



Conception et Dimensionnement de système de pompage photovoltaïque

Formateurs :

M. Isdeen YAYA NADJO

Mme Eunice ZANNOU

M. Alfred ABISSI



Objectifs de Formation :

A l'issue de cette formation, les participants seront mieux outillés pour :

- ❖ appréhender les notions de base en pompage;
- ❖ concevoir un système de pompage PV;
- ❖ dimensionner système de pompage PV;
- ❖ Installer et assurer la maintenance d'un système de pompage PV



Contenu de la formation

1. **Partie I** : Notions essentiels de base en pompage
2. **Partie II** : Présentation des systèmes de pompage PV
3. **Partie III** : Études des différents composants du système
4. **Partie IV** : Dimensionnement du système de pompage PV
5. **Partie V** : Installation, exploitation et maintenance
6. Étude de cas



Module 1 : Notions essentiels de base en pompage

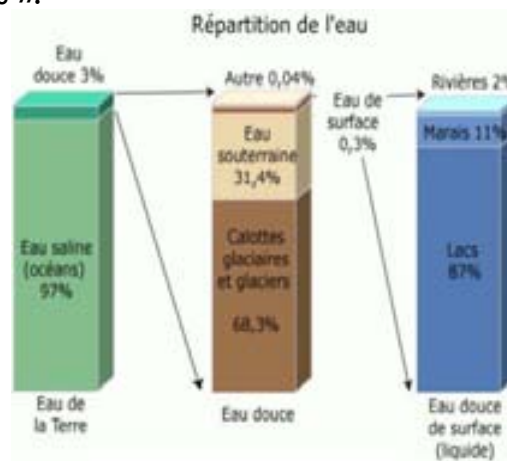


I. Introduction



Dans nos pays, l'eau est banalisée dans les centres urbains, il suffit d'ouvrir un robinet pour en obtenir à volonté, dans les villages et agglomérations reculées, elle est un bien rare. C'est pour cela d'ailleurs, On l'appelle aujourd'hui « l'or bleu ».

- ❖ L'évolution de la vie a été possible grâce à la présence de l'eau.
- ❖ Les eaux salées des mers et des océans représentent près de 97% du volume totale d'eau de notre planète,
- ❖ 3% reste bloquée sous forme de neige, de glacier ou d'eaux souterraines profondes,
- ❖ La quantité d'eau douce sous forme liquide représente environ 0,6% du volume total d'eau, dont seulement 0,04% est facilement exploitable en tant qu'eaux de surface ou nappes phréatiques peu profondes.



5




I. Introduction




- ❖ Récemment, la demande en eau a augmenté en raison de l'augmentation de la population et la disponibilité de l'eau est devenue plus cruciale que jamais.
- ❖ Une source d'énergie pour pomper l'eau est également un gros problème dans de nombreux pays en développement.
- ❖ D'autre part, la dépendance à l'égard d'un carburant importé n'est pas une option fiable en raison de problèmes politiques, de la fluctuation des taux de change et des économies de nombreux pays en développement, qui sont la source d'approvisionnement.





6




I. Introduction




- ❖ Afin de permettre l'accès à l'eau à tous surtout en zone reculée, il convient de réaliser des systèmes de pompages fiable et viable. D'où l'intérêt ces dernières années accordé au système de pompage solaire pour les zones non desservie par le réseau électrique. **L'utilisation des énergies renouvelables est attrayante pour les applications de pompage d'eau dans les zones rurales de nombreux pays en développement.**
- ❖ Toutefois, le choix du système de pompage doit être fait en prenant en compte non seulement les contraintes techniques (type de pompe, énergie, hauteur de refoulement, débit, turbidité de l'eau), mais aussi les contraintes liées au contexte socio-économique (système de pompage accepté, disponibilité des pièces détachées, facilité de maintenance des pompes).
- ❖ Dans cette formation, nous vous donnerons les éléments pratiques permettant de dimensionner et concevoir les stations de pompage.





7

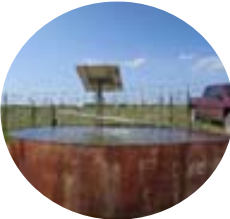


I. Introduction

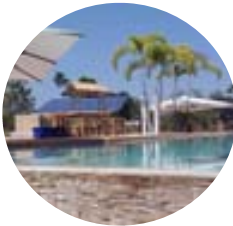





Ménage/Maison




Étang piscicole




Piscine



Irrigation d'eau



Ferme



Adduction d'eau

8



II. Les sources d'eaux



1.1. Le captage des eaux souterraines

Les types de captage d'eau souterraine sont :

- **Le puit** : sa réalisation se fait manuellement et peut stocker un volume d'eau donnée. Ils sont relativement faciles à construire. Ils sont vulnérables à la contamination causée par les activités agricoles, les animaux, les mauvaises conditions d'hygiène. Les puits ne sont pas utilisés pour les AEV car ils ont un faible débit.



II. Les sources d'eaux



2.1. Le captage des eaux souterraines

- **Le forage** : représente une part importante de source d'alimentation des AEV solaires. La nature du forage influence les caractéristiques et le choix des pompes.
- S'ils sont correctement conçus et entretenus, les forages sont moins vulnérables à la sécheresse ou aux baisses de niveau d'eau.
- Souvent, l'eau de forage ne nécessite aucun traitement avant consommation.
- S'ils sont correctement réalisés, ils peuvent offrir des débits importants selon la nature du sous-sol.





II. Les sources d'eaux


2.2. Les équipement de forage



- ❖ La technique motorisée est le moyen le plus rapide de construire un forage.
- ❖ Un forage peut être réalisé en un ou deux jours, en fonction de la profondeur, du diamètre et de la nature du sol.




11



II. Les sources d'eaux

2.3. Implantation du forage



- ✓ Choisir un site de forage est une tâche essentielle afin d'assurer un approvisionnement en eau sûr et fiable à partir des eaux souterraines.
- ✓ L'hydrogéologue cartographie et évalue les ressources en eaux souterraines dans une zone donnée.
- ✓ Ce travail est réalisé grâce à l'observation de cartes, d'images satellites, de photos aériennes, d'observations sur le terrain, d'études et d'investigations de terrain à l'aide de différentes méthodes de mesure notamment les essais de pompage (Les niveaux de la nappe phréatique et les débits de pompage mesurés).

