

Université Hassan II

Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Casablanca

Rapport : projet d'initiation

Filière : Génie électromécanique

Sous thème :

Ferme autonome :

**Etude et dimensionnement d'un système
d'éclairage et de pompage par alimentation
photovoltaïque**

Réalisé par :

BELACHMI Asma

ELBRAHIMI Meryem

LAHYAOUI Ayoub

TEBBAL Safae

Dédicace

Au nom de Dieu Miséricordieux

*C'est avec gratitude et dévouement que nous tenons à dédier ce
modeste travail*

À nos chers parents pour leurs sacrifices,

*Pour leur soutien moral et financier, et pour leurs
encouragements.*

*À nos encadrants qui ont déployés tous leurs efforts pour nous
soutenir dans la réalisation de ce travail.*

À nos professeurs,

À nos grandes familles,

À nos collègues d'études et à nos amis.

Remerciements :

Tout d'abord, nous tenons à remercier tous les enseignants, les professeurs, et toute l'équipe pédagogique de l'Ecole Nationale supérieure d'Arts et Métiers Casablanca, qui ont contribué à notre formation ce qui nous a permis d'établir ce projet.

Nous remercions nos parents et nos familles qui nous ont soutenus durant toute la période d'étude et qui nous ont tellement encouragées.

Enfin, nous adressons nos vifs remerciements et nos profondes gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

MERCI

Table des matières

Introduction :	7
Problématique :	8
Chapitre 1 : généralités sur l'Energie solaire et système photovoltaïque	9
I. Energie solaire	9
1. Définition	9
2. Type d'utilisation de l'Energie solaire	9
3. Rayonnement solaire	10
II. L'Energie photovoltaïque	11
1. Définition	11
2. Cellule photovoltaïque	11
3. Conversion photovoltaïque	11
III. Système photovoltaïque	13
1. Définitions	13
2. Composants du système photovoltaïque autonome	13
IV. La production de l'énergie	16
1. Les dimensions :	16
2. La technologie :	16
3. Le rayonnement :	16
4. La durée d'exploitation :	16
V. Les Avantages et les inconvénients	17
1. Les avantages :	17
2. Inconvénients :	17
VI. Les pompes hydrauliques	18
1. Généralités	18
2. Fonctionnement et constitution :	18
3. Classification :	18
4. L'alimentation électrique :	22
5. La commande électronique :	23
Chapitre 2 : Méthodologie de dimensionnement	25

I.	Dimensionnement de système de pompage	25
1.	Évaluation des besoins en eau	25
2.	Définition des conditions du site	25
3.	Calcule de nombre d'heures équivalentes d'ensoleillement :	26
4.	Calcule de besoin horaire en eaux :	26
5.	Calcule de l'Energie hydraulique nécessaire :	27
6.	Choix de la pompe :	27
7.	Calcule de l'Energie du moteur nécessaire :	27
8.	Choix de moteur :	28
9.	Choix d'onduleur solaire :	28
10.	Calcule de la puissance crête	29
11.	Choix des câbles pour pompe immergées	29
12.	Calcule de la production photovoltaïque	30
II.	Electrification de la ferme :	31
1.	Évaluation des besoins :	31
2.	Calcul de puissance crête :	33
3.	Choix de tension commandée	33
	3.Dimensionnement du champs PV :	34
Chapitre 3 : étude de cas		36
I.	Pompage solaire :	36
1.	Le besoin journalier	36
2.	Choix de site	36
3.	Calcule de la HMT	36
4.	Calcule de nombre d'heures équivalentes d'ensoleillement	36
5.	Calcule de besoin horaire en eaux	36
6.	Calcule de l'Energie hydraulique nécessaire	37
7.	Choix de la pompe	37
8.	Calcule de l'Energie du moteur nécessaire	37
9.	Choix de moteur.	37
10.	Choix d'onduleur solaire	37
11.	Calcule de la puissance crête	38
12.	Nombre totale des panneaux	38

II. Electrification	38
1. Besoin journalier :.....	38
2.Dimentionnement de la puissance crête :	39
3.Dimensionnement du champs PV :	40
4.nombre de string	40
Chapitre 4 : partie pratique (simulation avec PVSYST):	42
I. Electrification de la ferme	42
II. Système de pompage	48

Introduction :

De nombreuses énergies non polluantes, ou renouvelables, ou abondantes partout à la surface du globe pourraient être utilisées par l'homme tel que l'énergie éolienne, l'énergie nucléaire, l'énergie hydroélectrique et l'énergie solaire qui sont des énergies à ressource illimitée qui regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue.

La filière étudiée dans ce mémoire est l'énergie solaire qui est donc une possibilité de développement efficace et durable tant que le soleil brille encore, c'est pour cela que les recherches scientifiques se développent dans le sens de généraliser, améliorer et optimiser l'exploitation des systèmes solaires.

L'optimisation des systèmes solaires est basée sur des critères de dimensionnement et de maximisation de la puissance générée pour avoir un bon rendement.

L'exploitation directe de l'énergie solaire relève une technologie bien distincte c'est de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire photovoltaïque.

Elle provient de la transformation directe d'une partie de rayonnement solaire en énergie électrique, cette conversion d'énergie s'exécute par le biais d'une cellule dite cellule photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée au soleil. La tension générée par une cellule (PV) peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule.

L'association de plusieurs cellules (PV) en séries/parallèles donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV), qui a une caractéristique courant-tension non linéaire présentant un point de puissance maximale, dépendant de niveau d'éclairement et de la température, ainsi que de vieillissement de l'ensemble de composants.

Bien que la cellule photovoltaïque soit connue depuis de nombreuses années comme source pouvant produire de l'énergie électrique allant de quelques milliwatts au mégawatt, cette technologie reste encore sous le débat notamment à cause de rendement de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique qui est encore faible.

L'objet de ce travail est donc l'étude et la modélisation permettant de dimensionner un système photovoltaïque autonome pour l'électrification d'une ferme agricole.

Problématique :

De nos jours, les exploitations agricoles connaissent un accroissement de la mécanisation de leurs activités. Les animaux d'élevage vivent donc de plus en plus entourés d'équipements électriques. Cependant, l'électricité qui est devenue une source d'énergie majeure peut envisager de temps en temps des pannes et des coupures électriques pouvant engendrer plusieurs problèmes en influençant le rendement agricole et la qualité de production animale

Comme bien d'autres types d'entreprises, l'exploitation agricole doit être performante pour rester compétitive. Le producteur n'a souvent d'autre choix que de mécaniser davantage son exploitation agricole et d'améliorer le suivi ainsi que la gestion de ses activités.

Pour cela on propose d'adopter une solution alternative, en cas des ruptures brusques de l'électricité : les installations photovoltaïques

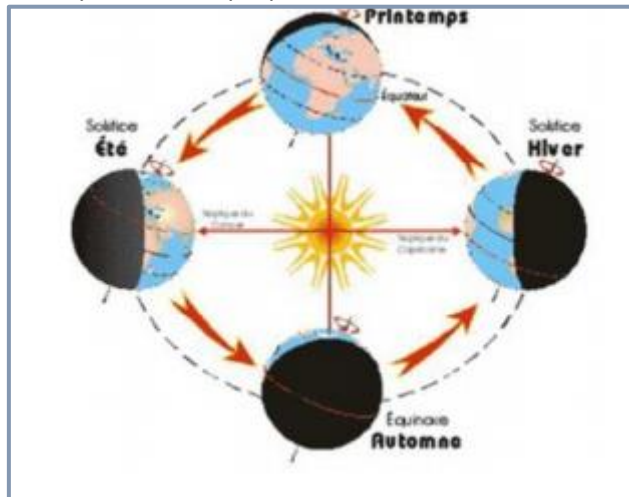
Nous allons par la suite élaborer une étude des installations photovoltaïques et leur dimensionnement selon l'ampleur de consommation électrique nécessaire.

Chapitre 1 : généralités sur l'Energie solaire et système photovoltaïque

I. Energie solaire

1. Définition

Le soleil est une étoile, située à environ 150 millions Km de la terre. Le soleil a un diamètre de 1 39 000 Km, soit plus de 100 fois notre planète. Il est composé d'hydrogène et d'hélium. La terre décrit autour du soleil dans un plan dit "plan de l'écliptique", la terre tourne sur elle-même, selon un axe incliné de 23° 27' sur le plan de l'écliptique.



2. Type d'utilisation de l'Energie solaire

Il existe deux voies d'utilisation directe de l'énergie solaire.

- La transformation du rayonnement en chaleur : cette énergie, dite solaire thermique, produit de la chaleur à partir du rayonnement solaire infrarouge afin de chauffer de l'eau ou de l'air. Dans ce cas ; on utilise des capteurs thermiques.
- La transformation du rayonnement en électricité : l'énergie produite dans ce cas se présente sous deux formes.

L'énergie thermique solaire permettant de produire de l'énergie électrique par voie thermodynamique. Dans ce cas, la conversion de l'énergie solaire en électricité n'est pas directe, mais passe par l'intermédiaire des centrales thermiques solaires. Le principe de base utilisé, est l'obtention de la température élevée par la concentration du rayonnement solaire en un seul foyer. Cela rend possible le réchauffement de fluides caloporteurs à des températures allant de 250 à 1000° C. ces fluides transportent la chaleur vers un réservoir d'eau ; il y a alors production de vapeur d'eau qui entrainera un alternateur pour produire de l'électricité é comme dans les centrales thermiques conventionnelles.

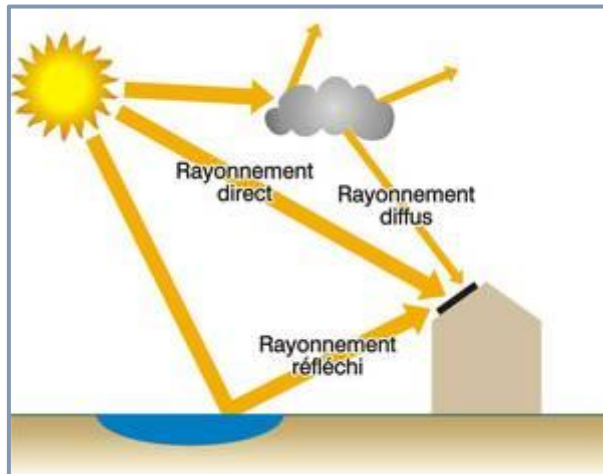
L'énergie solaire photovoltaïque où la conversion de la lumière du rayonnement en électricité est directe par le biais des cellules ou photopiles.

C'est donc cette forme d'énergie qui sera traitée dans notre travail.

3. Rayonnement solaire

Le soleil tire son énergie de réactions thermonucléaires se produisant dans son noyau. L'énergie émise par le soleil est sous forme d'ondes électromagnétiques dont l'ensemble forme le rayonnement solaire. En traversant l'atmosphère, le rayonnement va subir des transformations par absorption et par diffusion, on distingue pour cela :

- **Le rayonnement direct** : Les rayons du soleil atteignent le sol sans subir de la modification (sans diffusion par l'atmosphère). Les rayons restent parallèles entre eux.
- **Le rayonnement diffus** : En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire rencontre des obstacles tels que les nuages, la poussière, etc. Ces obstacles ont pour effet de repartir un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux dans toutes les directions.
- **Le rayonnement réfléchi** : C'est le résultat de la réflexion des rayons lumineux sur une surface réfléchissante par exemple : la neige ; cette réflexion dépend de l'albédo (pouvoir réfléchissant) de la surface concernée.



II. L'Énergie photovoltaïque

1. Définition

Le mot photovoltaïque vient de la grecque photo qui veut dire *lumière* et de *volta* du nom du physicien italien qui, en 1800 découvrit la pile électrique. (7)

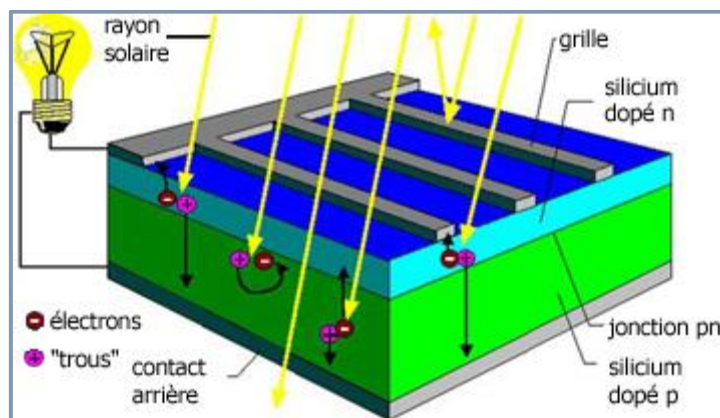
L'énergie photovoltaïque est une conversion directe du rayonnement solaire en électricité à partir de la cellule photovoltaïque.

