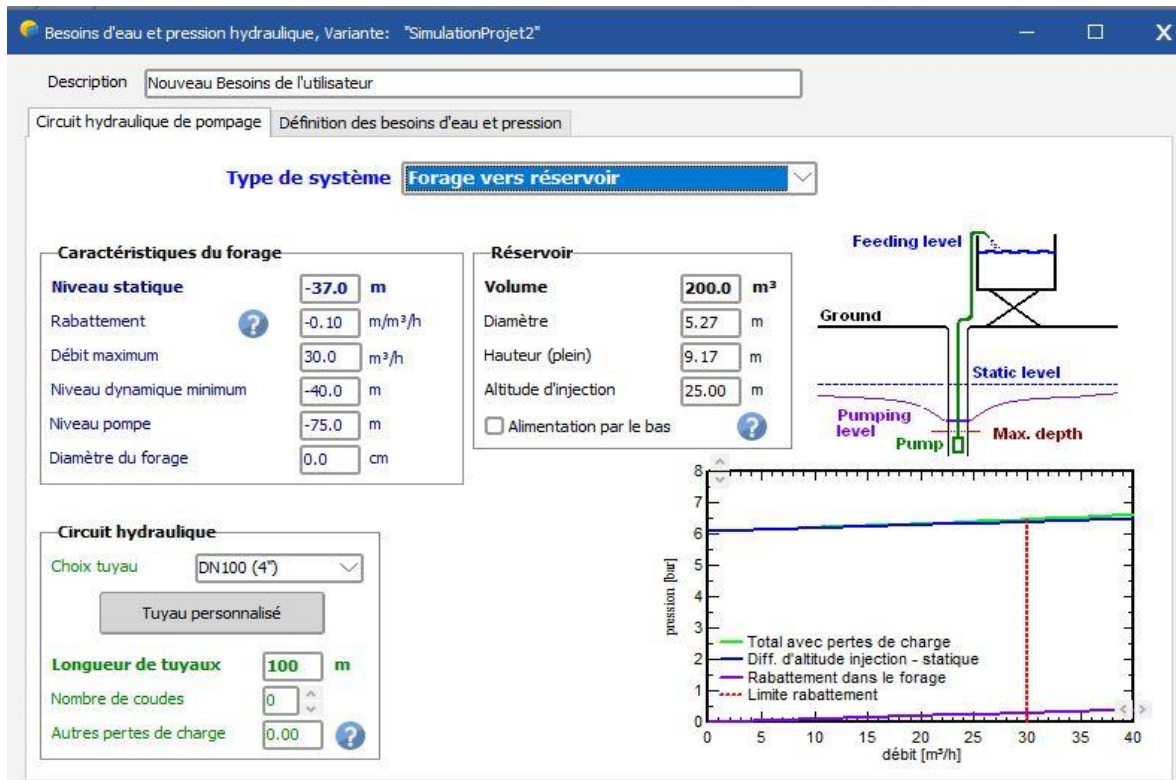


Figure 11: Définition des besoins en eau sur PVsyst.