12



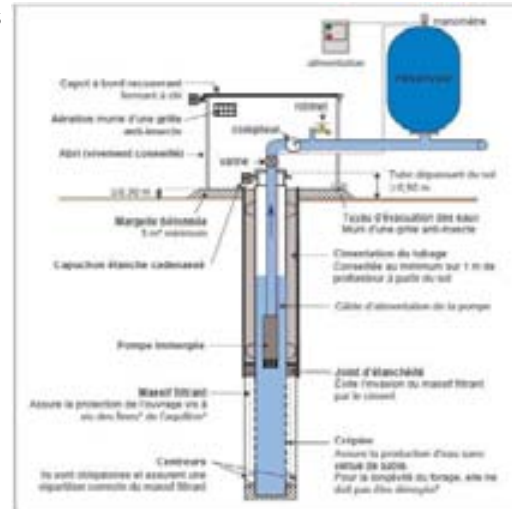
II. Les sources d'eaux



2.4. Coupe de forage

. Après les travaux de forage, les informations suivantes doivent nécessairement être disponibles :

- ❖ La profondeur du forage
- ❖ Une description de la lithologie du sol ;
- ❖ Le diamètre du forage et du cuvelage
- ❖ La profondeur de l'aquifère capté
- ❖ Le niveau d'eau statique
- ❖ Le rabattement (essai de pompage)
- ❖ La qualité de l'eau
- ❖ Le plan d'équipement du forage



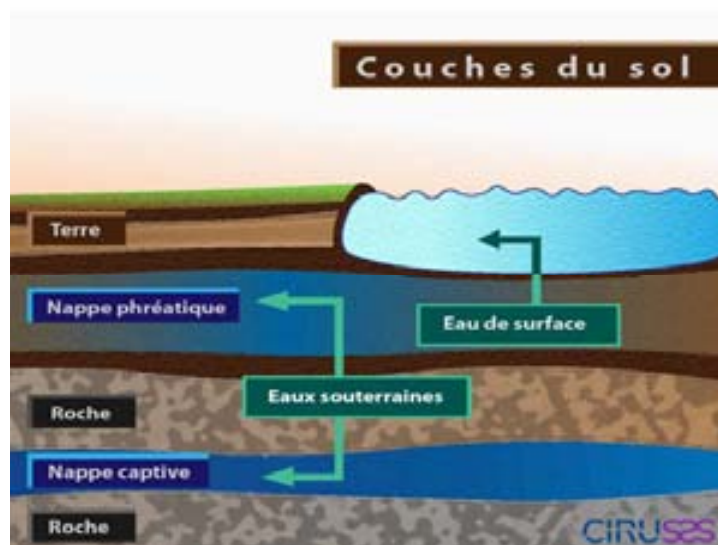
13



II. Les sources d'eaux



2.5. Les eaux de surface



- ❖ Rivières
- ❖ Fleuves
- ❖ Lacs
- ❖ Marigots

14



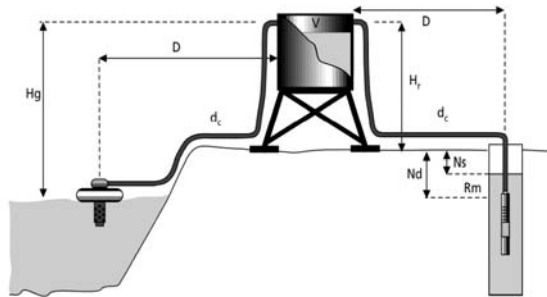
III. Les paramètres de dimensionnement



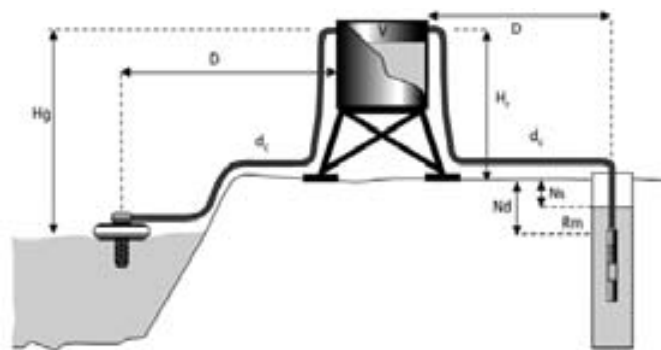
Deux paramètres interviennent principalement dans le dimensionnement des systèmes de pompage, Il s'agit de:

Le débit : est la quantité d'eau que la pompe peut fournir durant un intervalle de temps donné. En pompage, il est habituellement donné en litres par heure (l/h) mais est souvent exprimé en (m^3/jr) en pompage solaire.

La hauteur manométrique totale (HMT) : représente la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement d'une pompe.



15



Cette hauteur peut être calculée comme suit : $HMT = H_g + P_c$

H_g : hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation (**$H_r + N_d$**). Pour une pompe de surface sur un plan d'eau, H_g sera choisi en fonction de la hauteur de la pompe à son niveau le plus bas.

16

❖ **Le niveau dynamique (Nd)** 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 niveau statique (Ns)** : est la distance du sol à la surface de l'eau avant pompage.



❖ **Le rabattement maximal (Rm)** acceptable avant de stopper la pompe : est la différence entre le niveau dynamique et le niveau statique

17

Cette hauteur peut être calculée comme suit : $HMT = H_g + P_c$

Les pertes de charge (Pc en mCE) sont les chutes de pression produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites. Ces pertes sont fonctions de la longueur des conduites (D), de leur diamètre (dc) et du débit de la pompe (Q).


18

Perte de charge

- Les frottements entre le liquide et les surfaces qu'il touche mènent à une perte d'énergie et de pression.
- La perte de charge survient dans l'ensemble de l'installation - dans la tuyauterie, les coudes et les vannes, etc.

$$\Delta p = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} L$$





La perte de charge dépend

- du débit dans l'installation
- de la viscosité du liquide
- de la longueur de la tuyauterie
- de la surface de la tuyauterie

- Δp = perte de charge linéaire en Pa
- λ = coefficient de perte de charge (nombre sans dimension)
- ρ = masse volumique de l'eau en kg/m³
- V = vitesse d'écoulement en m/s
- D = diamètre hydraulique du tube en m
- L = longueur du tube en m

❖ Le diamètre des conduites est calculé afin que ces pertes de charge correspondent au plus à 10 % de la hauteur manométrique (HMT).


19


III. Le stockage de l'eau

L'électricité produite par les panneaux solaires alimente des pompes qui stockent de l'eau dans un bassin en hauteur.