Cette conversion appelée Effet photovoltaïque, a été découverte en 1839 par Antoine BECQUEL et, est utilisée dans les cellules photovoltaïques que l'on assemble en modules puis en panneaux photovoltaïques permettant de convertir directement l'énergie solaire en électricité par le biais de la production et du transport des charges électriques sous l'effet de la lumière dans un matériau semi-conducteur.

2. Cellule photovoltaïque

Pour passer de l'effet photovoltaïque à l'application pratique, il est nécessaire de trouver des matériaux qui permettent d'optimiser les deux phases essentielles de ce principe :

- Absorption de la lumière incidente.
- Collection des électrons en surface. Les cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs qui sont capables de conduire l'électricité ou de la transporter. Ils sont composés d'un matériau semiconducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique (effet photovoltaïque).



3. Conversion photovoltaïque

La conversion de la lumière en électricité rassemble trois phénomènes physiques intimement liés et simultanés :

- L'absorption de la lumière dans le matériau
- Le transfert d'énergie des photons aux charges électriques
- La collecte des charges

→ **Absorption de la lumière :**

La lumière se compose des photons (gains de lumière) et chacun porteur d'une énergie dépendante de sa longueur d'onde.

Le rayon lumineux qui arrive sur un solide peut donc subir trois événements optiques :

La réflexion : la lumière est renvoyée par la surface de l'objet ;

La transmission : la lumière traverse l'objet ;

L'absorption : la lumière pénètre dans l'objet et n'en sort plus, l'énergie est restituée sous une autre forme.

→ **Transfert d'énergie des photons aux charges électriques :**

Dans ce paragraphe on va s'intéresser à la lumière absorbée dans le matériau photovoltaïque et expliquer comment l'énergie contenue dans le photon est convertie en électricité.

Les charges élémentaires qui vont produire le courant électrique sous illumination sont des électrons, charges négatives élémentaires, contenues dans la matière semiconductrice. Tout solide est en effet constitué d'atomes qui comprennent chacun un noyau (constitué de protons et neutrons) et un ensemble d'électrons gravitant tout autour.

Les photons absorbés vont transférer leur énergie aux électrons périphériques (les plus éloignés du noyau), leur permettant ainsi de se libérer de l'attraction du noyau. Ces électrons libérés sont susceptibles de produire un courant électrique si on les attire ensuite vers l'extérieur.

→ **Collecte des charges :**

Pour que les charges libérées par la lumière soient génératrices d'énergie, il faut qu'elles circulent et donc il faut les attirer hors du semi-conducteur dans un circuit électrique pour que les électrons ne retrouvent pas leurs états initiaux à la périphérie de leurs atomes. Sinon cela libérera de l'énergie thermique au lieu de celle électrique. On doit donc engendrer un champ électrique à l'intérieur du semi-conducteur grâce au dopage de ce dernier.

III. Système photovoltaïque

1. Définitions

L'ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles, constitue le module photovoltaïque. Plusieurs modules sont groupés pour former un système photovoltaïque qui comprend d'autres composants comme le régulateur, la batterie et l'onduleur pour un site isolé (autonome).

Dans le cas où le système photovoltaïque alimente un réseau de distribution électrique, on ne fait plus intervenir la batterie car c'est le réseau qui restitue de l'énergie en cas de déficit.

Nous distinguons deux types de systèmes photovoltaïques à savoir :

- Autonome, pour un site isolé
- Connecté au réseau de distribution électrique.

→ **Système photovoltaïque autonome**

C'est un système dont l'énergie produite est utilisée dans un site isolé et ayant un système de stockage d'énergie. L'énergie produite par les modules est en courant continu et comme on touche à l'habitat où la plupart d'appareils fonctionnent en courant alternatif, il y a nécessité de la convertir.

La batterie servant de stockage, se charge le jour. L'alimentation des applications par la batterie se fait par l'intermédiaire d'un régulateur de charge pour éviter qu'elle souffre de surcharge et d'un onduleur (convertisseur du courant continu à celui alternatif).

→ **Système photovoltaïque connecté au réseau de distribution électrique**

Il est possible d'utiliser un générateur photovoltaïque de façon non autonome, en le connectant au réseau public de distribution électrique. Dans ce cas l'énergie produite est soit consommée sur place par le site ou soit revendue sur le réseau en cas de production excédentaire. Lorsqu'il y a déficit ou pendant les moments défavorables, le réseau alimente le site. Il n'y a donc pas de batterie.

2. Composants du système photovoltaïque autonome

❖ Modules et Panneaux

Les modules sont obtenus en assemblant les cellules pour générer une puissance exploitable lors de l'exposition à la lumière puisqu'une cellule élémentaire ne génère qu'une tension allant de 0.5 à 1.5 Volt.

Il faut donc plusieurs cellules pour générer une tension utilisable.

- **Montage des cellules**

Pour obtenir une tension utilisable, il est indispensable de faire la mise en série des cellules (photopiles).

Lorsque les cellules sont en série, les tensions de toutes les cellules s'ajoutent alors que le courant lui, reste le même que celui d'une seule cellule. Il faut donc des cellules de même courant pour les mettre en série.

On réalise donc des modules de diverse puissance selon la surface mise en œuvre, capable de générer du courant continu en basse tension lorsqu'ils sont exposés à la lumière. En conclusion le montage des cellules en série constitue le module.

- **Montage des modules**

L'assemblage des modules forme un dispositif appelé « Panneau solaire »

Pour le montage des modules, la mise en série augmente la tension alors que le courant reste le même et la mise en parallèle, augmente le courant, mais la tension reste la même.

Pour faire la mise en série, il faut que les modules aient le même courant, mais pas nécessairement la même tension et pour la mise en parallèle, il faut que les blocs de modules aient la même tension, mais pas nécessairement le même courant.

- **Assemblage des panneaux**

Pour disposer de plusieurs centaines de Watts, Kilo Watts et même méga Watts, il est nécessaire d'assembler les panneaux photovoltaïques pour l'obtention d'une grande tension. Le montage se fait en série pour un même courant et inversement pour l'obtention d'un grand courant.

On ne monte en série que les panneaux ayant un même courant et en parallèle, ceux ayant une même tension.

Mais en réalité, on n'a toujours pas des panneaux identiques, ce qui fait qu'il faut l'appairer en tension ou en courant selon le cas.

Lorsqu'il y a une partie de la surface du panneau ou même un panneau qui n'est pas éclairé suite à une ombre ou un corps étranger porté sur une partie du champ photovoltaïque, le panneau peu exposé au rayonnement ne produira pas la même énergie que les autres et deviendra dans ce cas récepteur des autres panneaux et recevra de la puissance en inverse d'où il y a risque de court-circuit et de destruction du système.

De ce fait, il faut placer une diode anti retour de puissance adéquate en sortie de chaque série de panneaux.

❖ La Batterie de stockage

Le stockage d'énergie dans les systèmes photovoltaïques autonomes est assuré par des batteries.

Les batteries les plus utilisées pour des générateurs autonomes sont en générale de type au plomb- acide (Pb). Celles de type au nickel-cadmium (Ni-Cd) sont parfois préférées pour les petites applications.

○ **Montage**

Le montage en série de plusieurs batteries est fréquent pour augmenter la tension, mais le couplage de des batteries en parallèle augmente la capacité de stockage, ce qui est délicat.

❖ Le régulateur

La batterie est l'élément le plus délicat du système et la qualité de son contrôle et son entretien influent grandement sa durée de vie d'où le rôle du régulateur.

Le régulateur est l'élément central d'un système photovoltaïque autonome car contrôlant les flux d'énergie et protège la batterie contre les surcharges et décharges profondes dues à l'utilisation.

❖ L'onduleur

Les onduleurs sont des appareils servant à convertir la tension continue fournie par les panneaux ou

Batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant avec une tension alternative.

IV. La production de l'énergie

La production de l'énergie électrique d'un panneau dépend de :

- Ses dimensions
- Sa technologie
- Du rayonnement
- De la durée d'exploitation.

1. Les dimensions :

Une cellule élémentaire ne génère qu'une tension de 0,5 à 1,5 V. il faut donc toujours plusieurs cellules en série pour générer une tension utilisable. Plus la surface mise en œuvre est grande, plus on a une puissance importante.

2. La technologie :

La tension d'une cellule élémentaire dépend de sa technologie selon qu'on a une cellule cristalline ou amorphe.

3. Le rayonnement :

La conception d'un système photovoltaïque nécessite la connaissance du rayonnement utile sur le site d'installation.

Pour un besoin électrique donné, plus l'énergie solaire reçue est importante, plus la puissance est grande.

4. La durée d'exploitation :

La production de l'énergie électrique d'un panneau dépend aussi bien de sa durée d'exposition au rayonnement.

Pour un système autonome dont l'alimentation doit être permanente et que certaines applications fonctionnent la nuit et d'autres 24h/24, il faut l'intervention des composants d'accumulation. La capacité d'une batterie exprimée en Ampères heures (Ah), correspond à la quantité d'électricité que l'on peut stocker sous une tension nominale exprimée en volt.

L'ensoleillement variant en permanence lors d'une journée, le calcul se fait globalement sur une journée.

V. Les Avantages et les inconvénients

Le recours au photovoltaïque se pose souvent en termes de choix par rapport à une autre source d'électricité telle que : la source éolienne, le groupe électrogène etc.

1. Les avantages :

- Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adapté à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés par des applications de puissance allant du milliwatt au mégawatt.
- Les couts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent, ni combustible, ni transport, ni personnel hautement qualifié.
- La haute fiabilité, ne comportant pas des pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées.
- Enfin, cette technologie présente les qualités sur le plan écologique car le système photovoltaïque est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu si ce n'est que l'occupation de l'espace pour l'installation de grande dimension.

2. Inconvénients :

- La fabrication des modules photovoltaïques relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28 %).
- L'onduleur ne donne pas l'énergie produite à 100 %.
- Enfin lorsque le stockage d'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût de générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants associés soient judicieusement choisis.

VI. Les pompes hydrauliques

1. Généralités

Le principe de la pompe est apparu dès que les humains ont pu construire un habitat artificiel pour se protéger des éléments naturels. Le besoin de l'eau nécessaire à sa survie l'a obligé à trouver un système pour transporter cette eau d'un puits ou d'une rivière jusqu'à son habitat. Ce n'est qu'à la fin du XVIII^e siècle que les premières pompes ont été construites et utilisées dans l'industrie.

2. Fonctionnement et constitution :

Les pompes déplacent le fluide d'un point à un autre. Pour déplacer ce fluide, il a besoin de transférer de l'énergie. Cette fonction est assurée par des pompes. Le moteur qui entraîne les pompes convertit la chaleur ou l'énergie électrique en énergie mécanique pour déplacer les composants de la pompe. Cette énergie mécanique est renvoyée au fluide. Cette énergie fluide se traduit sous forme d'écoulement (énergie cinétique) et de pression (énergie potentielle). Ces énergies seront échangées et consommées dans les circuits de l'installation.

Ils se composent de : partie moteur, transmission et partie hydraulique.

❖ Partie moteur :

Le moteur du groupe motopompe convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Il peut s'agir de courant continu ou alternatif. Il fournit la puissance nécessaire au pompage.

❖ Transmission :

Elle transmet la puissance générée par le moteur à la partie hydraulique.

Il y a plusieurs façons de transmettre l'énergie fournie par une machine motrice à la pompe. La méthode plus courante consiste à utiliser un accouplement mécanique rotatif (arbres, courroies ou engrenages) ou alternatif (bielles de pompe ou leviers).

La puissance transmise peut être définie comme le produit d'une force par une vitesse.

❖ Partie hydraulique :

La partie hydraulique, elle aussi, cette puissance transmise à l'eau pour le déplacer (aspiration et refoulement). On distingue plusieurs technologies pour transférer l'eau : on note les pompes à palettes, à axes brisés, à vis, à engrenages, à pistons en ligne, à lobes, à membranes, à pistons axiaux et à pistons radiaux.