V. Dimensionnement de la partie hydraulique :

La partie hydraulique se compose de la pompe et des canalisations

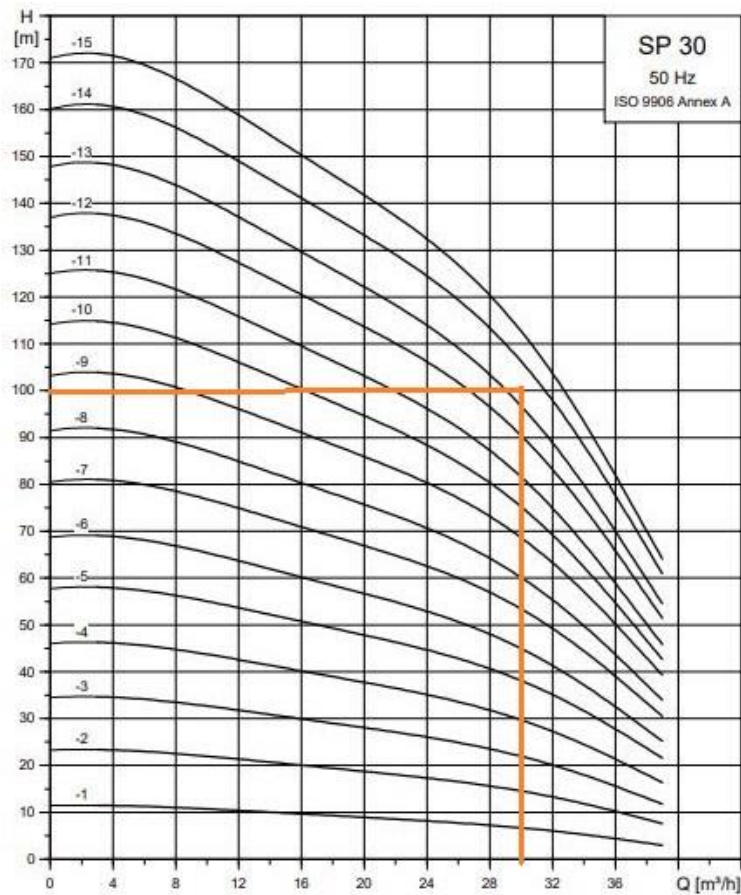


Figure 12 : Caractéristiques des pompes SP de Grundfos (source : <https://www.grundfos.com>).

En projetant la hauteur manométrique totale(HMT) en fonction du débit, on obtient un point de rencontre, ce point de rencontre correspond à la pompe idéale pour notre installation. Elle correspond à la SP30-14.



Figure 13 : Pompe SP de la marque Grundfos(source : <https://www.grundfos.com>).

Débit nominal : $30m^3/h$	Cos phi : 0.82	Rendement : 75%
Puissance nominale : 13kW	Tension nominale : 3*380-400-415V	Pression nominale : 108mCE
Fréquence : 50Hz	Courant nominal : 30-29-29A	Numéro : SP30-14

Table 2: Références de la pompe.

Suivant le tableau de référence elle a une puissance de 13KW et un rendement de 0,75.

Lors de la sélection d'une pompe, il convient de s'assurer que le débit nominal de la pompe est proche du débit de référence requis.

♦ **Le tuyau de refoulement :**

Le diamètre du tuyau de refoulement dépend du diamètre de la pompe, ainsi pour choisir le diamètre du tuyau on prend un tuyau ayant le même diamètre(D) dans notre cas le tuyau choisi sera en polyéthylène de diamètre 4 pour une longueur de 100m.

VI. Dimensionnement du réseau solaire :

Lorsque l'on réalise un pompage solaire, le but est de monter une certaine quantité d'eau à une certaine hauteur, et ce, chaque jour. Cela demande une quantité d'énergie mécanique. Pour calculer l'énergie électrique à apporter à la pompe, on utilise l'expression suivante :

L'énergie journalière (E_j) est :

$$E_j = \frac{V\left(\frac{m^3}{\text{jour}}\right) \cdot HMT(m) \cdot 2.725}{\text{rendement de la pompe}}$$

V= volume d'eau journalier

2.725= constante hydraulique

HMT= Hauteur Manométrique Totale.

$$\text{Donc } E_j = \frac{180 \cdot 100 \cdot 2.75}{0.75} = 65.4 kWh$$

La puissance crête :

Le générateur photovoltaïque doit être dimensionné de façon à satisfaire la demande quotidienne. La puissance crête correspond à la puissance maximale qu'un panneau solaire peut délivrer en électricité. L'unité de mesure de cette puissance est le watt crête (Wc). La puissance crête P_c est déterminée par :

$$P_c = \frac{E_j}{E_i \cdot K}$$

K= ratio de performance (varie entre 0.6 et 0.8)

E_i = énergie solaire moyenne par jour

$$P = \frac{Ej}{Ei \cdot K} = \frac{65400}{5.31 \cdot 0.7} = 17.5kWc$$

Nous avons choisi de travailler avec des panneaux en polycristallin de la marque SunLink d'une puissance crête de 285Wc.

Fabricant : SunLink	Impp : 8.9A	Voc : 38.5V
Modèle : SL 220-20P 285	Vmpp : 31.9V	Tension max : 1000V
Puissance max : 285Wc	Icc : 9.49A	Courant max : 15A

Table 3: Références des panneaux solaires.

Le nombre de panneaux au besoin est :

$$Np = \frac{Pc}{P} = \frac{17500}{285} = 62\text{panneaux}$$

Le variateur : Pour choisir son contrôleur (variateur) de pompage, il faut choisir une puissance de variateur supérieure ou égale à celle de la pompe. Elle doit être comprise entre 80 et 120% de la puissance des champs photovoltaïques (Pchamp PV).

$P_{\text{champ PV}} \cdot 80\% < P_{\text{var}} < P_{\text{champ PV}} \cdot 120\%$

$$P_{\text{champ PV}} \cdot 80\% < P_{\text{var}} < P_{\text{champ PV}} \cdot 120\%$$

$$14kW < P_{\text{var}} < 20kW$$

Tenant compte des puissances normalisées de variateur, on prendra un variateur de 15kW de la marque INVT.