Réservoir en Béton



Réservoir en plastique



20



Module 2 : Présentation des systèmes de pompage PV

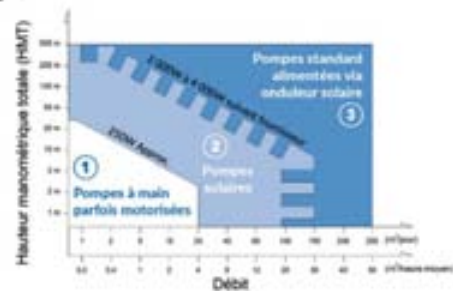





I. Les types de pompage de l'eau



Il existe principalement 3 types de pompes solaires dont les courbes standards sont présentées ci-dessous :

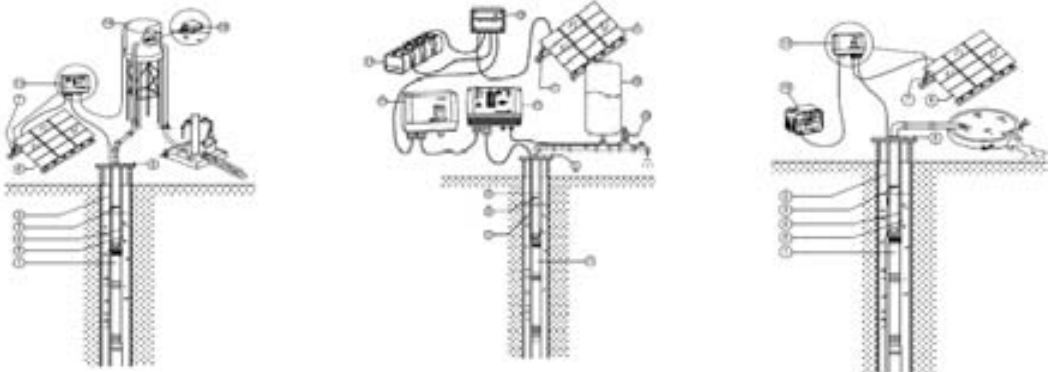
- ① **Les pompes manuelles motorisées.** Il s'agit du même mécanisme qu'utilisé en pompage manuel (piston et tringlerie type « India Mark »), auquel on a ajouté un moteur pour remplacer la motricité humaine.
- ② **Les pompes « spécial solaire »** alimentées en direct via un contrôleur de pompe adapté, à approvisionner chez le fabricant de la pompe pour s'assurer de la compatibilité.
- ③ **Les pompes classiques** (alimentées habituellement par groupe électrogène) que l'on alimentera via un onduleur à fréquence variable, couramment appelé « onduleur solaire de pompage »




CONFIGURATION	Les pompes motorisées	Les pompes "spécial solaire"	Les pompes classiques
	①	②	③
Puissance	< 250 W < 0,35 HP	250 W à 4 000 W (jusqu'à 2 000 W uniquement chez certains fournisseurs) 0,35 HP à 5 HP	> 4 000 W > 5 HP
Solution	Pompage manuel préconisé. Pour les applications d'irrigation (longues durées de pompage), il existe des pompes manuelles « motorisées » qui offrent l'avantage de garder un mode manuel en cas de problème.	Pompe dite « solaire », à commander avec contrôleur de pompe adapté. Possible de trouver des pompes en courant alternatif (AC) et/ou continu (DC).	Pompe standard alimentée avec onduleur solaire de pompage. Les pompes sont systématiquement alimentées en courant alternatif (AC) triphasé et à fréquence variable dans l'immense majorité des cas.
Exemple de matériel		 Petit contrôleur de pompe.	 Onduleur solaire de pompage.
Exemple de marque et gamme chez les principaux fournisseurs	VOLENTA : - Une seule pompe dans la gamme mais prix et performances variables suivant profondeur.	GRUNDFOS : - Gamme SQFlex LORENTZ : - Gamme PS2	GRUNDFOS : - Gamme SP pour la pompe - Gamme RSI pour l'onduleur LORENTZ : - Gamme PSK2 (pompe & onduleur)

I. Les types de pompage de l'eau


- Pompage au fil du soleil (sans batterie) ou avec stockage d'énergie dans un réservoir d'eau.
- Pompage avec batterie ou avec un groupe d'appoint





2.Présentation des systèmes de pompage

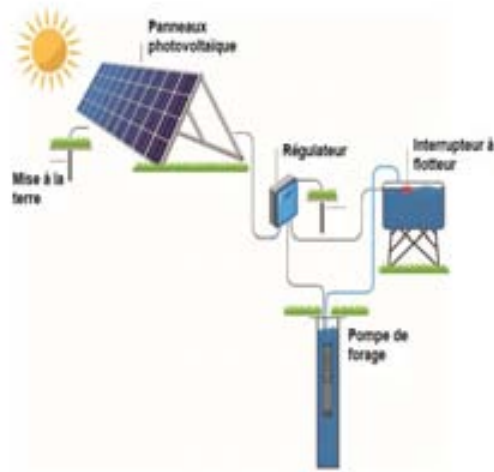
2.1. Pompage « au fil du soleil »




Il existe deux techniques de système de pompage solaire

Le pompage « au fil du soleil » permet d'avoir un système photovoltaïque plus simple, plus fiable et moins coûteux qu'un système utilisant des batteries pour stocker de l'énergie d'abord.

En effet, dans cette première technique, c'est l'eau elle-même qui est pompée et stockée lorsqu'il y a suffisamment d'ensoleillement. On parle alors d'un stockage hydraulique.




25



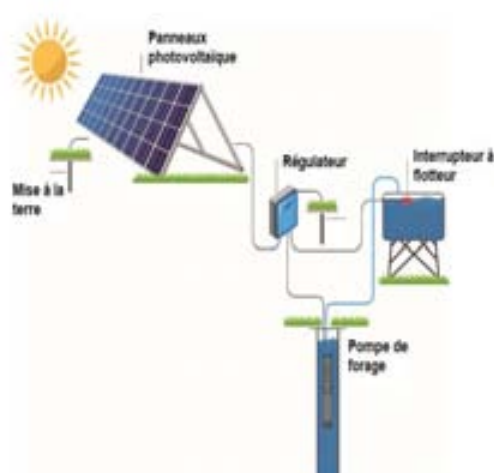
2.Présentation des systèmes de pompage

2.1. Pompage « au fil du soleil »




- Solution "au fil du soleil" à privilégier systématiquement:
- (batteries, maillon faible du système PV car trop chères et durée de vie limitée et le groupe électrogène trop bruyant, fonctionnement dépendant de la disponibilité du carburant).


- Pompage peut commencer le plus tôt possible dans la journée ;
- Pompage avec rendement élevé tout au long de la journée.



26

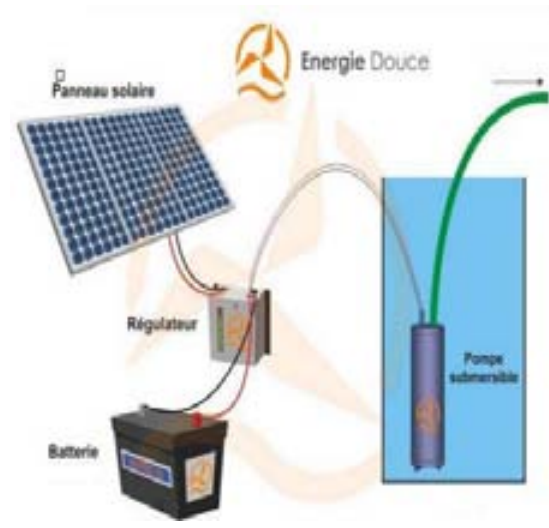


2. Présentation des systèmes de pompage






2.2. Pompage avec stockage batterie

- ❖ La méthode de pompage d'eau en utilisant l'énergie stockée sur des batteries peut avoir l'avantage de garantir une stabilité d'alimentation des équipements.
- ❖ L'énergie emmagasinée peut être utilisée aussi pour d'autres besoins ultérieurs.
- ❖ L'inconvénient majeur, voir handicaps, de cette technique est qu'elle comporte plus de composants qui influent négativement sur le coût global du système.