3. Classification :

3.1 Selon le mode de fonctionnement :

Ils sont de deux types : volumétrique ou centrifuge.

Les pompes centrifuges :

○ Principe de fonctionnement :

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou d'ailettes. L'eau entre au centre de la pompe et est poussé vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages. Le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge.

La pompe centrifuge est conçue pour une hauteur manométrique (HMT) relativement fixe. Le débit de cette pompe varie en proportion de la vitesse de rotation du moteur. Son couple augmente très rapidement en fonction de cette vitesse et la hauteur de refoulement est fonction du carré de la vitesse du moteur.

On utilise habituellement les pompes centrifuges pour les gros débits et les profondeurs moyennes ou faibles (10 à 100 mètres).

Ci-dessous est donnée l'illustration d'une pompe centrifuge.

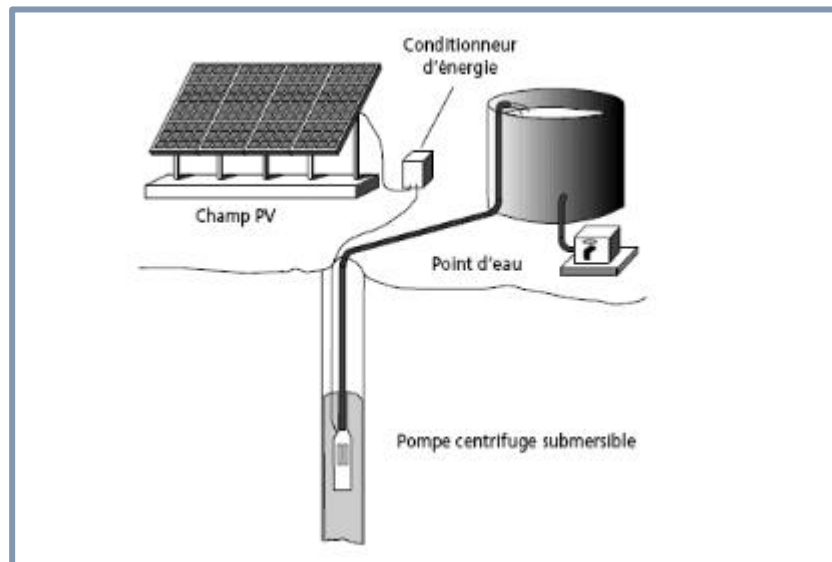


Figure : Exemple d'installation avec une pompe centrifuge

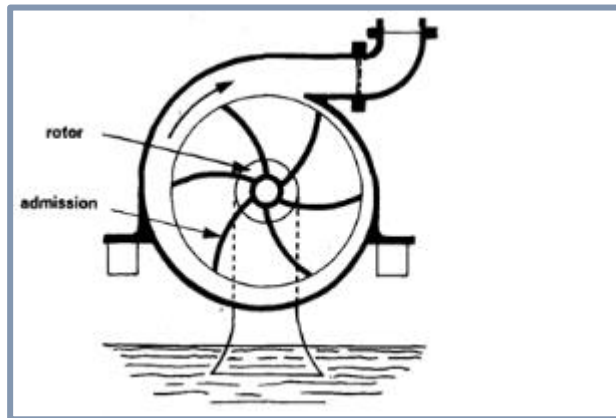


Figure : Illustration d'une pompe centrifuge à volute

Les pompes volumétriques :

○ Principe de fonctionnement :

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 à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement.

L'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide. L'eau est pratiquement incompressible. Par suite, si un piston coulisse parfaitement dans un tuyau plein d'eau, l'eau sera déplacée le long du tuyau sous l'effet du mouvement du piston. De même, si le tuyau plonge en partie ou en totalité dans l'eau, au moment où l'on soulève le piston le vide est produit dans la partie inférieure du tuyau, et l'eau monte dans le tuyau par aspiration.

Le débit de ces pompes est en général un débit continu ou quasi-continu. Le principal avantage des machines rotatives c'est qu'elles se prêtent aisément à la mécanisation et aux grandes vitesses de fonctionnement. Cet avantage est un facteur important, car à dimensions égales, plus une pompe est rapide, plus son débit est fort et plus elle est productive et rentable. En outre, dans un régime continu de fonctionnement les risques de coups de bélier et de cavitation sont bien moins importants que dans le cas des machines à mouvement alternatif.

○ Constitution :

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté.

On distingue généralement les pompes volumétriques rotatives et les pompes volumétriques alternatives.

○ Comparaisons entre les pompes centrifuges et les pompes volumétriques :

Pour de petites HMT et de faibles débits journaliers ($HMT \cdot Q < 25 \text{ m}^3/\text{j}$), les pompes à main peuvent s'avérer plus intéressantes. On utilisera alors un seau pour pomper l'eau. L'utilisation de pompes mécaniques sur cette plage d'utilisation se limitera principalement aux pompes volumétriques de faible puissance.

Pour les hauteurs de moins de 7 mètres, l'emploi de pompes à aspiration sera préféré. Cette pompe est généralement de type centrifuge à ailettes.

Pour de faibles débits et une puissance disponible variable (par exemple, couplage éolien), l'emploi d'une pompe à cavité (volumétrique) permet un débit plus constant.

Pour une HMT moyenne, comprise entre 10 et 50 mètres, la pompe immergée centrifuge est généralement la plus efficace. Mais son rendement est très étroitement lié à la HMT et son dimensionnement est critique.

Pour les HMT supérieures à 35 mètres et de faibles débits journaliers ($< 20 \text{ m}^3$), la pompe volumétrique sera la plus utilisée, surtout si une forte variation du rabattement de la nappe (donc de la HMT) est constatée.

Pour des débits plus élevés, l'emploi d'une pompe centrifuge est souvent le seul choix possible.

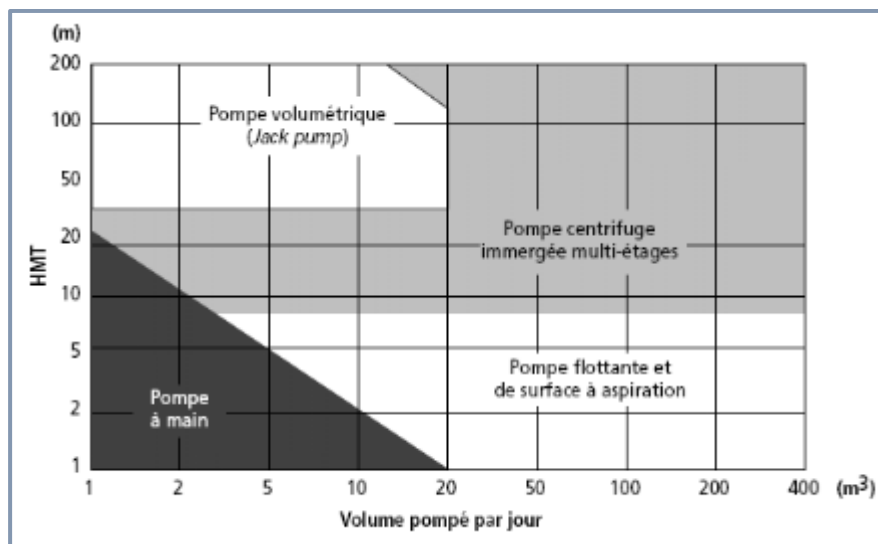


Figure : Choix d'une pompe selon la HMT et le débit demandés

Le choix d'une pompe se portera également sur sa capacité à répondre aux conditions variables du site. Nous avons vu que le débit d'une pompe volumétrique est moins affecté par la variation de la HMT alors que la pompe centrifuge verra son débit diminuer rapidement à mesure que la HMT augmente. La hauteur de refoulement d'une pompe

centrifuge est fonction du carré de la vitesse du moteur. À mesure que la HMT augmente, le rendement de la pompe diminue très rapidement ; le moteur devrait tourner beaucoup plus rapidement pour fournir un même débit.

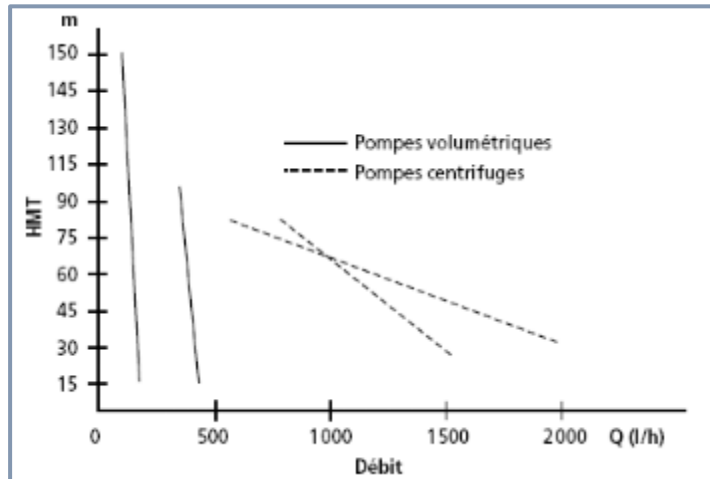


Figure Exemples de courbes débit - HMT pour quelques pompes

3.2 Selon le mode d'utilisation :

En fonction de l'emplacement physique de la pompe, nous distinguons : les pompes à aspiration et les pompes à refoulement.

Les pompes de surface :

La hauteur d'aspiration de n'importe quelle pompe est limitée à une valeur théorique de 9,8 mètres (pression atmosphérique en mètres d'eau) et dans la pratique à 6 ou 7 mètres. Les pompes à aspiration sont donc toujours installées à une hauteur inférieure à celle-ci. Ces pompes doivent également être amorcées, c'est-à-dire que la section en amont de la pompe doit être remplie d'eau pour amorcer l'aspiration d'eau.

Les pompes immergées :

Les pompes de refoulement sont immergées dans l'eau et ont soit leur moteur immergé avec la pompe (pompe monobloc), soit le moteur en surface ; la transmission de puissance se fait alors par un long arbre reliant la pompe au moteur. Dans les deux cas, une conduite de refoulement après la pompe permet des élévations de plusieurs dizaines de mètres, selon la puissance du moteur.

4. L'alimentation électrique :

Les pompes sont alimentées par un moteur électrique qui convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Ils fonctionnent soit en alternatif, soit en continu.

Parmi les moteurs à courant continu nous distinguons :

- Les moteurs à balais
- Les moteurs à commutation électronique qui utilisent un circuit électronique pour inverser le courant circulant dans le rotor
- Les moteurs séries qui s'adapte particulièrement à la traction
- Les moteurs shunts, utilisés dans les machines-outils
- Les moteurs à excitation composée
- Outre les moteurs à courant continu, il y a les moteurs à courants alternatifs. Les moteurs alternatifs asynchrones sont les plus couramment employés pour une gamme variée d'applications industrielles.

5. La commande électronique :

Le moteur de la pompe ne fonctionnera pratiquement jamais au point maximal (P_m) du générateur Photovoltaïque durant la journée. Pour cela il nous faudra un adaptateur de puissance qui pourra moduler l'énergie

En utilisation moteur continu, on parlera d'adaptateur de charge. C'est un dispositif électronique permettant de varier le point de fonctionnement du champ

Avec le moteur alternatif, l'énergie continue délivrée par la génératrice continue doit être convertit. La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu, produit par le générateur solaire, en courant alternatif monophasé ou triphasé. Un onduleur est habituellement conçu pour fonctionner sur une plage assez réduite.

5.1 L'onduleur :

La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu, produit par le générateur solaire, en courant alternatif monophasé ou triphasé. Un onduleur est habituellement conçu pour fonctionner sur une plage assez réduite. Il est très efficace pour des caractéristiques d'entrée et de sortie fixe. Son coût assez élevé et la nature variable de l'ensoleillement et du couple résistant des pompes en général ont longtemps exclu l'emploi des moteurs à courant alternatif pour le pompage solaire.

Les onduleurs de pompage sont en général à fréquence (f) variable afin de permettre une variation de la vitesse de rotation de la pompe. Dans ce cas, le rapport de la tension alternative (U) sur la fréquence - U/f - est constant. La fréquence du courant alternatif est directement proportionnelle à l'intensité de l'ensoleillement.