Puissance : 15kW	Courant max en DC : 49A	Sortie : 3PH 380V
Courant d'entrée : 40A	Tension max toléré : 780V	Générateur PV:19.5kWc
Courant de sortie : 32A	Plage de tension : 450-780V	Fréquence 50-60Hz

Table 4: Références du variateur.

▪ **Les panneaux en série :**

Le branchement en série permet d'additionner les tensions (V), en gardant la même intensité(A). La borne plus (+) est connectée sur la borne moins (-) du panneau suivant.

Le nombre minimal de panneau en série (Ns min) :

$$Nsmin = \frac{Umin}{0.85 \cdot Vmpp} = \frac{450}{0.85 \cdot 31.9} = 17\text{panneaux}$$

Le nombre maximal de panneau en série (Ns max) :

$$N_{smax} = \frac{U_{max}}{1.15 \cdot V_{mpp}} = \frac{780}{1.15 \cdot 31.9} = 22 \text{panneaux}$$

Le nombre de panneaux en série de notre installation sera compris entre 17 et 22 panneaux.

1.15 est un coefficient de majoration permettant de calculer la tension à -20°.

0.85 est un coefficient de minoration permettant de calculer la tension à 70°C.

▪ **Les panneaux en parallèle :**

Le Branchement en parallèle permet d'additionner les intensités (A), en gardant la même tension(V). Pour ce branchement les bornes plus (+) sont reliées entre elles, et les bornes moins (-) entre elles.

Nombre de panneaux en parallèle (Np):

$$N_p = \frac{I_{max}}{1.25 \cdot I_{cc}} = \frac{32}{1.28 \cdot 9.49} = 4$$

Notre installation sera composée de 4 chaînes en parallèles de 17 panneaux en série.

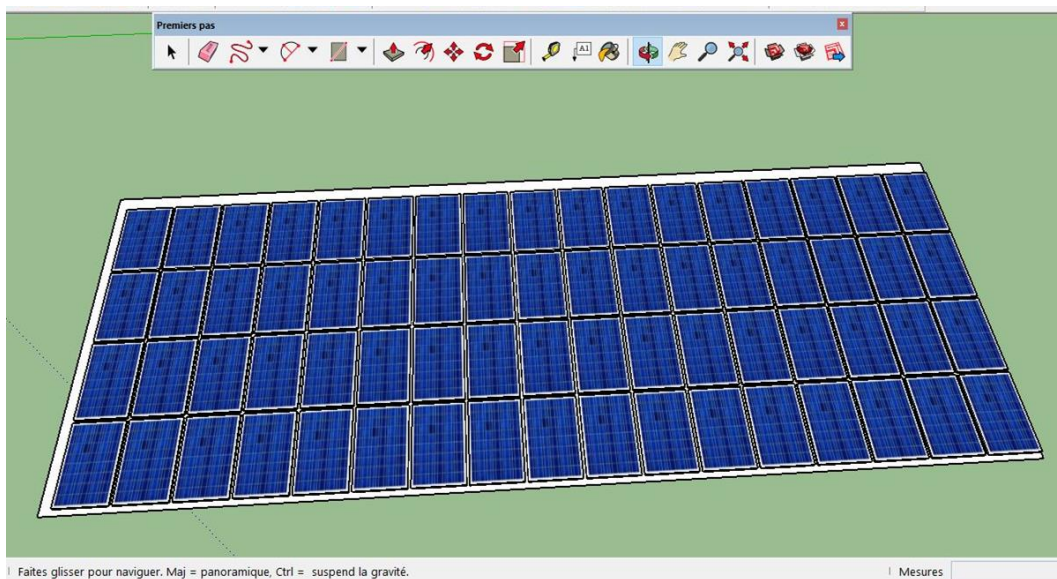


Figure 14: Représentation de la disposition des panneaux sur le logiciel SketchUp.

• **Vérification de la conformité du courant et de la tension et de la Puissance :**

_Courant :

$$N_p \cdot I_{cc} = 4 \cdot 9.49 = 37.96 < 49A \text{ Donc correct.}$$

Tension :

$N_s * V_{oc} = 17 * 38.5 = 654.5V < 780V$ Donc correcte.

Puissance :

On a 4 chaines de 17panneaux solaires branchés en série (68panneaux).

$$68 * 285 = 19.4 < 19.5kWc$$

- **L'orientation des panneaux solaires :** est très importante pour capter au mieux le soleil et produire un maximum d'énergie. Généralement ils sont orientés vers le sud car c'est là qu'il y a le plus de soleil et généralement toute l'année. L'inclinaison du champ de modules doit généralement être égale à la latitude du site (à 5° près).