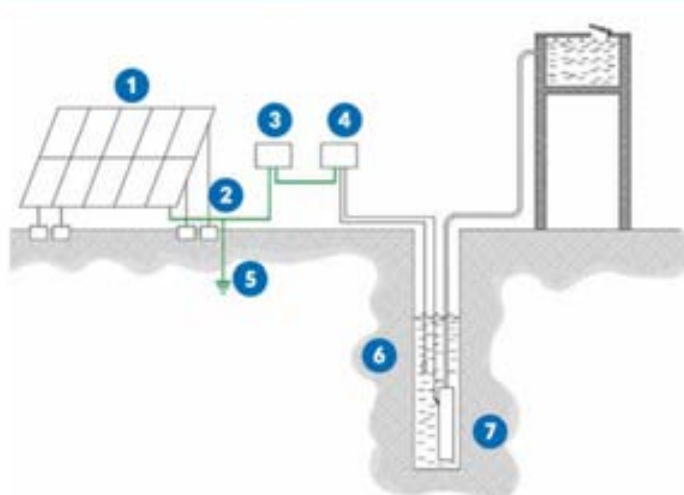


27

Module 3 : Études des différents composants du système

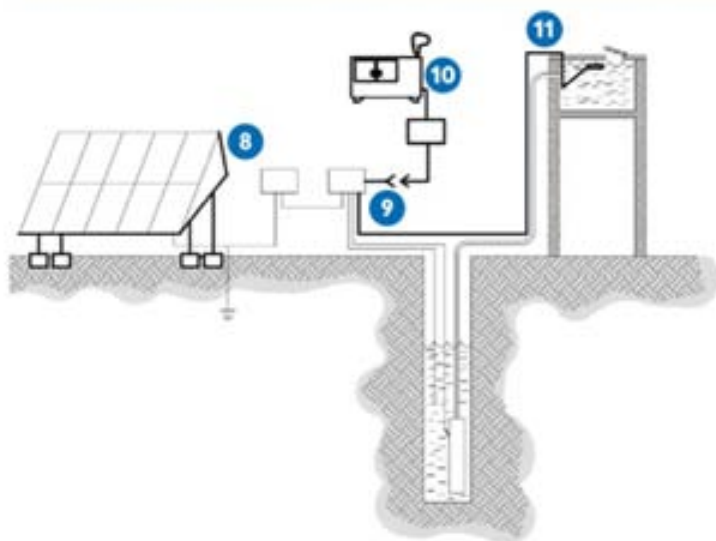
3. PRINCIPAUX COMPOSANTS



- 1 Parc de panneaux solaires.
- 2 Support de panneaux avec fondations et système d'accrochage antivib.
- 3 Coffret de protection avec fusible, coupe-circuit général et parafoudre.
- 4 Contrôleur de pompe ou Onduleur solaire de pompage.
- 5 Piquet de terre connecté au circuit de terre général regroupant les panneaux, leur support, coffret et pompe.
- 6 Sonde de sécurité niveau bas eau (arrête immédiatement la pompe si le puit est vide).
- 7 Pompe submersible.

29

3. PRINCIPAUX COMPOSANTS



- 8 Support de panneaux avec 2 inclinaisons possibles (été / hiver).
- 9 Entrée disponible pour groupe électrogène temporaire en cas de problème (le groupe n'est pas installé de manière permanente).
- 10 Groupe électrogène permanent pour application secours ou complémentaire (en saison de pluies et/ou matin + soir).
- 11 Sonde de niveau d'eau dans le réservoir pour marche/arrêt pompe automatique, ou sonde de niveau d'eau dans le réservoir pour marche/arrêt pompe automatique + report visible du niveau depuis le sol.

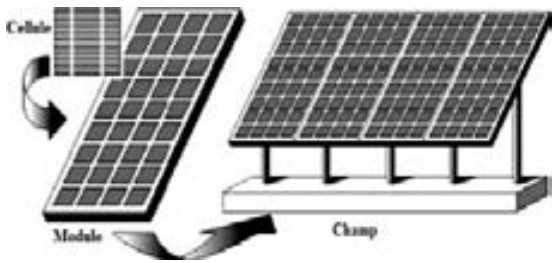
30

3. PRINCIPAUX COMPOSANTS

3.1. Le champ photovoltaïque

3.1.1. Rôle du champ photovoltaïque

- ❖ L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion directe du rayonnement solaire, en énergie électrique, par le biais des cellules Photovoltaïque PV.
- ❖ L'association de plusieurs cellules PV donne lieu à un panneau photovoltaïque (GPV).
- ❖ L'association de plusieurs panneaux solaire PV forme un champ solaire qui approvisionne la pompe du système de pompage photovoltaïque en énergie.



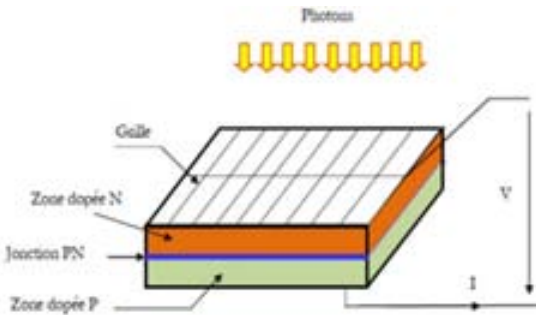
31

3. PRINCIPAUX COMPOSANTS

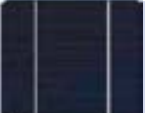

3.1. Le champ photovoltaïque

3.1.1. Rôle du champ photovoltaïque

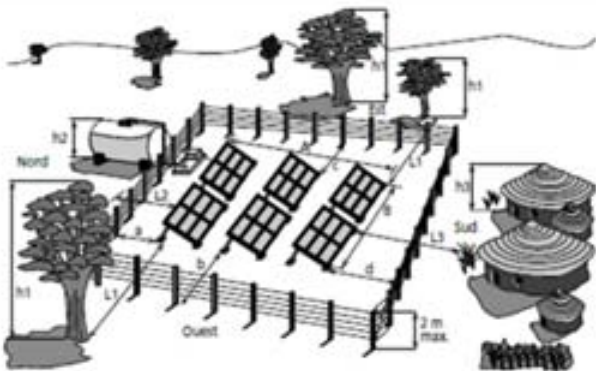
- ❖ L'absorption de la lumière par les cellules PV crée des charges positives et négatives qui sont séparées et collectées par une grille en face avant et un contact en face arrière: **c'est l'effet photovoltaïque**
- ❖ Cette transformation directe de la lumière en électricité s'effectue sans pièces mobiles, sans bruit et sans pollution.