La tension nominale du courant alternatif peut être standard (220 ou 380 V) ou adaptée à un moteur spécifique d'une application photovoltaïque (80 V).

5.2 Adaptateur de charge (moteur continu) :

Les courbes caractéristiques courant-tension du groupe motopompe et du générateur solaire peuvent être très variables. En fait, selon l'instant de la journée, le type de pompe utilisée et les conditions d'utilisation du forage, le moteur de la pompe ne fonctionnera pratiquement jamais au point maximal (P_m) du générateur PV durant la journée.

L'adaptateur de charge est un dispositif électronique permettant de varier le point de fonctionnement du champ. L'adaptateur de charge sera particulièrement nécessaire au démarrage d'une pompe volumétrique, en augmentant la tension de fonctionnement acceptable par le moteur. Il permettra également de meilleurs résultats du groupe motopompe lors d'ensoleillements faibles.

Chapitre 2 : Méthodologie de dimensionnement

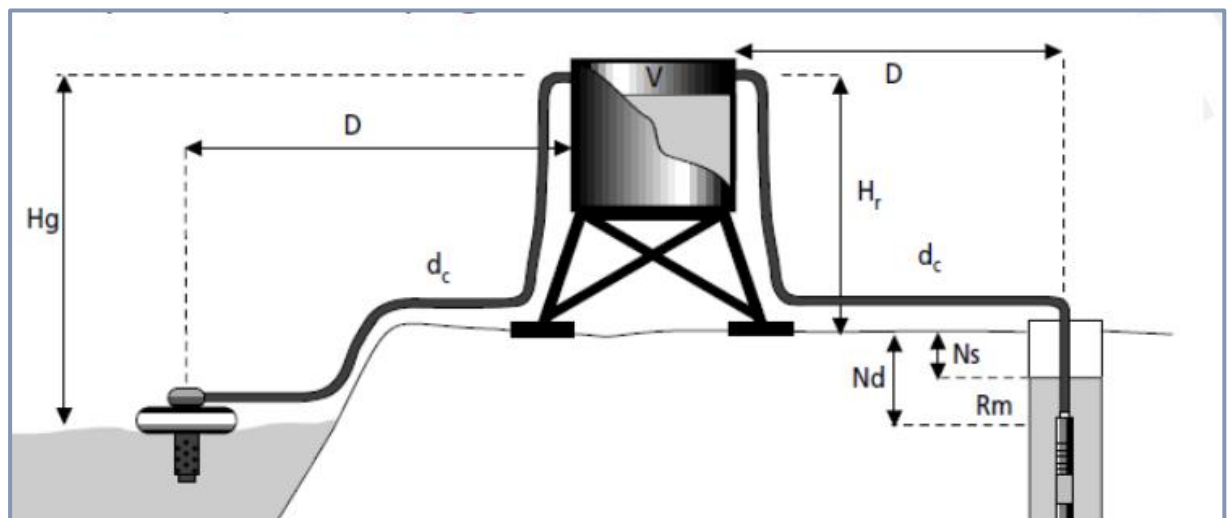
I. Dimensionnement de système de pompage

1. Évaluation des besoins en eau

La détermination des besoins en eau pour la consommation d'une population donnée dépend essentiellement de son mode de vie.

La capacité de réservoir sera déterminée selon les besoins en eau journalier et l'autonomie requise de système.

2. Définition des conditions du site



Niveau statique (N_s) : Le niveau statique d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau avant pompage.

Niveau dynamique (N_d) : Le niveau dynamique d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné. Pour le calcul de la HMT, le niveau dynamique est calculé pour un débit moyen.

Le rabattement (R_m) : est la marge de profondeur acceptable avant de stopper la pompe.

L'irradiation solaire (I_{rr}) : est la quantité d'énergie radiative provenant du Soleil reçue par une surface de 1 m^2 du sommet de l'atmosphère terrestre.

Calcul de la HMT :

Ferme autonome

Pour calculer la hauteur manométrique totale (m) on mesure le niveau statique la hauteur du réservoir et les pertes de charge due à la tuyauterie.

$$HMT = (N_d + N_r) (1 + P_c)$$

HMT : la hauteur manométrique totale

N_d : Niveau dynamique (m)

N_r : hauteur de réservoir

P_c : perte de charge produite par le frottement de l'eau sur les parois des conduites, ces pertes sont en fonction de la distance des conduites de leur diamètre et du débit de la pompe et s'exprime en mètre d'eau, le diamètre des conduites doit être calculé afin que ces pertes de charge correspondent au plus à 10% de la hauteur géométrique totale.

3. Calcule de nombre d'heures équivalentes d'ensoleillement :

$$H = \frac{I_{rr}}{1000}$$

Le rayonnement n'est pas constant pendant une journée d'ensoleillement, afin de le calculer pendant une année d'ensoleillement qui a un certain profil et une énergie solaire intégrée en Wh/m², on va assimiler cette énergie solaire au produit du rayonnement instantané 1000W/m² par un certain nombre d'heures que l'on appelle « nombre d'heures équivalentes pleine puissance ».

Grace à la valeur de 1000 de ce rayonnement de référence, le nombre d'heures équivalentes se trouve exactement égal à l'Energie solaire intégrée si on l'exprime en KWh/m².an.

4. Calcule de besoin horaire en eaux :

$$Q = \frac{Q_i}{H}$$

Q_h : Débit horaire de l'eau en m³/h

Q_i : Débit journalier de l'eau en m³/j

H : Nombre d'heures équivalentes d'ensoleillement en h/j

5. Calcule de l'Energie hydraulique nécessaire :

$$Ph = Ch * Qh * HMT$$

$$Eh = Ch * Qj * HMT$$

E_h : l'Energie hydraulique (Wh)

C_h : constante hydraulique $C_h = 2.725 \text{ Kg.s.h/m}^2$

Q_j : débit de l'eau m^3/j

HMT hauteur manométrique totale (mCE)

Q_h : débit horaire de l'eau en m^3/h

6. Choix de la pompe :

Le choix de la pompe se portera également sur sa capacité à répondre aux conditions variables du site.

Le moteur doit être capable de supporter la puissance crête du générateur photovoltaïque.

Lorsque HMT augmente, le rendement de la pompe diminue très rapidement, le moteur devrait tourner beaucoup plus rapidement pour fournir un même débit.

$$HMT_{pompe} \geq HMT$$

$$P_{pompe} \geq P_h$$

$$Q_{pompe} \geq Q_h$$

7. Calcule de l'Energie du moteur nécessaire :

$$P_m = \frac{Ch * Qh * HMT}{\eta_{mp}}$$

$$E_m = \frac{Ch * Qj * HMT}{\eta_{mp}}$$

η_{mp} : en générale le rendement des groupes motopompe est de 30% à 50%, selon le type de pompe et de moteur

8. Choix de moteur :

On choisit le moteur avec une puissance P_{moteur} tel que :

$$P_{\text{moteur}} \geq P_m$$

9. Choix d'onduleur solaire :

Avant de choisir notre onduleur, il faut assure que :

La tension de sortie c'est la tension de moteur

Il existe trois critères pour choisir l'onduleur solaire : Compatibilité en puissance le ratio de puissance, Compatibilité en tension, Compatibilité en courant :

- **Compatibilité en puissance le ratio de puissance**

$$P_{\text{pompe}} \leq P_{\text{ond}}$$

Il est recommandé : $P_{\text{ond}} = 1.1 \times P_{\text{pompe}}$

P_{pompe} : la puissance motopompe

P_{ond} : la puissance nominale CA de l'onduleur

$SRca = P_{\text{pompe}}/P_{\text{ond}}$ Recommandation $SRca = 0.9$

$SRca$: le ratio de puissance de l'onduleur

- **Compatibilité en tension**

Nombre maximum de modules dans une chaine :

$$N_{\text{max}} = \frac{U_{\text{ond mpp max}}}{U_{\text{co}}(\text{module} - 10^\circ\text{c})}$$

N_{max} : Nombre maximum de modules dans une chaine.

$U_{\text{ond max}}$: la tension d'entrée maximale de l'onduleur

$U_{\text{co}}(\text{module} - 10^\circ\text{c})$: la tension à vide d'un module à 10°c

Nombre minimum de modules dans une chaine :

$$N_{\text{min}} = \frac{U_{\text{mpp(ond min)}}}{U_{\text{mpp(module } 70^\circ\text{c})}}$$

N_{min} : Nombre minimum de modules dans une chaine

$U_{\text{mpp(ond min)}}$: la tension d'entrée minimale de l'onduleur au MPP

$U_{\text{mpp(module de } 70^\circ\text{c})}$: la tension du module au MPP à 70°c

- **Compatibilité en courant :**

Détermination du nombre de la chaine

$$N_{\text{chaine}} = \frac{I_{\text{max ond}}}{I_{\text{cc pv}}}$$

$I_{max\ ond}$: courant d'entrée maximum admissible de l'onduleur
 $I_{cc\ pv}$: courant de CC de module

10. Calcul de la puissance crête

La puissance crête dans les conditions standards en Watt crête (W_c) que doit avoir le champ estimé par la relation

$$P_c = \frac{E_m}{I_{rr} \cdot C_p} = \frac{P_{moteur}}{C_p}$$

P_c : puissance du générateur en Watt crête

C_p : coefficient de perte, la valeur fréquente étant entre 0.75 et 0.8.

11. Choix des câbles pour pompe immergées

A l'aide de ces tableaux on peut dimensionner les câbles

Tension (50 Hz)	Puissance kW	Intensité A	Section de câble en mm²					
			4 x 1,5	4 x 2,5	4 x 4	4 x 6	4 x 10	4 x 16
			Longueur maxi du câble en mètres					
1-230V	0,37	3,4	150	250	400	600	1 000	1 500
	0,55	4,3	100	170	270	400	700	1 100
	0,75	5,7	80	140	220	320	550	850
	1,1	8,6	50	90	130	220	350	550
	1,5	10,6	45	80	120	180	300	450
	2,2	15,5	25	50	80	120	200	300

Tension (50 Hz)	Puissance kW	Intensité A	Section de câble en mm²							
			4 x 2,5	4 x 4	4 x 6	4 x 10	4 x 16	4 x 25	4 x 35	4 x 50
			Longueur maxi du câble en mètres							
3-400V	4	10	140	220	350	600	900	-	-	-
	5,5	13,7	100	150	250	400	650	900	-	-
	7,5	16,5	80	125	200	300	550	800	1 000	-
	9,2	19,2	70	100	170	250	450	700	900	-
	11	22,7	50	80	130	210	350	590	750	950
	15	32	-	50	100	160	270	400	600	700
	18,5	39	-	-	80	120	220	350	500	600
	22	38	-	-	-	100	200	300	400	500
	30	62	-	-	-	-	150	220	300	400

12. Calcule de la production photovoltaïque

Calcule par le rendement du module PV

$$Qj = \frac{Spv * \eta_{mp} * Irr * Cp}{Ch * HMT}$$

Spv : surface du champ photovoltaïque (exemple 7.14m²)

η_{pv} : rendement du module.

Irr : irradiation sur la surface inclinée en KWh/m².

Cp : coefficient de perte (0.75 ou bien 0.8)

II. Electrification de la ferme :

1. Évaluation des besoins :

1- Besoin énergétique éclairage poulailler

Pourquoi davantage de lumière ? Les poules ont une perception de la lumière (des couleurs) qui diffère de celle des humains. L'œil est, chez la poule, l'organe sensoriel dominant, ce qui lui permet de percevoir davantage de couleurs. L'œil de la poule étant situé sur le côté de la tête, le champ de vision de l'animal est plus large que celui de l'homme. Par ailleurs, la poule est également capable de capter la lumière sans que ses yeux ne lui soient indispensables, au moyen d'un organe pariétal de la vision situé sous la boîte crânienne (Hypothalamus). C'est la raison pour laquelle une intensité lumineuse optimale contribue au bien-être animal.



Intensité lumineuse Différents régimes d'éclairage s'appliquent aux volailles. Le choix dépend du type de volaille présent dans le poulailler et des préférences de l'éleveur. Les éleveurs de poussins de chair sont dans l'obligation légale de prévoir une intensité lumineuse de 20 lux minimum sur 80 % de la surface au sol. La même obligation s'applique aux poules pondeuses, alors que les animaux plus âgés ont besoin d'une intensité lumineuse située entre 40 et 60 lux. Chaque étable est particulière ; c'est pourquoi nous vous renseignerons volontiers sur les possibilités d'éclairage de poulaillers.