	<i>Inclinaison</i>						
<i>Orientation</i>	<i>0</i>	<i>15</i>	<i>25</i>	<i>35</i>	<i>50</i>	<i>70</i>	<i>90</i>
<i>Est</i>	0,88	0,87	0,85	0,83	0,77	0,65	0,50
<i>Sud-est</i>	0,88	0,93	0,95	0,95	0,92	0,81	0,64
<i>Sud</i>	0,88	0,96	0,99	1	0,98	0,87	0,68
<i>Sud-ouest</i>	0,88	0,93	0,95	0,95	0,92	0,81	0,64
<i>Ouest</i>	0,88	0,87	0,85	0,82	0,76	0,65	0,50

Figure 15: Taux d'efficacité des panneaux solaires en fonction de l'orientation et de l'inclinaison

- **Le support :**

Comme son nom l'indique, le support est un appui généralement en métal sur lequel on va fixer les panneaux. L'assemblage des supports se fait en tenant compte : de la surface des panneaux, de l'inclinaison et de l'orientation. Pour déterminer la surface nécessaire on utilise le nombre de panneaux.



Figure 16: Support métallique des panneaux solaires.

VII. Dimensionnement de la partie électrique :

- **Partie DC : Entre le champ PV et le variateur**

[10] Le bon choix des sections des câbles est primordial pour éviter les grandes pertes d'énergie, les surcharges et autres problèmes électriques. Pour cela il faut tenir compte de la nature, le mode de pose et de la longueur. Pour calculer la section du câble électrique on utilise l'expression suivante :

$$S = \frac{2 \cdot \text{longueur} \cdot I \cdot \rho}{\Delta u}$$

Δu = chute de tension tolérée, elle est de 3 % dans notre cas

I = intensité consommée,

ρ = résistivité du câble électrique.(m Ω)

La longueur de la 1ere chaine de panneau au coffret est $l_1=4\text{m}$.

$\rho=18.51$ (réactivité du cuivre en m Ω)

$$S_1 = \frac{2 \cdot l_1 \cdot I_{mpp} \cdot \rho}{\Delta u \cdot V_{mpp}} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 8.9 \cdot 0.01851}{0.03 \cdot 31.9} = 1.46$$

La deuxième chaine est longue de 5m, $l_2=5\text{m}$

$$S_2 = \frac{2 \cdot l_2 \cdot I_{mpp} \cdot \rho}{\Delta u \cdot V_{mpp}} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 8.9 \cdot 0.01851}{0.03 \cdot 31.9} = 1.8$$

La Troisième de 6.5m, $l_3=6.5\text{m}$

$$S_3 = \frac{2 \cdot l_3 \cdot I_{mpp} \cdot \rho}{\Delta u \cdot V_{mpp}} = \frac{2 \cdot 6.5 \cdot 8.9 \cdot 0.01851}{0.03 \cdot 31.9} = 2.37$$

Et la dernière de 8m, $l_4=8\text{m}$

$$S_4 = \frac{2 \cdot l_4 \cdot I_{mpp} \cdot \rho}{\Delta u \cdot V_{mpp}} = \frac{2 \cdot 8 \cdot 8.9 \cdot 0.01851}{0.03 \cdot 31.9} = 2.92\text{mm}^2$$

Finalement on prendra la même section pour toutes les chaines $S = 4\text{mm}^2$



Figure 17: Cable de connexion de 4mm² (source :<https://www.objetsolaire.com>)

- **Vérification pour le courant admissible :**

Le courant admissible pour $S= 4\text{mm}^2$ est 25A.

$1.25 \cdot 9.49 = 11.86 < 25\text{A}$ Donc c'est correct.

1.25 est un coefficient de sécurité imposé par le guide UTE(Union Technique de l'Electricité).

- **Les protections DC :**

Il est très important de prévoir toutes les protections électriques nécessaires pour éviter l'endommagement des matériaux.

- ♦ **Fusible :** Il a pour rôle de protéger les modules photovoltaïques contre les surintensités.

Courant d'emploi : $I_b = 1.4 \cdot 9.49 = 13.28\text{A}$

Courant de retour max : $I_{rm} = 2 \cdot 9.49 = 18.98\text{A}$

Donc le courant nominal de notre fusible est donc $I_{nominal} = \frac{(I_b + I_r)}{2} = 16.13\text{A}$

Les fusibles sont uniquement montés sur les chaînes montées en parallèles.