32

3. PRINCIPAUX COMPOSANTS		
3.1. Le champ photovoltaïque		
3.1.1. Rôle du champ photovoltaïque		
TYPES DE PANNEAUX	MONOCRISTALLIN (MONO-C)	POLYCRISTALLIN (POLY-C)
Image pour identification		
Aspect de la cellule	Cellules d'un bleu généralement foncé et uniforme.	Cellules d'un bleu généralement clair laissant apparaître des cristaux.
Rendement	13 à 17 %	11 à 15 %
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Meilleur rendement global et par faible ensoleillement que le Polycristallin Meilleure durée de vie que le Polycristallin 	<ul style="list-style-type: none"> Prix inférieur au monocristallin Faible empreinte écologique Peu sensible aux variations de températures
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Prix plus élevé que le Polycristallin Baisse du rendement à température élevée 	<ul style="list-style-type: none"> Rendement plus faible que le Monocristallin Durée de vie un peu plus faible que le Monocristallin

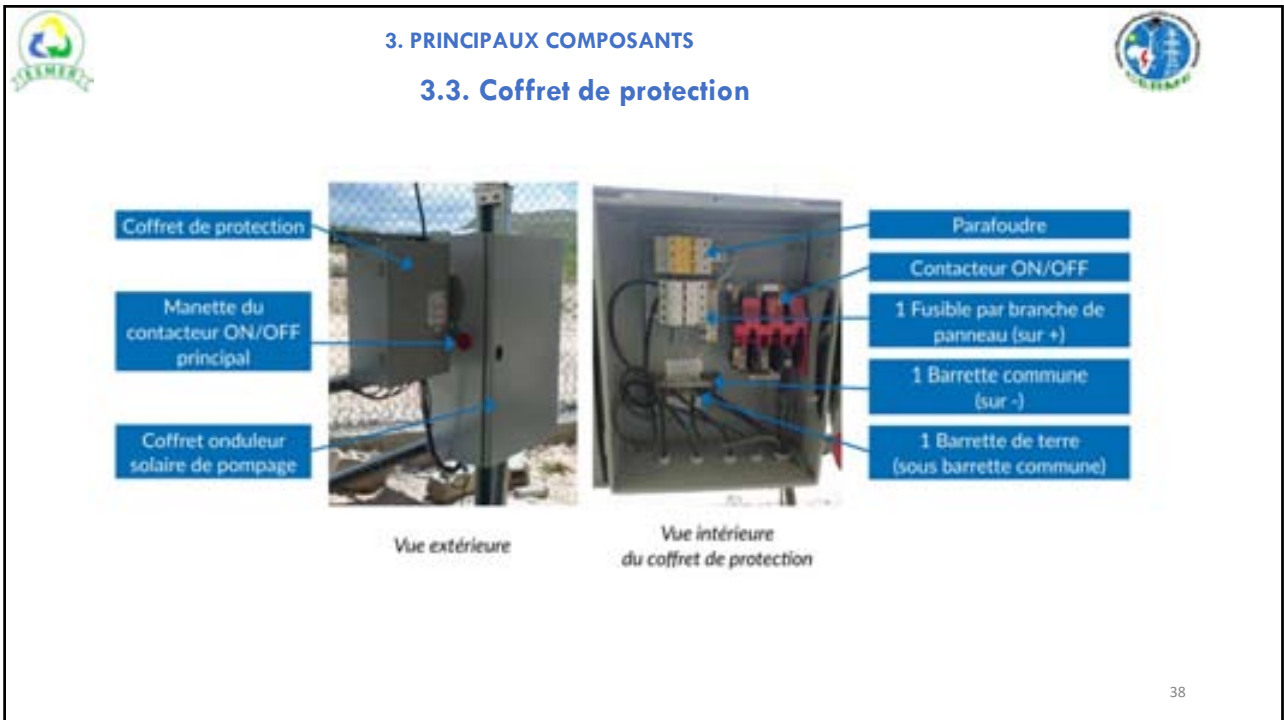
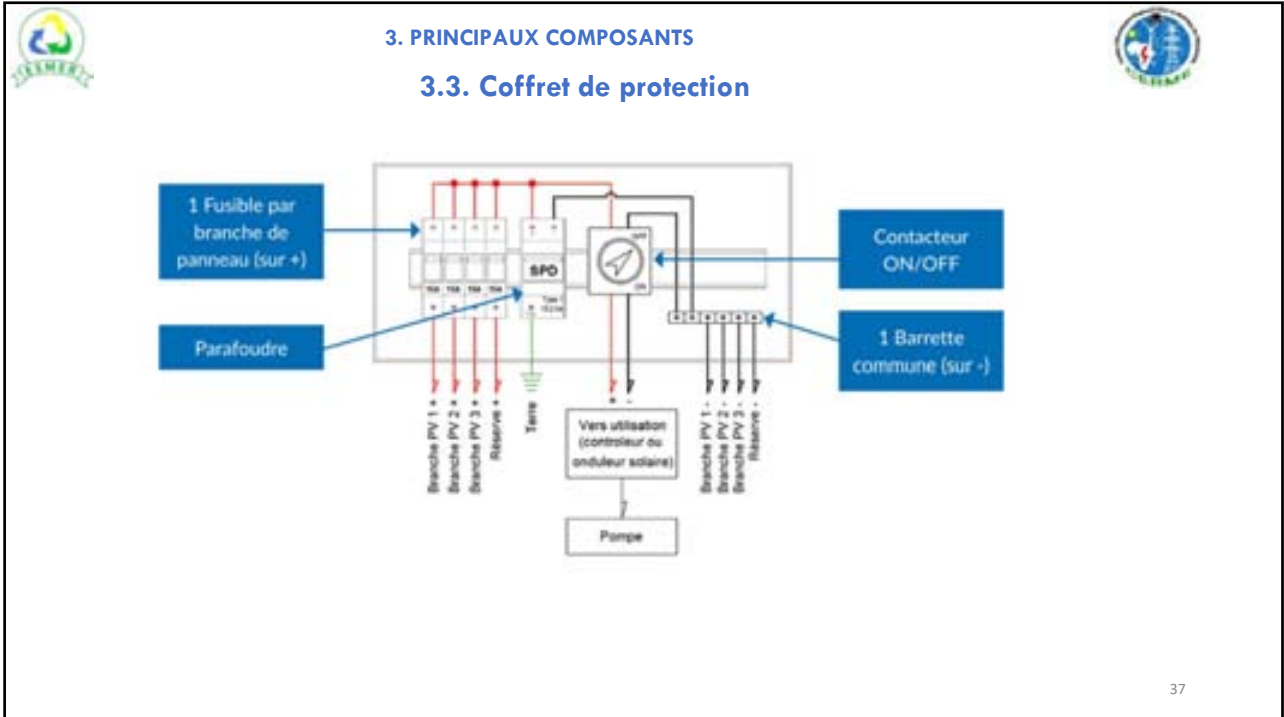
33