2- Besoin énergétique électrification de clôtures

L'électrification de clôture adéquate est le cœur de toute bonne installation de clôture électrique. Il émet régulièrement des impulsions de courant dont l'intensité dépend de la puissance de l'appareil. Plus l'énergie (valeur en joule) est élevée, plus l'impulsion est forte. Pour garantir un bon fonctionnement, un câble de raccordement clôture bien conducteur, de bons isolateurs, une mise à la terre bien faite, etc. sont les conditions indispensables. La clôture doit être de préférence exempte de toute source de déperdition de courant (végétation, etc.).

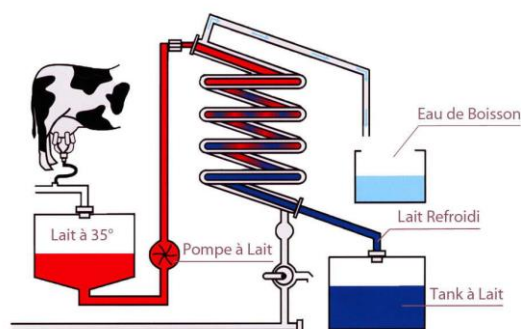
Si vous avez un pré à proximité d'une prise de 230 volts, vous pouvez utiliser une électrification **de clôture fonctionnant sur secteur**. Si le pré est plus éloigné, que la longueur de la clôture n'est pas très grande, que les animaux sont faciles à garder et qu'il n'y a pas de raccordement 230 volts, choisissez **un appareil fonctionnant sur une pile de 9 volts**. Ils sont légers, maniables et d'utilisation plus souple. Pour les clôtures plus longues présentant des déperditions etc., vous aurez besoin d'un appareil plus puissant. Choisissez une électrification **fonctionnant sur une batterie de 12 volts**.



Les modules solaires sont de plus en plus souvent utilisés dans le domaine des clôtures électriques. Grâce à de nouvelles technologies améliorées, l'acquisition d'un **appareil fonctionnant à l'énergie solaire** est également intéressante sur le plan de la rentabilité. Les coûts d'achat du module solaire sont uniques. Il n'y a pas de frais courants.

3- Besoin énergétique contrôle et refroidissement du lait :

Lors du refroidissement du lait issu de la traite, la température doit passer de 35°C à 2-4°C en l'espace d'environ 3 heures, ce qui exige un système de refroidissement sur le tank à lait, gourmand en énergie. D'autre part, la salle de traite exige une certaine quantité d'eau chaude produite généralement par un boiler, lui aussi gourmand en électricité. Pour économiser sur ces postes, il est possible d'installer un récupérateur de chaleur pour profiter de l'énergie dégagée lors du refroidissement du lait.



Deux systèmes peuvent être utilisés.

Premièrement, un système de pré-refroidissement du lait qui permet de faire des économies sur la consommation électrique du tank à lait. L'eau tempérée peut être utilisée pour l'abreuvement du bétail.

Deuxièmement, un système d'échangeur de chaleur transformant l'énergie dégagée lors du refroidissement du lait en énergie servant à préchauffer l'eau du boiler. Dans les deux cas, l'agriculteur valorise une énergie gratuite, la chaleur du lait.

Récepteurs	
Appareils	Nombres
Lampes fluo compactes intérieures	5
Lampes fluo compactes extérieures	5
Lampes LED ou FLUO	15
Congélateur 1	1
Congélateur 2	1
Clôture	1

2. Calcul de puissance crête :

Pour calculer la puissance crête on utilise la relation suivante :

$$P_c = \frac{E_j \text{ (en kWh/jour)}}{K.Ir_{jmin} \text{ (en } \frac{kWh}{m^2.j} \text{)}}$$

Avec :

Ir : Les irradiations de notre site Settat

K : coefficient de correction

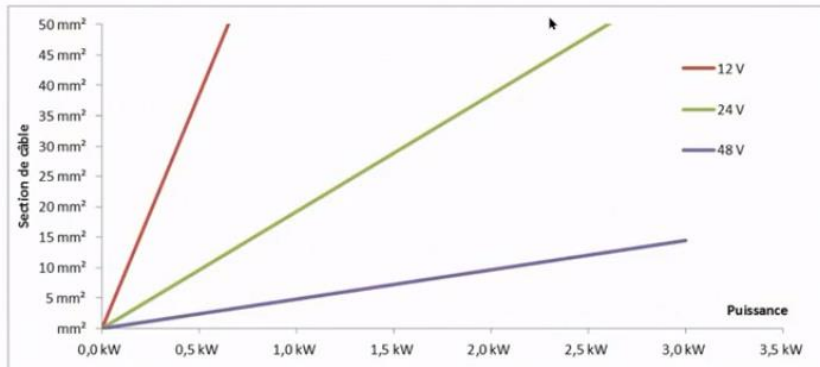
Ej : Energie totale consommée

3. Choix de tension commandée

C'est très important de choisir la tension de travail du système en courant continu, car cette tension en fonction de la charge influe directement sur le choix des systèmes de conversion et de régulation, ainsi que sur le câblage et aussi sur les appareils à usage domestique. On peut citer un exemple de choix de la tension suivant la puissance de la charge :

Puissance du champ photovoltaïque	0 – 500 W _c	500 W _c – 2 kW _c	2 kW _c – 10 kW _c	> 10 kW _c
Tension recommandée	12 VDC	24 VDC	48 VDC	> 48 VDC

Tension recommandée pour les parcs de batteries



Abaque donnant la section des câbles entre le parc de batteries et l'onduleur en fonction de la puissance des appareils électriques (consommateurs) et de la tension, pour une longueur de câble de L=2×3m et une chute de tension $\epsilon=1\%$.

3.Dimensionnement du champs PV :

Puisque notre puissance photovoltaïque nécessaire est bien établie, on compose un champ de modules en série/ parallèle. Bien entendu, il faut arrondir le nombre de modules à la valeur entière supérieure, et parfois au nombre pair supérieur quand il faut les câbler deux à deux.

Performance

Rated power (P_{max})	125W
Power tolerance	$\pm 5\%$
Nominal voltage	12V
Limited Warranty ¹	25 years

Configuration

S BP 3125S	Clear universal frame with LoPro J-Box and polarized Multicontact (MC) connectors
U BP 3125U	Clear universal frame and standard J-Box

Electrical Characteristics²

	BP 3125
Maximum power (P_{max}) ³	125W
Voltage at P_{max} (V_{mp})	17.6V
Current at P_{max} (I_{mp})	7.1A
Warranted minimum P_{max}	118.75W
Short-circuit current (I_{sc})	7.54A
Open-circuit voltage (V_{oc})	22.1V
Temperature coefficient of I_{sc}	(0.065 \pm 0.015)%/°C
Temperature coefficient of V_{oc}	-(80 \pm 10)mV/°C
Temperature coefficient of power	-(0.5 \pm 0.05)%/°C
NOCT (Air 20°C; Sun 0.8kW/m²; wind 1m/s)	47 \pm 2°C
Maximum series fuse rating	15A (S); 20A (U)
Maximum system voltage	600 V (US NEC rating)

Pour le nombre de module pour chaque string :

$$N_{pv}/string = \frac{U_{syst}}{U_{npv}}$$

Avec :

U_{syst} : la tension commandée

Unpv : tension assurée par les panneaux choisie

Pour le nombre de string :

$$\frac{Psyst}{Pc * Npv/string}$$

Psyst : puissance totale de système

Pc : puissance donnée dans la fiche technique de panneau

Npv/string : nombre de panneau pour chaque string

Finalement le nombre de panneaux photovoltaïques nécessaires pour l'installation est calculé par la relation suivante :

$$N_{tpv} = N_{string} * N_{pv/string}$$

4. La capacité des accumulateurs nécessaire à ce système

On calcule la capacité accumulateurs :

$$C = \frac{Ec.Njours}{D.Usyst}$$

Avec :

C : capacité de la batterie en ampère heure Ah

Ec : énergie consommée par jour

N : nombre de jour d'autonomie

D : décharge maximale admissible

Usyst : tension de système

$$Nbat = \frac{Csyst}{c} * \frac{Usys}{Ub}$$

- Csyst : capacité de stockage totale de système.
- Cbat : capacité unitaire de batterie.
- Usys : tension de système
- Ubat : tension unitaire de la batterie.

Chapitre 3 : étude de cas

I. Pompage solaire :

1. Le besoin journalier

Dans notre ferme, on doit satisfaire nombreux besoins qui demandent de l'eau.

On fait plusieurs activités quotidiennes ; on doit par exemple s'occuper de la bonne alimentation des animaux dont on cite les poules, les vaches, les chevaux, les moutons.

Donc, il faut les fournir de ce besoin insistant et d'une façon régulière.

En outre, on a une deuxième contrainte en ce qui concerne le côté nettoyage et hygiène des bêtes.

Ajoutons à cela les besoins des travailleurs dans la ferme.

En somme, on résume tous ces besoins dans ce qui suit :

$$\text{Le besoin journalier } Q_j = 80\text{m}^3/\text{j}$$

2. Choix de site

Les irradiances de notre site Settati $I_{rr} = 6723 \text{ Wh/m}^2.\text{j}$
La hauteur dynamique $H_d = 90\text{m}$
La hauteur du réservoir $H_r = 10\text{m}$
Les pertes de charge $P_{ch} = 10\%$

3. Calcule de la HMT

$$\text{HMT} = (90 + 10)(1 + 0.1) = 110\text{m}$$

4. Calcule de nombre d'heures équivalentes d'ensoleillement

$$H = \frac{I_{rr}}{1000} = \frac{6732}{1000} = 6.723\text{h/j}$$

5. Calcule de besoin horaire en eaux

$$Q_h = \frac{Q_i}{H} = \frac{80}{6.723} = 11.89\text{m}^3/\text{h}$$

6. Calcule de l'Energie hydraulique nécessaire

$$P_h = Ch * Q_h * HMT = 2.725 * 11.89 * 110 = 3.56KW$$

7. Choix de la pompe

On doit choisir la pompe avec les caractéristiques suivantes :

$$HMT_{pompe} \geq 110m$$

$$P_{pompe} \geq 3.56KW$$

$$Q_{pompe} \geq 11.89m^3/h$$

8. Calcule de l'Energie du moteur nécessaire

$$P_m = \frac{Ch * Q_h * HMT}{\eta_{mp}} = \frac{3.56}{0.67} = 5.31KW$$

9. Choix de moteur.

$$P_{moteur} \geq 5.31KW$$

D'après les calculs effectués, la puissance du moteur électrique est fixée dans 5.3 KW

Cependant, selon les normes du marché de travail on trouve 5.5 KW comme puissance minimale du moteur qu'on peut utiliser

Avec une tension $U=380V$

$$P = \sqrt{3} \times I \times U \times \cos\phi$$

Donc on trouve que $I=10.5A$

10. Choix d'onduleur solaire

$$P_{pompe} \leq P_{ond}$$

La puissance de l'onduleur doit être supérieure ou égale à la puissance de la pompe 5.5 KW donc, la puissance standard la plus proche qu'on peut trouver dans le marché est de 7.5 KW

Notre onduleur :

Plage de tension : $U_{mpt} = [250,800]$, $I = 23A$, $P = 7.5KW$.

Nombre maximum de modules dans une chaîne :

$$N_{max} = \frac{U_{ond mpp max}}{U_{co(module - 10^\circ c)}}$$

Selon les fiches techniques on peut calculer $U_{co} (module - 10^\circ c) = 42$

$$\text{Donc } N_{max} = 800/42 = 19$$

Nombre minimum de modules dans une chaîne :

$$N_{min} = \frac{U_{mpp(ond\ min)}}{U_{mpp(module\ 70^{\circ}c)}}$$

Selon les fiches techniques on peut calculer $U_{mppt}(module\ de\ 70^{\circ}c) = 25$

Donc $N_{min} = 250/25 = 10$

Détermination du nombre du chaîne

$$N_{chaîne} = I_{max\ ond} / I_{cc\ pv} = 23/9.8 = 2$$

Donc 2 chaînes

On résume que le nombre des panneaux photovoltaïques qui doivent être monté en série est de 10 à 19 et celle en parallèle est de 0 à 2.