- ♦ **Disjoncteur :** Toutes les pompes doivent être protégées par un disjoncteur 230/380V en triphasé et 230V en monophasé.

Un disjoncteur est caractérisé par sa courbe, son calibre et sa tension d'utilisation.

Nous avons comme courbe, la courbe D car le moteur a une puissance de 13kW. L'intensité de la pompe est de 29A donc le calibre normalisé de disjoncteur au-dessus est 32A.

Le disjoncteur choisi est de courbe D, de calibre 32 pour une tension d'utilisation de 380V (Triphasé).

- ♦ **Le parafoudre :** protège l'installation contre les surtensions provoquées par la foudre.

N_g (densité de foudroiement).

$L_c = \frac{450}{N_g}$ (Pour les bâtiments industriels ou agricoles)

L_c : Longueur critique.

$$L_c = \frac{450}{N_g} = \frac{450}{12} = 37.5\text{m}$$

La longueur totale des câbles entre le champ PV et le variateur est $23.5 < 37.5$ donc l'installation d'un parafoudre n'est pas obligatoire.

Pour finir, les panneaux doivent être connectés à leur support avec un câble de même section que les panneaux, et le support doit être connectés à la terre.

- **La partie AC : Entre le variateur et la pompe :**
- ♦ **Section du fil qui relie pompe à variateur :**

Le choix de la section qui relie la pompe au variateur est plus facile car les pompes immergées viennent déjà câbler donc on peut choisir la même section de fil d'un câble immergée que la pompe pour relier la distance manquante. Mais il est préférable de faire les calculs comme suite :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot \cos\phi \cdot U} = \frac{13000}{\sqrt{3} \cdot 0.82 \cdot 380} = 24.08A$$

$$S = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \rho}{\Delta u \cdot U} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 24.08 \cdot 0.01851}{0.03 \cdot 380} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 24.08 \cdot 0.01851}{0.03 \cdot 380} = 7.8 \text{ donc on prendra un fil de section } 10\text{mm}^2$$

Après les calculs on insère les données dans le logiciel PVsyt.

Suggestions de pré-dimensionnement

Besoins en eau journaliers moyens :	Autonomie requise	4.0	Jours	Volume réservoir conseillé	720 m ³
Pression min. 6.08 bar	Manque accepté	5.0	%	Puissance pompe conseillée	10.2 kW
Pression max. 6.32 bar				Puissance PV conseillée	12.9 kWc (nom.)
Volume 180.0 m ³ /jour					
Puissance hydraulique 6201 W (très approximatif)					

Définition pompe | Conception du sous-champ

Choix d'un modèle de pompe

Lorentz

13.0 kW 30-100 m Well, AC, Centrifuge multi-étages PS15k2 C-SJ30-12 Depuis 1967

Pompes en cascade ?
 Pompes en parallèle

Caractéristiques de la pompe

Technologie pompe	Centrifuge multi-étages		
Moteur	Moteur AC triphasé		
Puissance maximale	13000 W	Tension	460 V
		Courant max.	20.7 A
Pression Min / Nom / Max	2.9	6.2	9.8 bar
Débit corresp.	38.2	30.5	29.2 m ³ /h
Puissance corresp.	8000	9500	13000 W
Efficacité	38.6	55.1	61.1 %

Unités pour ce projet

Débit: m³/h
 Pression: bar
 Puissance: kW
 Énergie: kWh

Outil de calcul énergie hydraulique

Vous pouvez définir n'importe quelles valeurs, pas nécessairement liées à votre projet

Débit: 30.3 m³/h
 Pression: 6.46 bar
 Puissance: 5.431 kW

Figure 18: Définition du modèle de pompe .

Définition d'un système de pompage, Variante "SimulationProjet2"

Suggestions de pré-dimensionnement

Besoins en eau journaliers moyens :	Autonomie requise	4.0 Jours	Volume réservoir conseillé	720 m ³
Pression min. 6.08 bar	Manque accepté	5.0 %	Puissance pompe conseillée	10.2 kW
Pression max. 6.32 bar			Puissance PV conseillée	12.9 kWc (nom.)
Volume 180.0 m ³ /jour				
Puissance hydraulique 6201 W (très approximatif)				

Définition pompe Conception du sous-champ

Information système

Pompe choisie	SQF 14A-3	30-300V	Pression	0.02 - 6.60 bar
Technologie	Centrifuge multi-étages		Débit	21.43 - 298.52 m ³ /h
Puissance max.	13000 W			