3. PRINCIPAUX COMPOSANTS		
3.2. Les supports panneaux (inclinaison+ orientation)		
	Distance des obstacles à l'Ouest ou à l'Est : $L_1 \geq 2h_1$	
	Distances des obstacles au nord et au sud	
Latitude	Nord	Sud
0 à 10°	$L_1 \geq 0,4 h_1$ ou ≥ 2 m	$L_1 \geq 0,7 h_1$
10 à 20°	$L_1 \geq 0,25 h_1$ ou ≥ 2 m	$L_1 \geq 1,0 h_1$
20 à 30°	$L_1 \geq 2$ m	$L_1 \geq 1,4 h_1$
30 à 40°	$L_1 \geq 2$ m	$L_1 \geq 2,0 h_1$
40 à 45°	$L_1 \geq 2$ m	$L_1 \geq 3,3 h_1$
Distances des clôtures (hauteur max. 2m)		
a = 1 m	b = 2,5 m	c = 2,5 m
Latitude	d	
0 à 10°	0,9 m	
10 à 20°	1,3 m	
20 à 30°	1,9 m	
30 à 40°	2,8 m	

34

3. PRINCIPAUX COMPOSANTS	
3.2. Les supports panneaux (inclinaison+ orientation)	
Fixation sur support	<p>Outre le poids des panneaux, le support des panneaux doit aussi pouvoir résister à l'arrachement (soulèvement) des panneaux dû au vent qui s'engouffrerait sous les panneaux.</p> <p>L'ancrage doit être solide :</p> <ul style="list-style-type: none"> • soit fait d'une solide fixation sur la charpente avec reconstitution de l'étanchéité pour les toitures, • soit l'ancrage est réalisé avec des plots béton de 30x30 en surface, et d'au minima 50 cm de profondeur.
Protection contre la corrosion	<p>Le support des panneaux doit résister à la corrosion. Pour cela 3 méthodes peuvent être utilisées :</p> <ul style="list-style-type: none"> • le support peut être fait en aluminium (couteux mais non corrodable par le matériaux). • le support peut être fait en acier galvanisé. Dans ce cas on veillera à ce que les soudures soit peintes après finition. • le support peut être fait en acier. Dans ce cas on veillera à ce que le support soit recouvert de deux couches de peinture, l'une faite avec une peinture antirouille, l'autre faite avec une peinture épaisse de finition.
Fixation des panneaux sur le support	<p>La fixation des panneaux sur le support doit permettre d'éviter le vol au maximum, c'est-à-dire le rendre le plus difficile possible. Pour cela 3 moyens sont couramment utilisés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Placer les panneaux en hauteur (sur un toit, sur le château d'eau si la surface le permet, ...) • Entourer le parc de panneaux d'une clôture grillagée (avec fils barbelés en haut du grillage si risque de vol important) • Souder des étriers sur le support pour bloquer les panneaux. • Utiliser des écrous antivols s'il est possible d'en approvisionner (écrous sécables ou écrous avec tête spéciale nécessitant une clé particulière pour dévisser), ou utiliser des vis à tête creuse et boucher la tête de vis au mastic lorsque les écrous sont inaccessibles. <p>En cas de soudure très proche des panneaux, les protéger avant soudure afin qu'ils ne soient pas endommagés.</p>
Mise à la terre	<ul style="list-style-type: none"> • 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 via un câble de 16 mm².


3. PRINCIPAUX COMPOSANTS	
3.3. Coffret de protection	
<p>Le coffret de protection est indispensable sur tous les sites de pompage dont la tension d'utilisation (au niveau de la pompe) est supérieure à 120 V. L'installation de ce coffret concerne donc presque tous les pompages, car cette tension est atteinte même sur les petites installations (4 panneaux de 250 Wc).</p> <p>Le coffret de protection sert à :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Protéger les équipements des surcharges (fusibles). • Mettre l'installation hors-tension pour pouvoir intervenir via un bouton principal ON/OFF (maintenance). • Protéger l'installation des impacts de foudre et des surtensions (parafoudre). • Créer un point central de mise à la terre. • Sur certains pompages de forte puissance, il sert aussi à connecter les différentes branches de panneaux solaires ensemble et de cumuler leur puissance sur une seule sortie qui alimentera le contrôleur ou l'onduleur. 	
36	





3. PRINCIPAUX COMPOSANTS

3.4. Contrôleur de pompe ou onduleur de pompage



CONTRÔLEUR DE POMPE OU ONDULEUR SOLAIRE DE POMPAGE ?

Il s'agit de deux équipements ayant la même fonction : piloter la pompe. La différence de noms entre contrôleur et onduleur vient essentiellement du type de pompe à piloter :

- **Les petites pompes** (<2 kW ou 3HP) fonctionnent majoritairement en courant continu (DC) et se pilote par variation de la tension.
- **Les pompes de plus fortes puissances** (>4 kW ou 5,5HP) sont pilotées par variation de fréquence alternative (AC). Pour cela le courant DC des panneaux doit être ondulé, d'où le nom « onduleur de pompage ».
- **Lorsque l'on cherche une puissance intermédiaire** (entre 2 000 W et 4 000 W), alors il est possible que les fournisseurs proposent des pompes DC ou des pompes AC, ou des pompes prenant en charge les deux types de tension, et ce en fonction de la marque qu'ils fournissent habituellement, de ce qu'ils ont en stock, ...

Il est important de ne pas préciser un type de tension spécifique afin que le fournisseur puisse proposer le type de pompe (DC, AC ou AC/DC) sur lequel il sera le plus compétitif.

Lorsqu'on ne connaît pas le type de pompe et sa tension d'alimentation, on utilise le terme générique « contrôleur de pompe » (ou « pump control unit » en anglais).

Hors cas particulier, comme par exemple lorsque vous travaillez à la rénovation d'un pompage existant et que vous devez approvisionner un contrôleur pour une pompe déjà existante, c'est au fournisseur de proposer le contrôleur (ou l'onduleur) adapté à la pompe

39



3. PRINCIPAUX COMPOSANTS

3.4. Contrôleur de pompe ou onduleur de pompage



LES CONTRÔLEURS DE POMPE

La vitesse de rotation de la pompe est pilotée par sa tension d'alimentation : plus la tension est élevée, plus la vitesse de rotation de la pompe sera élevée. Les contrôleurs de pompe sont de petites tailles et possèdent tous à minima un bouton ON/OFF, et un afficheur indiquant l'état de la pompe, et les défauts rencontrés s'ils provoquent l'arrêt de la pompe.