11. Calcule de la puissance crête

$$P_c = P/0.8 = 5.5/0.8 = 6.875KW$$

12. Nombre totale des panneaux

$$N_{totale} = P_c/P_u = 6875/275 = 25pv$$

Nombre des panneaux photovoltaïques :

Puisque on a la pompe est de 380v il est préférable qu'on prend 15 PV en série

Donc on doit monter notre installation avec 2 chaînes de 15 modules

→ Le nombre des panneaux nécessaire est $2 \times 15 = 30$

II. Electrification

1. Besoin journalier :

Appareils	Récepteurs	Alimentés	Par	Onduleur	
	Nombres	Puissance unitaire (W)	Durée/jour D'utilisation	Puissance (W)	Energie (w/h)
Lampes fluo compactes intérieures	5	20	8H	100	800
Lampes fluo compactes extérieures	5	20	8H	100	800
Lampes LED ou FLUO	15	75	24	1125	27000
Congélateur 1	1	100	24	100	2400
Congélateur 2	1	100	24	100	2400
cloture	1	10	24	10	240
Total				1535	33640

2. Dimensionnement de la puissance crête :

$$P_c = \frac{E_j \text{ (en kWh/jour)}}{K \cdot I_{rr} \text{min (en } \frac{kWh}{m^2 \cdot j})}} = 7148.16 \text{ Wc}$$

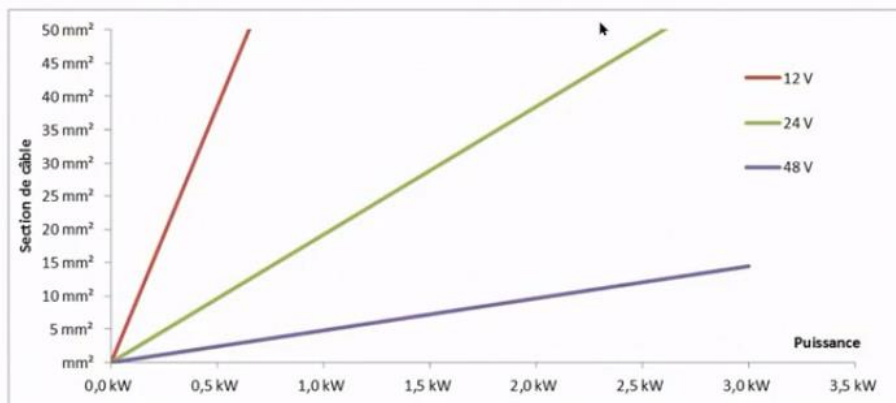
- Choix de site

Les irradiations de notre site Settati $I_{rr} = 6723 \text{ Wh/m}^2 \cdot j$

Le coefficient de correction : $K = 0.6$

Puissance du champ photovoltaïque	0 – 500 W _c	500 W _c – 2 kW _c	2 kW _c – 10 kW _c	> 10 kW _c
Tension recommandée	12 VDC	24 VDC	48 VDC	> 48 VDC

Tension recommandée pour les parcs de batteries



Abaque donnant la section des câbles entre le parc de batteries et l'onduleur en fonction de la puissance des appareils électriques (consommateurs) et de la tension, pour une longueur de câble de $L=2 \times 3m$ et une chute de tension $\epsilon=1\%$.

La valeur obtenue de la puissance crête est comprise entre 2kW_c et 10kW_c donc la tension recommandée est : 48 VDC

3. Dimensionnement du champs PV :

Performance

Rated power (P_{max})	125W
Power tolerance	$\pm 5\%$
Nominal voltage	12V
Limited Warranty ¹	25 years

Configuration

S BP 3125S	Clear universal frame with LoPro J-Box and polarized Multicontact (MC) connectors
U BP 3125U	Clear universal frame and standard J-Box

Electrical Characteristics²

	BP 3125
Maximum power (P_{max}) ³	125W
Voltage at P_{max} (V_{mp})	17.6V
Current at P_{max} (I_{mp})	7.1A
Warranted minimum P_{max}	118.75W
Short-circuit current (I_{sc})	7.54A
Open-circuit voltage (V_{oc})	22.1V
Temperature coefficient of I_{sc}	$(0.065 \pm 0.015)\% / ^\circ C$
Temperature coefficient of V_{oc}	$-(80 \pm 10)mV / ^\circ C$
Temperature coefficient of power	$-(0.5 \pm 0.05)\% / ^\circ C$
NOCT (Air 20°C, Sun 0.8kW/m ² , wind 1m/s)	47 \pm 2°C
Maximum series fuse rating	15A (S); 20A (U)
Maximum system voltage	600 V (US NEC rating)

4. nombre de string

Pour le nombre de module pour chaque string :

$$N_{pv/string} = \frac{U_{syst}}{U_{npv}} = \frac{48}{12} = 4$$

Pour le nombre de string :

$$\frac{P_{syst}}{P_c * N_{pv/string}} = \frac{7148.16}{4 * 125} = 14.29$$

Donc on a besoin de 15 strings.

Donc le nombre de panneaux photovoltaïques nécessaires pour l'installation est :

$$N_{tpv} = S_{string} * N_{pv/string} = 60$$

5. Capacité des accumulateurs

Ferme autonome

La capacité des accumulateurs nécessaire à ce système ainsi que leur nombre :

$$C = \frac{E_c \cdot N_{\text{jours}}}{D \cdot U_{\text{syst}}} = 2002.38 \text{ Ah}$$

Avec :

C : capacité de la batterie en ampère heure Ah

E_c : énergie consommée par jour

N : nombre de jour d'autonomie (2jours dans ce cas)

D : décharge maximale admissible (pour batteries Plomb : 0.8)

U_{syst} : tension de système

Les caractéristiques de la batterie choisie dans notre cas d'étude sont :

U_b = 12v

C_b = 115Ah

D = 0.7

$$N_{\text{bat}} = \frac{C_{\text{sys}}}{C} * \frac{U_{\text{sys}}}{U_b} = 17 * 4 = 68$$

- C_{sys} : capacité de stockage totale de système.
- C_{bat} : capacité unitaire de batterie.
- U_{sys} : tension de système
- U_{bat} : tension unitaire de la batterie.

Régulateur compatible dépend de nombre de chaines en série et en parallèle...

Onduleur ...

Dessin des schémas des panneaux :

Caractéristique du champ photovoltaïque :

Courant : 7A (dans la fiche technique)

V_{oc} panneau = 2(nb panneau séries) * 22 = 44v

Régulateur de plus de 5*7=35A et de tension 24v

L'onduleur doit dépasser la P_{max}

On a 68 batteries on les dessine et on les mis en série et on parallèle

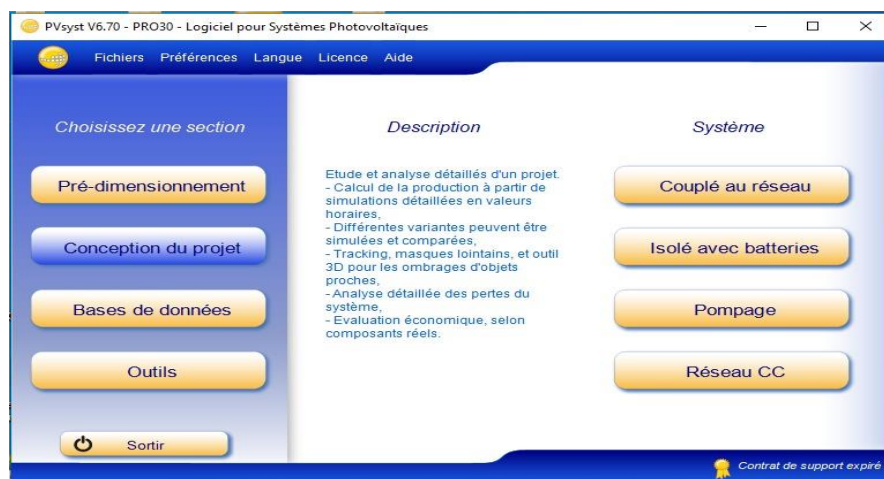
Chapitre 4 : partie pratique (simulation avec PVSYST):

L'objectif de cette partie est de vérifier les calculs théoriques et de faire un dimensionnement convenable pour le choix des composants de l'installation électrique, pour cela on utilise le logiciel PVsyst :

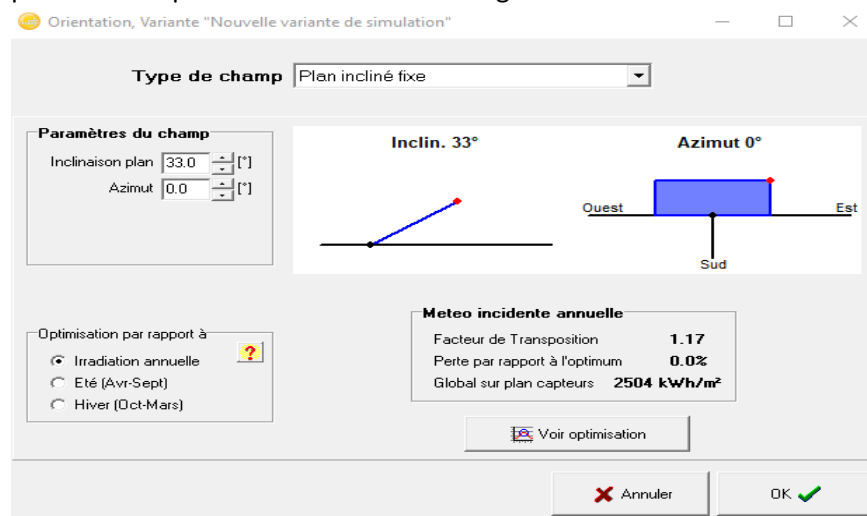
I. Electrification de la ferme

1-1 La première étape consiste à choisir le type de système

(Dans notre cas c'est un système isolé avec batterie)



1-2 après on commence notre dimensionnement par choisir l'angle d'inclinaison des panneaux on prend dans notre cas un angle de 33°



1-3-ensuite on donne la consommation journalière d'énergie électrique ainsi que les différents appareils et leurs puissances