Aide au dimensionnement

Pas de prédim. Entrez Pnom désirée kWc

... ou surface disponible m²

Sélection du module PV

Disponibles

Sunlink PV

Modules nécessaires approx. 47 Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) 26.5 V
Vco (-10°C) 43.4 V

Choisissez le mode de régulation et le régulateur

Régulateur universel mode de régulation Onduleur MPPT-AC

Tous les fabricants

Nbre régulateurs

Conception champ PV

Nombre de modules et chaînes

Mod. en série doit être: seule possibilité 17

entre 2 et 4

Perte surpuissance N/A
Rapport Pnom N/A
nbre modules 68 Surface 1113 m²

Cond. de fonctionnement

Vmpp (60°C)	450 V
Vmpp (20°C)	550 V
Vco (-10°C)	739 V
Irradiance plan	1000 kWh/m ²
Impp	36.0 A
Isc	38.0 A
Isc (aux STC)	38.0 A

Puiss. max. en fonctionnement 17.1 kW (à 1000 W/m² et 50°C)
Puiss. nom. champ (STC) 19.4 kWc

Figure 19: Définition du panneau solaire et du variateur.

VIII. Résultats de la Simulation :



PVsyst V7.2.14
 VC1, Simulation date:
 13/06/22 09:40
 with v7.2.14

Project: Dimensionnement

Variant: SimulationProjet2

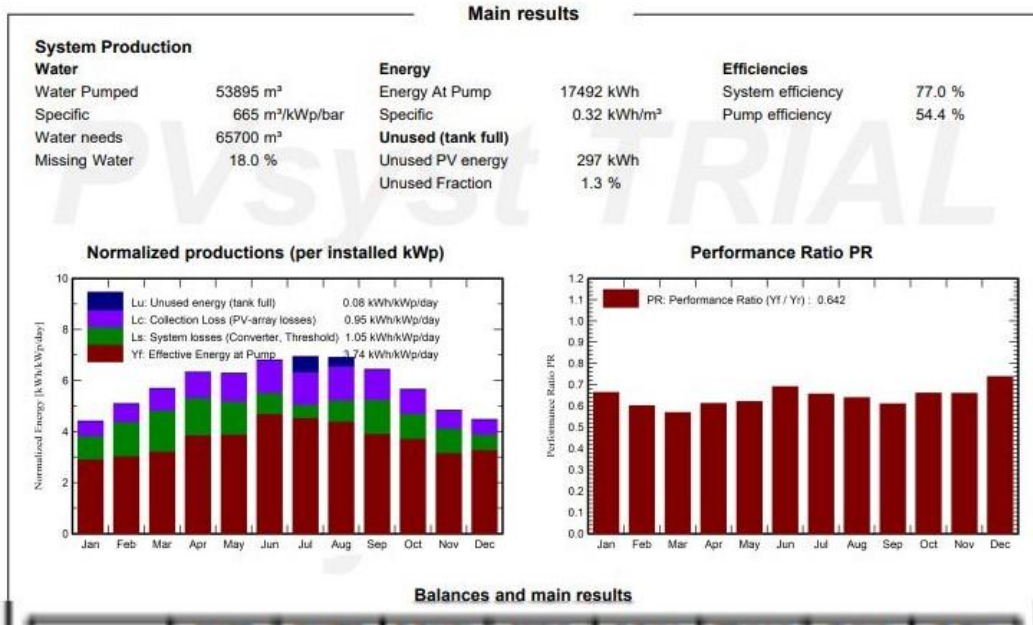


Figure 20: Résultats de la simulation sur PVsyst.

Balances and main results

	GlobEff	EArrMPP	E_PmpOp	ETkFull	H_Pump	WPumped	W_Used	W_Miss
	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	meterW	m ³	m ³	m ³
January	129.7	1529	1163	0.0	64.14	3497	3747	1833
February	135.3	1576	1098	0.0	64.19	3314	3257	1783
March	167.2	1923	1286	0.0	64.29	3962	4019	1561
April	179.6	2051	1490	0.0	64.46	4619	4515	885
May	183.5	2065	1550	0.0	64.22	4691	4645	935
June	192.4	2129	1810	0.0	64.44	5591	5400	0
July	202.9	2210	1811	187.9	64.66	5687	5580	0
August	202.6	2196	1753	109.5	64.73	5576	5580	0
September	182.9	2023	1509	0.0	64.31	4612	5019	381
October	166.6	1875	1486	0.0	64.33	4548	4507	1073
November	137.3	1591	1224	0.0	64.36	3780	3857	1543
December	131.4	1550	1311	0.0	64.28	4019	3956	1624
Year	2011.3	22720	17492	297.4	64.38	53895	54082	11618

Legends

GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	WPumped	Water volume pumped
EArrMPP	Array virtual energy at MPP	W_Used	Water drawn by the user
E_PmpOp	Pump operating energy	W_Miss	Missing water
ETkFull	Unused energy (tank full)		
H_Pump	Average total Head at pump		

Figure 21: Résultats mensuels et annuel de la simulation.