Marque Grundfos




Marque Lorentz




Marque générique

40

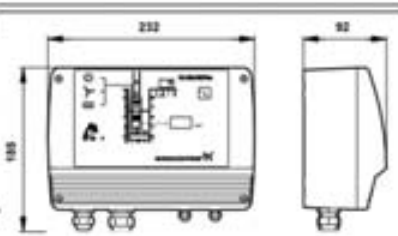
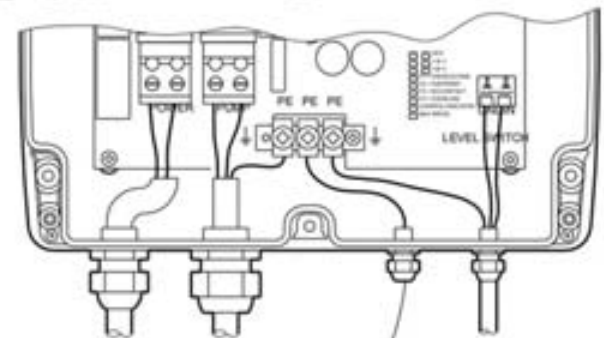



3. PRINCIPAUX COMPOSANTS

3.4. Contrôleur de pompe ou onduleur de pompage




Description	Valeur
Information générale:	
Nom produit:	CU 200
Code article:	Sur demande
Numéro EAN:	Sur demande
Technique:	
Certifications:	CE,EAC,RCM
Installation:	
Plage température ambiante:	-30 .. 50 °C
Humidité relative:	95 %
Donnée électrique:	
Consommation électrique:	5 W
Tension nominale AC:	1 x 90-240 V
Tension nominale DC:	30-300 V
Indice de protection (IEC 34-5):	IP55
Fusible de rechange:	10 A
Charge maximale:	100 mA
Autres:	
Poids net:	1,44 kg
Poids brut:	1,66 kg




41





3. PRINCIPAUX COMPOSANTS

3.4. Contrôleur de pompe ou onduleur de pompage



Module	Module de pompe / puissance nominale	Module de pompe apparente	Tension d'entrée CC min.	Vtg. minimum recommandée	Courant de sortie max.
	(W)		(V)	(V)	(A)
PSJ-150 Basic	0,3	EC2000 150-Basic	95	95	22
PSJ-150	0,3	EC2000 150-C	95	95	22
PSJ-200	0,3	EC2000 200-08	110	94	31
PSJ-400	0,5	EC2000 400-08	165	88	70
		EC2000 400-C1-F			
PSJ-1000	1,7	EC2000 1000-08	220	102	14
		EC2000 1000-C			
		EC2000 1000-C1-F			
PSJ-4000	4,0	EC2000 4000-08	385	208	74
		EC2000 4000-C			
		EC2000 4000-C1-F			

Solène en ---
 Bornes 1 - 13
 Série
 Paire-étape vider 0v
 Paire-étape des contacts
 Paire-étape de l'inducteur
 Bouton de stop à la mise en route
 Plage 11213

42

3. PRINCIPAUX COMPOSANTS

3.4. Contrôleur de pompe ou onduleur de pompage

Contrôleur	Tension	ARRÊT	MARCHE
PS2-150	12 V CC	11 V CC	12 V CC
	24 V CC	22 V CC	24 V CC
PS2-200	24 V CC	22 V CC	24 V CC
	48 V CC	44 V CC	48 V CC
PS2-600	48 V CC	44 V CC	48 V CC
PS2-1800	96 V CC	88 V CC	96 V CC

43

3. PRINCIPAUX COMPOSANTS

3.4. Contrôleur de pompe ou onduleur de pompage

LES ONDULEURS SOLAIRES DE POMPAGE

La vitesse de rotation de la pompe est pilotée par la fréquence de la tension AC (en Hertz). L'onduleur solaire va donc produire une fréquence variable en fonction de la tension qu'il reçoit des panneaux. Typiquement un onduleur solaire de pompage va démarrer la pompe à une fréquence mini de 25 Hz lorsqu'il y a peu de soleil, et augmentera la fréquence de sortie avec l'augmentation de la tension panneaux, pour atteindre la fréquence maxi de 50 Hz (ou 60 Hz suivant pompe) lorsqu'il y aura un maximum de soleil.

Il est donc strictement impossible d'utiliser un onduleur classique de bâtiment pour alimenter une pompe solaire, les onduleurs de bâtiment étant conçus pour délivrer une fréquence fixe de 50 Hertz (fréquence réseau et groupe électrogène). Si vous le faites tout de même, alors la pompe ne tournera qu'à la fréquence fixe de 50 Hz (sa puissance max), et lorsque la tension panneaux ne sera pas suffisante pour permettre à l'onduleur de produire du 50 Hz (matin, soir, jours nuageux, ...) alors il s'arrêtera. Vous perdrez donc tout le potentiel du pompage solaire dont l'intérêt principal est de fournir de l'eau même lorsqu'il y a peu de soleil.

Marque Grundfos


Marque Lorenzt

Marque SolarTech

Marque Suoor (china)


Marque générique

44

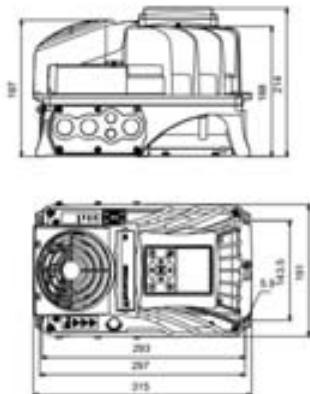



3. PRINCIPAUX COMPOSANTS

3.4. Contrôleur de pompe ou onduleur de pompage




Description	Valeur
Information générale:	
Nom produit:	PSI 3x208-240V IP66 4kW 18A
Code article:	Sur demande
Numéro EAN:	Sur demande
Techniques:	
Certifications et marquages:	CE
Installation:	
Plage température ambiante:	-10 ... 60 °C
Humidité relative:	100 %
Donnée électrique:	
Puissance nominale - P2:	4 kW
Fréquence d'alimentation:	50 60 Hz
Tension nominale:	3 x 208 - 240 V
Indice de protection (IEC 34-5):	IP66
Tension nominale de sortie AC:	220 V
Tension d'entrée DC:	400 V
Courant nominal de sortie AC:	18 A
Ud:	230 V
Autres:	
Poids net:	8,8 kg
Poids brut:	9,8 kg






45




3. PRINCIPAUX COMPOSANTS

3.4. Contrôleur de pompe ou onduleur de pompage



Modèle	Puissance solaire d'entrée	Moteur de pompe: puissance nominale	Moteur de pompe: tension nominale	Tension d'entrée CC max.	Tension MPPT min.	Courant de sortie	Fréquence de sortie
	[kW]	[kW]	[V]	[V]	[V]	[A]	[Hz]
PSA2-21	21	15,0	380/400/415	850	550	3 x 33	0 - 60
PSA2-25	25	18,3	380/400/415	850	550	3 x 40	0 - 60
PSA2-40	40	30	380/400/415	850	550	3 x 65	0 - 60
PSA2-60	60	45	380/400/415	850	550	3 x 95	0 - 60
PSA2-70	70	55	380/400/415	850	550	3 x 115	0 - 60
PSA2-100	100	75	380/400/415	850	550	3 x 160	0 - 60