☺ Daily use of Energy, Variant "Nouvelle variante de simulation" — □ ×

Definition of Daily Household consumptions, year

Consumptions | Hourly distribution |

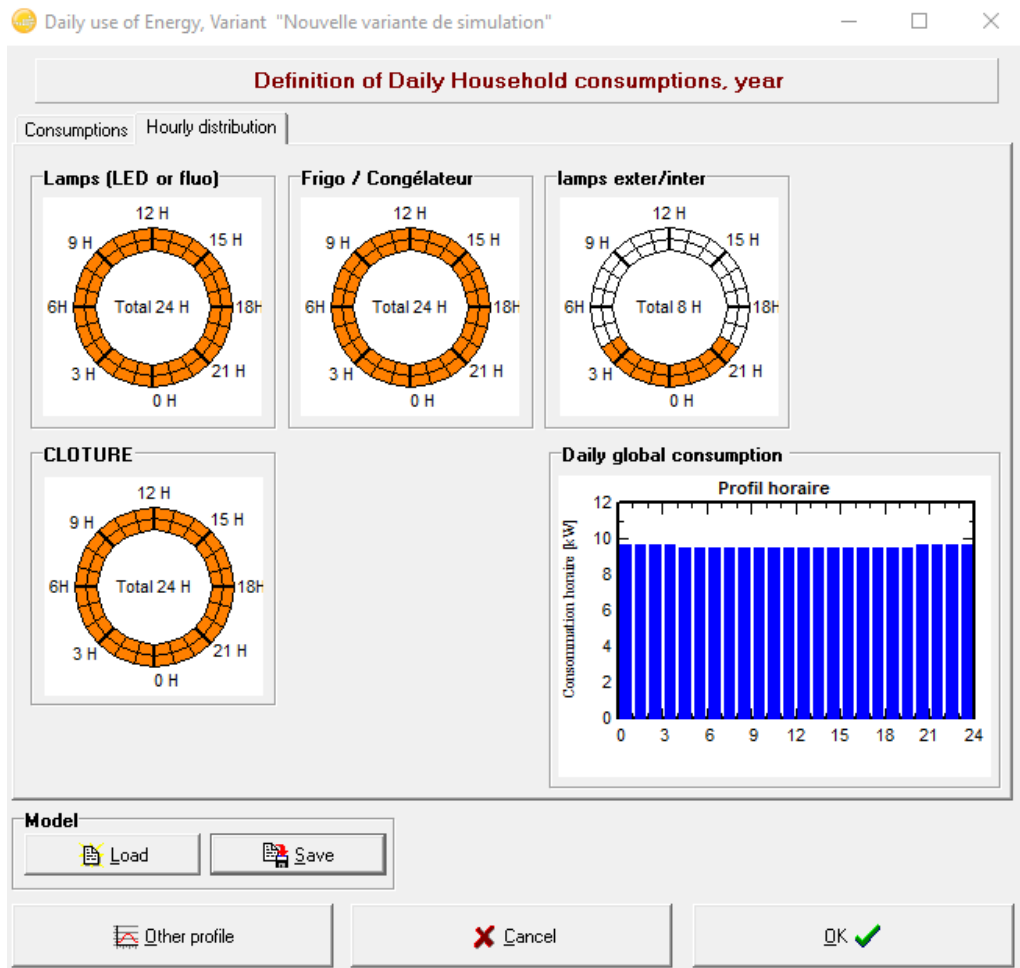
Daily consumptions

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib	Daily energy
15	Lamps (LED or fluo)	75 W/lamp	24.0 h/day	OK	27000 Wh
0	TV / PC / Mobile	0 W/app.	0.0 h/day		0 Wh
0	Appareils domestiques	0 W/app.	0.0 h/day		0 Wh
2	Frigo / Congélateur	100.00 kWh/day	24.0 h/day	OK	200000 Wh
0	Dish- & Cloth-washers	0.0 W aver.	2.0 h/day		0 Wh
10	Autres utilisations	20 W/app.	12.0 h/day	OK	2400 Wh
0	Autres utilisations	0 W/app.	0.0 h/day		0 Wh
Stand-by consumers		1 W tot	24 h/day	<input type="checkbox"/> 7 days/7	24 Wh
<p>Appliances info</p> <p>Total daily energy 229424 Wh/day Total monthly energy 1966.5 kWh/month</p>					

Consumption definition by: ☒ Year ☐ Seasons ☐ Months

Week-end or Weekly use: ☒ Use only during 2 days in a week

Model:



1-4- la 4eme étape consiste à choisir le type de batterie et le champ PV convenable

Design of a Standalone system, Variant: "Nouvelle variante de simulation"

Specified User's needs | Pre-sizing suggestions | System summary

Av. daily needs : 229 kWh/day
 Enter accepted LOL: 5.0 %
 Enter requested autonomy: 2.0 day(s)

Battery (user) voltage: 48 V
 Suggested capacity: 11219 Ah
 Suggested PV power: 45.1 kWc (nom.)

Detailed pre-sizing

Storage | Champ PV | Back-up | Schema

Procedure

The Pre-sizing suggestions are based on the Monthly meteo and the user's needs definition

1. - Pre-sizing: Define the desired Pre-sizing conditions (LOL, Autonomy, Battery voltage)
2. - Storage: Define the battery pack (default checkboxes will approach the pre-sizing)
3. - PV Array design: Design the PV array (PV module) and the control mode. You are advised to begin with a universal controller.
4. - Back-up: Define an eventual Genset

Specify the Battery set

Sort Batteries by: ☒ voltage ☐ capacity ☐ manufacturer

All Manufacturers | 2 V | 3220 Ah | Pb | Open | Tub | Sun power VL OPzS 2- Hoppecke | Open

Toutes les technol.

24 ☒ Batterys in serie
 3 ☒ Batterys in parallel

Number of batteries: 72
 Number of elements: 72

Battery pack voltage: 48 V
 Global capacity: 9660 Ah
 Stored energy (80% DOD): 371 kWh
 Total weight: 20707 kg
 Nb. cycles at 50% DOD: 2809
 Total stored energy during the battery life: 724.7 MWh

Operating battery temperature

Temper. mode: Fixed (tempered local)

Fixed temperature: 20 °C

The battery temperature is important for the ageing of the battery. An increase of 10 °C divides the "static" battery life by a factor of 2.

Cancel OK

Design of a Standalone system, Variant "Nouvelle variante de simulation"

Specified User's needs | Pre-sizing suggestions | System summary

Av. daily needs : Enter accepted LOL %
 229 kWh/day Enter requested autonomy day(s)

Battery (user) voltage V
 Suggested capacity **11219 Ah**
 Suggested PV power **44.9 kWc (nom.)**

☐ Detailed pre-sizing

Storage | Champ PV | Back-up | Schema

Sub-array name and Orientation
 Name
 Orient. **Plan incliné fixe** Tilt **32°** Azimut **0°**

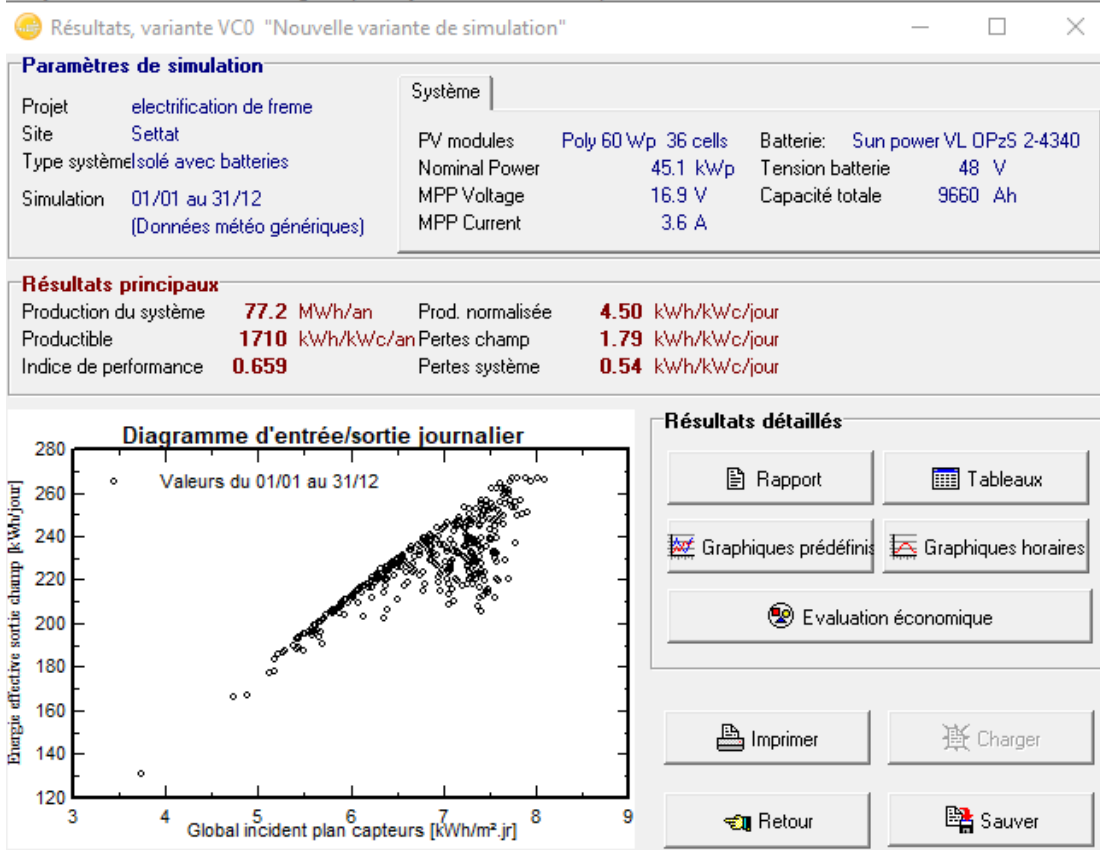
Presizing help
☐ No Sizing Enter planned power kWp,
 ... or available area m²

Select the PV module
 Tous les modules Sort modules by: ☒ power ☐ technology
 Generic 60 Wp 14V Si-poly Poly 60 Wp 36 cells Since 2015 Typical
 Sizing voltages: Vmpp (60°C) **14.1 V**
 Voc (-10°C) **23.8 V**

Select the control mode and the controller
☒ Universal controller DC fixed voltage input converter
 Max. Charging - Discharging current
 Operating mode
☐ Direct coupling
☐ MPPT converter
☒ DC-DC converter
 DCDC 360 W 48 V 987 A 199 A Universal controller with DCDC convi
 The operating parameters of the generic default controller will be adjusted according to the properties of then system.

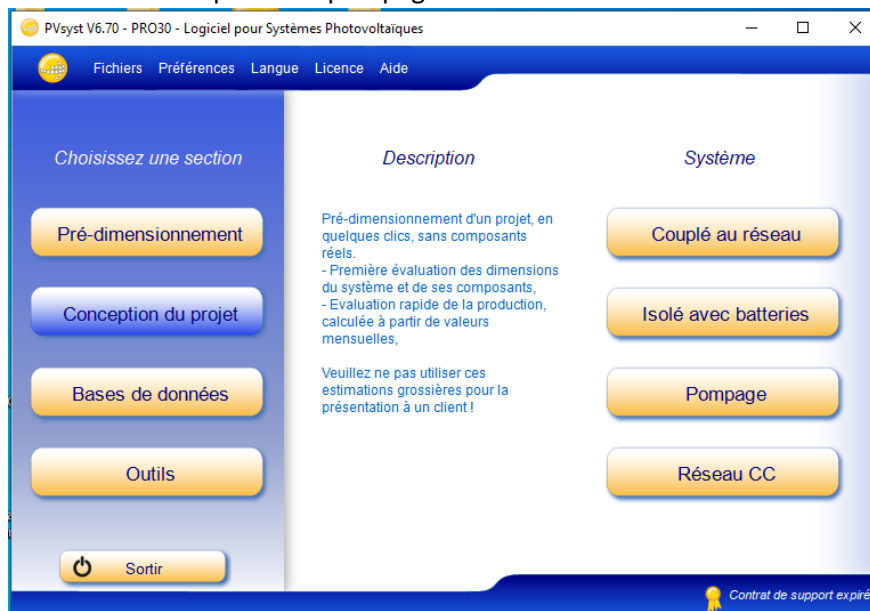
PV Array design
 Number of modules and strings
 Mod. in serie should be :
 Nb. strings ☒ No constraint ☐ Between 151 and 226
 Nb modules **752** Area **419 m²**
 Operating conditions :
 Vmpp (60°C) 56 V
 Vmpp (20°C) 69 V
 Voc (-10°C) 95 V
 Plane irradiance **1000 W/m²**
 Imp (STC) 673 A
 Isc (STC) 728 A
 Isc (at STC) 714 A
 Max. operating power **40.2 kW**
 à 1000 W/m² et 50°C
Array's nom. power (STC) 45.1 kWp