La figure 21 représente les différents résultats mensuels approximatifs de notre système. De la gauche vers la droite, nous avons l'ensoleillement mensuel, l'énergie apporté au régulateur, l'énergie de fonctionnement de la pompe, l'énergie inutilisée, la hauteur manométrique de la

pompe, la quantité d'eau pompée, la quantité d'eau consommée par l'utilisateur, la quantité d'eau manquante. Notre système est efficace à 77% et fournit 82% des besoins d'eau. En juin, juillet et août, nous avons 0% d'eau manquante grâce à la forte puissance du soleil. En tenant compte des facteurs d'encrassement, du faible ensoleillement pendant l'hiver une perte de 18% est acceptable.

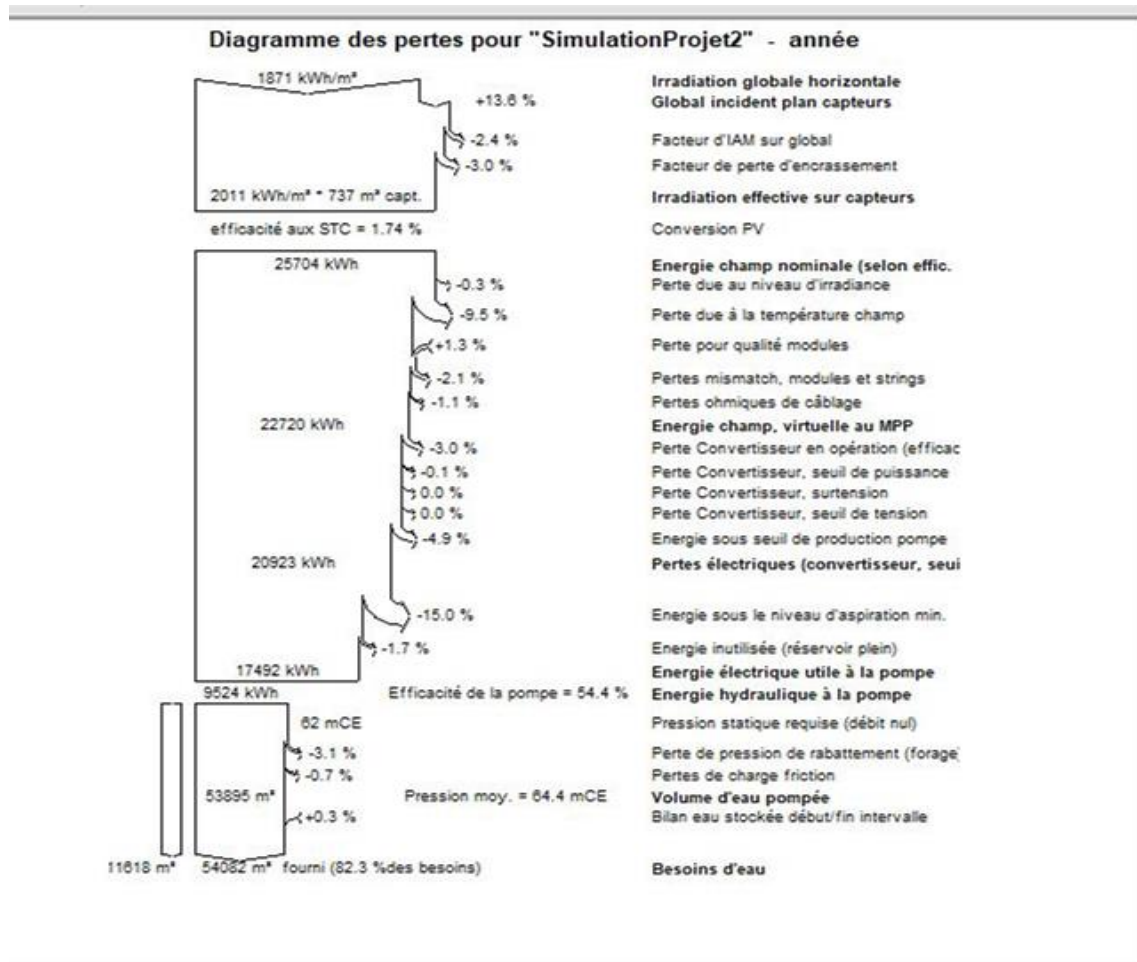


Figure 22: Diagramme de pertes annuelles.

Sur ce diagramme nous pouvons constater que les plus grandes pertes du système (15%) viennent de la partie nommée « Énergie sous le niveau d'aspiration minimum », cela indique que selon le logiciel une pompe de 13KW est surdimensionnée par rapport aux besoins.

IX. Conclusion :

Dans ce chapitre il a été question de dimensionner le système à travers des calculs bien précis et de faire une simulation grâce à ces différents paramètres. Le logiciel a montré que le système dimensionné fournissait 82 % des besoins d'eau donc les calculs effectués sont acceptables et le dimensionnement réussi.

CONCLUSION GENERALE :

Ce travail a pour but d'étudier et de dimensionner un système de pompage solaire photovoltaïque à l'aide du logiciel PVsyst.

Dans un premier temps, nous avons présenté le lieu de stage, l'objectif du stage et les différentes étapes de réalisation du projet.

Ensuite dans un deuxième temps, il a fallu donc s'intéresser à l'étude des différents composants du système afin de comprendre leur fonctionnement et leur rôle dans le système.

Pour finir la dernière partie consiste à faire la pratique des deux premières parties à travers une série de calculs et de simulation. La réalisation a été effectuée tout en respectant le cahier de charges. Le système ainsi évalué aura une efficacité de 77 % dès sa mise en place.

Ce travail est principalement sur le système de pompage solaire photovoltaïque, compte tenu de la transition énergétique, comme nouvelle perspective nous nous intéresserons, aux autres applications de l'énergie solaire, qui investirait des notions telle que la régulation.

Liste des figures :

Figure 1: Organigramme de la société Elec Energie.....	9
Figure 2: Diagramme de Gantt.....	11
Figure 3: Pompage au fil du soleil (source : https://www.researchgate.net)	12
Figure 4 Montage d'un système isolé réalisé à Elec Energie.	13
Figure 5: Effet photovoltaïque (source : https://parlonssciences.ca).	13
Figure 6: Turbines d'une pompe démontée à Elec Energie.	14
Figure 7: Variateur de vitesse (Elec Energie).....	15
Figure 8: Définition de la localité sur le logiciel PVsyst.	17
Figure 9:Météo annuelle du site..	17
Figure 10: Inclinaison optimale du site.	17
Figure 11: Définition des besoins en eau sur PVsyst.....	19
Figure 12 : Caractéristiques des pompes SP de Grundfos (source : https://www.grundfos.com).	20
Figure 13 : Pompe SP de la marque Grundfos(source : https://www.grundfos.com).	20
Figure 14: Représentation de la disposition des panneaux sur le logiciel SketchUp.....	23
Figure 15: Taux d'efficacité des panneaux solaires en fonction de l'orientation et de l'inclinaison.....	24
Figure 16: Support métallique des panneaux solaires.	25
Figure 17: Cable de connexion de 4mm ² (source : https://www.objetsolaire.com).....	26
Figure 18: Définition du modèle de pompe	28
Figure 19: Définition du panneau solaire et du variateur.....	28
Figure 20: Résultats de la simulation sur PVsyst.....	29
Figure 21: Résultats mensuels et annuel de la simulation.....	29
Figure 22: Diagramme de pertes annuelles.	30

Bibliographie

- [1] : Pompage photovoltaïque : Guide à l'intention des ingénieurs et techniciens (consulté le 15/06/2022)
- [2]: https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_photovoltaïque#Description (Consulté le 27/04/2022)
- [3]: <https://www.astuces-pratiques.fr>(consulté le 15/06/2022)
- [4]: <https://stringfixer.com/fr> (Consulté le 08/06/2022)
- [5] : BOUDOUAR Ilyass et MELOUARD Khalid « dimensionnement et installation d'un Système de pompage Photovoltaïque », mémoire licence professionnelle faculté polydisciplinaire de Ouarzazate année 2016/17 (consulté le 15/06/2022)
- [6]: <https://www.labonnepompe.com> (Consulté le 27/05/2022)
- [7]: https://fr.wikipedia.org/wiki/Variateur_électronique_de_vitesse(Consulté le 22/05/2022)
- [8]: <https://www.labonnepompe.com> (Consulté le 24/05/2022)
- [9]: <https://fr.wikihow.com/calculer-la-puissance-d%27une-pompe-à-eau> (Consulté le 19/06/2022)
- [10] : Cours Electrotechnique LST GE 2021/2022(Consulté le 17/06/2022)