1-5 Finalement en lance la simulation

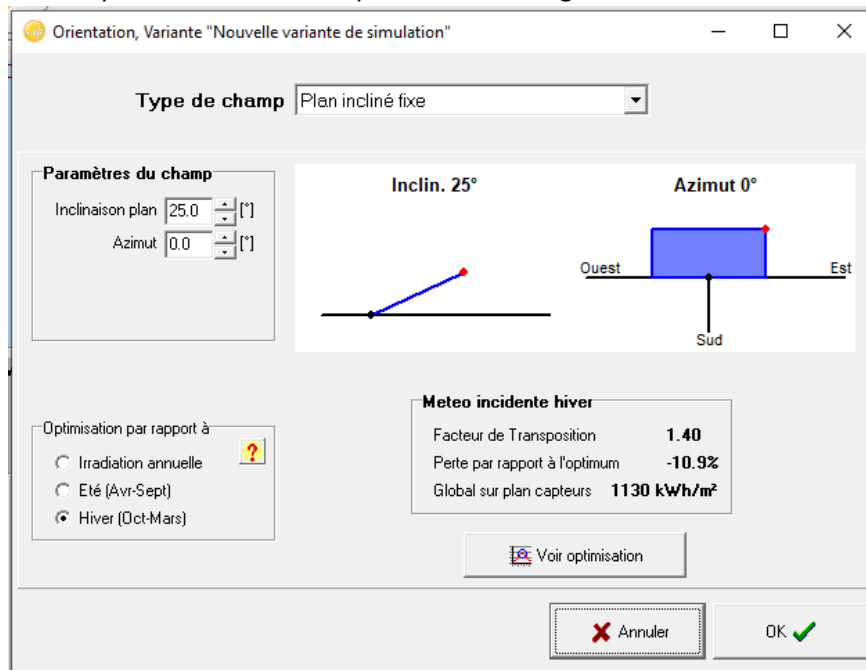


II. Système de pompage

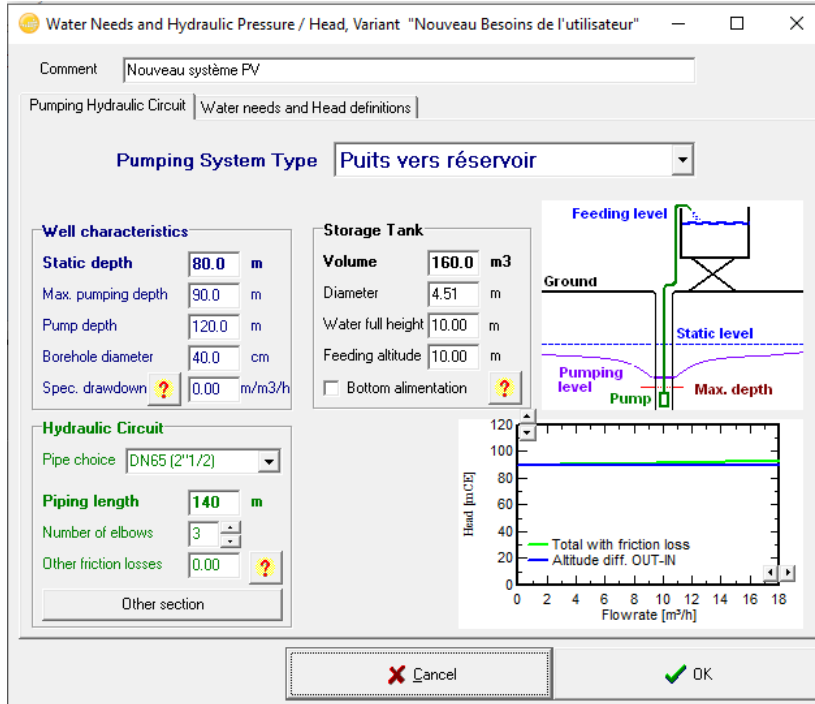
1. La conception du projet : dans cette étape on choisit le type de système
Don on choisit la partie du pompage.



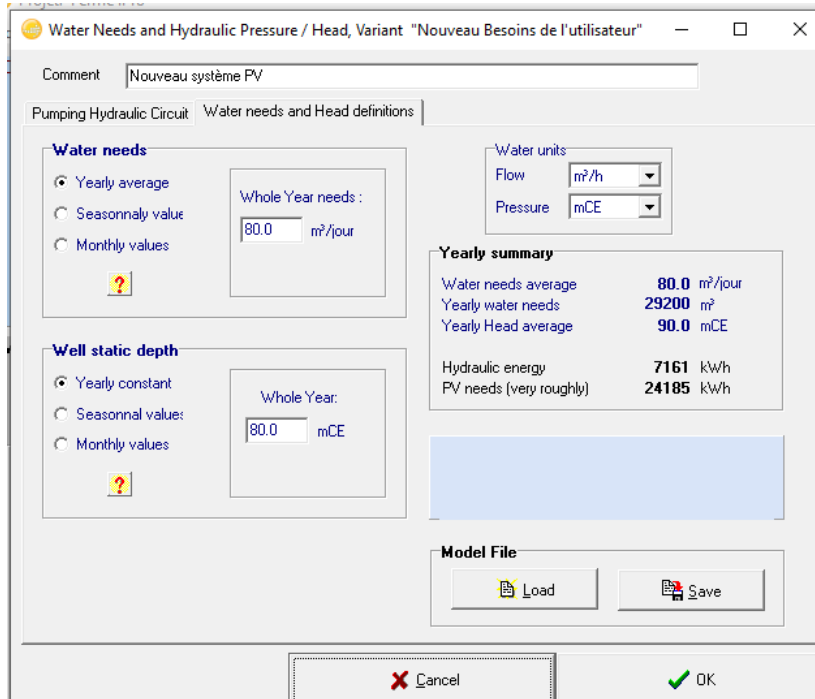
2. Dans la partie orientation on prend comme angle d'inclinaison 25°



3. On saisit les paramètres nécessaires



4. On donne le débit journalier ou bien le besoin journalier $80 \text{ m}^3/\text{j}$
Le type de la pompe et du champ photovoltaïque.



5. On choisit les composantes du système les plus convenables

Pumping system definition, Variante "Nouvelle variante de simulation"

Pre-sizing suggestions

Average daily needs :	Requested autonomy	Suggested tank volume
Head min. 90.0 mCE	2.0 day(s)	160 m³
Head max 91.4 mCE	Accepted missing 5.0 %	Suggested Pump power 7.7 kW
Volume 80.0 m³/jour		Suggested PV power 9.7 kWp (nom.)
Hydraulic power 3953 W (very approximative)		

Pump definition SubArray Design

Pump(s) model and layout

Lowara

7.0 kW 50-132 m Well, AC, Centrifuge multi-étages 16GS75

1 Pumps in serie

1 Pumps in parallel

Pump characteristics

Pump technology Centrifuge multi-étages

Motor Moteur AC asynchrone, mono

Maximal power 7000 W Voltage 250 V

Max Current 27.5 A

Head Min / Nom / Max	50	88	132	mCE
Corresp FlowRate	22.2	16.2	7.8	m³/h
Corresp Power	6302	6864	6525	W
Efficiency	48.0	56.6	43.0	%

Units for this project

Flow rate m³/h

Head mCE

Power kW

Energy kWh

Hydro Energy calculation tool

You can type here any values, not necessarily related to your project

Flow rate	14.7	m³/h
Head	92.3	mCE
Power	3.688	kW

System overview Cancel OK

Et

Pumping system definition, Variante "Nouvelle variante de simulation"

Pre-sizing suggestions

Average daily needs :	Requested autonomy	Suggested tank volume
Head min. 90.0 mCE	2.0 day(s)	160 m³
Head max 91.4 mCE	Accepted missing 5.0 %	Suggested Pump power 7.7 kW
Volume 80.0 m³/jour		Suggested PV power 9.7 kWp (nom.)
Hydraulic power 3953 W (very approximative)		

Pump definition SubArray Design

System information

Chosen pump 16GS75

Technology Centrifuge multi-étages

Max. power 7000 W

Head Range

Flow Rate

Pre-sizing help

No Sizing

Enter planned power 7.5 kWp

or available area 54 m²

Select the PV module

Disponibles

AE Solar

270 Wp 30V Si-poly AE CQ P6/72 270 Since 2010 Manufacturer 2011

Approx. needed modules 28

Sizing voltages: Vmpp (60°C) 30.9 V

Voc (-10°C) 48.3 V

Select the control mode and the controller

Universal controller

Control mode Onduleur MPPT - AC

All Manufacturers

N/A Onduleur MPPT - AC Universal MPPT - AC Inverter Generic device Ac

The operating parameters of the generic default controller will automatically be adjusted according to the properties of the system.

PV Array design

Number of modules and strings

Mod. in serie 9

entre 4 et 12

entre 2 et 4

Operating conditions :

Vmpp (60°C) 278 V

Vmpp (20°C) 326 V

Voc (-10°C) 434 V

Plane irradiance 1000 W/m²

Imp 30.4 A

Isc 32.4 A

Isc (at STC) 32.4 A

Max. operating power 8.8 kW

à 1000 W/m² et 50°C

Array's nom. power (STC) 9.7 kWp

Overload loss N/A

Pnom ratio N/A

Nb modules 36

Area 70 m²

System overview Cancel OK

6. On lance la simulation

Projet: Ferme .PRJ

Projet Site Variante

Désignation du projet

Nom fichier: **Ferme .PRJ** Nom du projet: **Pompage**

Fichier site: **Settat_MN71.SIT** Meteorom 7.1 (1991-2000), Sal=100% Maroc

Fichier Météo: **Settat_MN71_SYN.MET** Meteorom 7.1 (1991-2000), Sal=100% Synthétique 0 km

Simulation effectuée (version 6.70, date 11/03/21)

Base données météo

Paramètres du projet

Variante du Système (version de calcul)

N° de Variante: **VC1** : Nouvelle variante de simulation

Paramètres d'entrée

Obligatoire: Orientation, Besoins d'eau, Système, Pertes détaillées

Optionnel: Horizon, Ombrages proches, Eval. économique

Simulation

Lancer la simulation

Simulation avancée

Rapport

Résultats détaillés

Résultats principaux

System kind: **Pumping system**

Eau pompée	29250	m³/year
Besoins d'eau	29200	m³/year
Eau manquante	-0.2	%
Energie à la pompe	13006	kWh
Energie spécifique	0.44	kWh/m³
Efficacité système	65.1	%

Site et Météo utilisés pour cette variante:

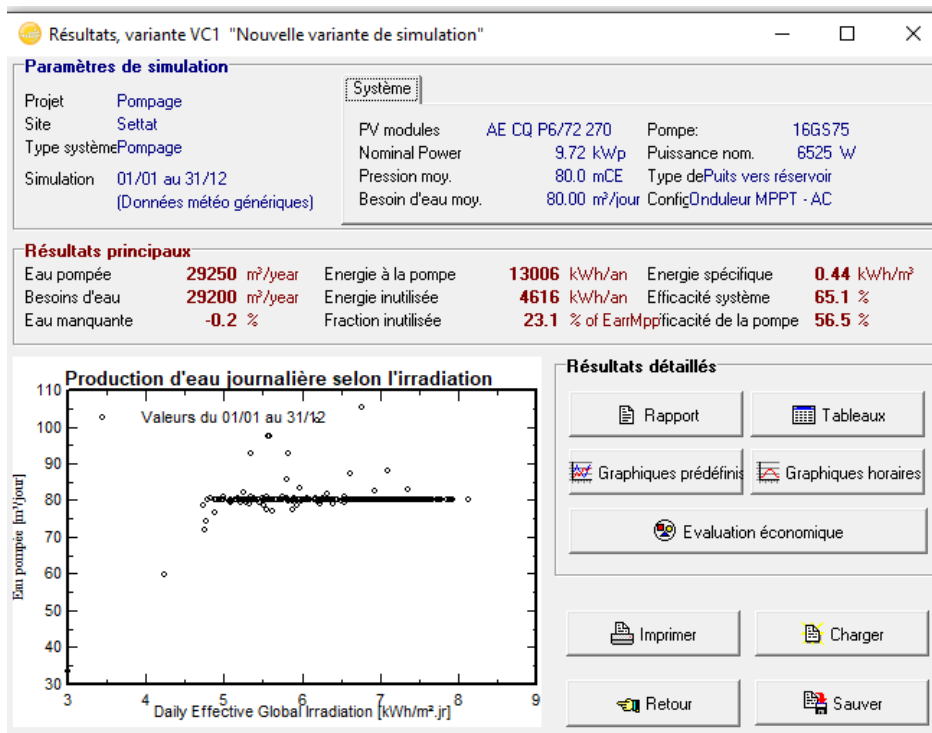
Site: **Settat_MN71.SIT**

Fichier météo: **Settat_MN71_SYN.MET**

Ensemble du système

Sortir

7. Les résultats de simulation :



Conclusion :

Ce projet de fin d'année présente une étude qui est pour le but de concevoir théoriquement et simuler numériquement une installation photovoltaïque pour alimenter une ferme en énergie électrique

Cette étude se compose de 3 chapitres :

- 1- Généralités sur l'Energie solaire et système
- 2- Méthodologie de dimensionnement
- 3- Etude de cas

De plus, le projet qu'on a mené, nous a permis de s'adapter avec le logiciel pvsyst aussi nous nous trouvons familiarisées avec des différentes règles de calcul pour dimensionner et choisir les différents composants d'une installation photovoltaïque et de formuler un certain nombre d'hypothèses et de vérifications pour rendre les résultats convenablement exploitables pour son travail.

Finalement cette étude, nous a permis de concrétiser l'apprentissage théorique du cycle de formation de l'ingénieur et surtout d'apprendre les différentes techniques de calcul, les concepts et les règlements régissant le domaine étudié.