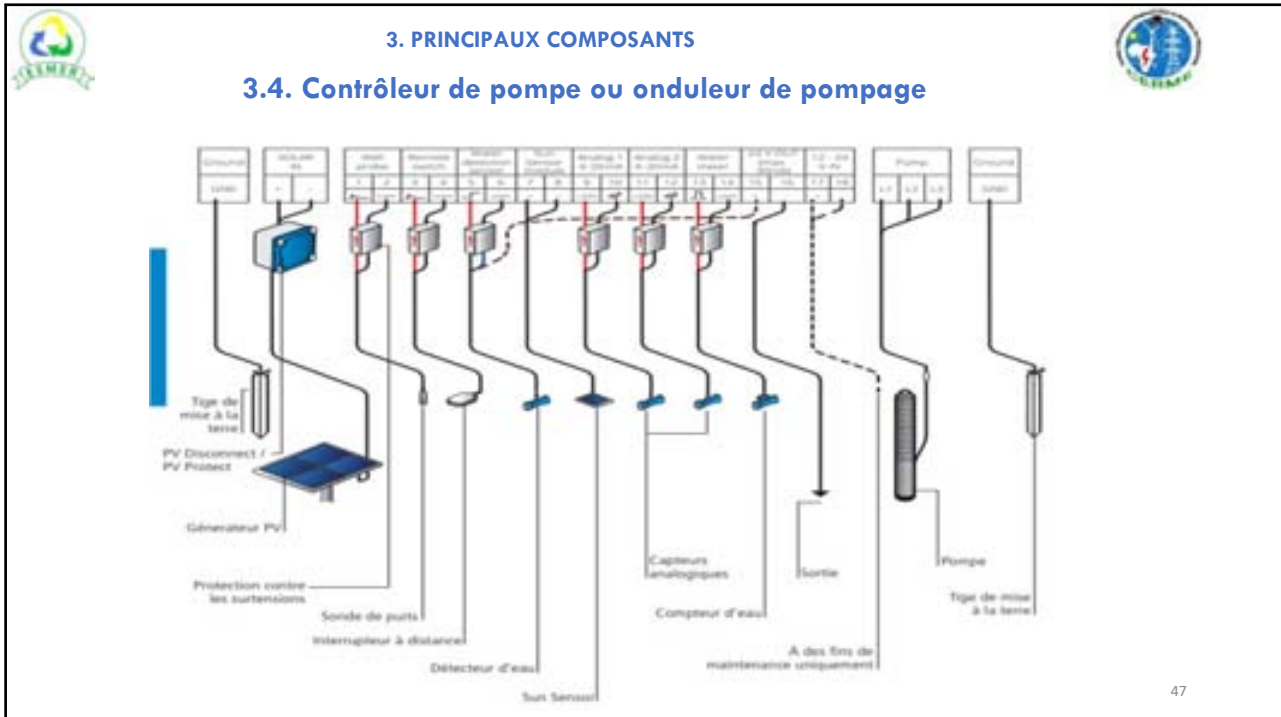
Entrée solaire (L1-L3)

Sortie 3 la ligne

Sortie 1-18

Pompe (1, 12, 18)


46



3. PRINCIPAUX COMPOSANTS

3.5. Prise de terre

Tous les pompages solaires doivent impérativement être reliés à la terre via un piquet de terre.
Les équipements à connecter au piquet de terre sont :



Symbole de la terre sur les équipements

ÉQUIPEMENT À METTRE À LA TERRE	SECTION ET TYPE DE CÂBLE MINI JUSQU'AU PIQUET
Les panneaux solaires, en général un petit perçage est déjà fait dans le cadre du panneau avec le symbole terre (ci-contre) est déjà présent.	Section identiques aux câbles de panneaux solaires
Les supports des panneaux solaire et tout châssis métallique présent	16 mm ² / Cuivre isolé ou nu
Le parafoudre présent dans le coffret de protection	16 mm ² / Isolé
Le châssis du contrôleur ou de l'onduleur s'il est dans un coffret métallique	16 mm ² / Isolé
Le contrôleur de pompe ou l'onduleur solaire de pompage	Section identique au câble d'alimentation
La pompe	Section identique au câble d'alimentation

48



3. PRINCIPAUX COMPOSANTS



3.6. Sonde d'eau

Tous les pompages doivent impérativement être protégés contre le manque d'eau. Le manque d'eau arrive lorsque le débit de pompage est supérieur à la capacité du puit, par exemple en saison sèche ou dans le cas où les pores du fourreau de forage sont obturés.

La sécurité « manque d'eau » est assurée dans l'immense majorité des cas par un capteur placé entre 10 et 30 cm au-dessus de la pompe. La plupart du temps cette sécurité est assurée par une sonde séparée (figure 8), que l'on fixe avec des cerflex (colliers) inox ou colson plastique sur le tuyau de refoulement, ou sur le câble en acier galvanisé de suspension de la pompe lorsque le tuyau de refoulement est souple. La sonde ne doit jamais être attachée au câble d'alimentation électrique car ce câble doit toujours rester détendu.

Certains fournisseurs (comme Grundfos - uniquement sur la gamme SQFlex) intègrent cette sonde directement sur le câble d'alimentation de la pompe (figure 9), mais ce cas reste assez rare. Dans tous les cas il faut intégrer cette sécurité dans votre demande de devis.



49



3. PRINCIPAUX COMPOSANTS



3.6. Prolongement des câbles

	DESCRIPTION	PHOTO D'UN KIT	PHOTO INSTALLATION
MIEILLEURE QUALITÉ Boîtier de jonction en résine coulée	<p>Il s'agit d'un kit composé d'une enveloppe (boîtier) généralement en forme de fuseau, plus resserrés aux extrémités pour serrer les câbles, et évasé au milieu pour laisser le volume nécessaire aux connecteurs en partie centrale.</p> <p>Une fois la connexion réalisée et le boîtier refermé autour de la connexion, on coule la résine fournie avec le kit, qui durcit et rend le montage étanche sur le long terme.</p>		
SECONDE QUALITÉ Le manchonnage étanche	<p>Il s'agit d'un ensemble de manchons composé de 3 pièces :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manchon à sertir pour connecter les conducteurs entre eux • Gaines thermo-rétractables à mettre sur les conducteurs • Gaine thermo-rétractable à mettre sur l'ensemble du câble <p>Attention, l'installation de ce kit demande un savoir-faire pour être réellement étanche.</p>		

50



3. PRINCIPAUX COMPOSANTS

3.6. Prolongement des câbles



HOMOLOGUÉ
MAIS À ÉVITER
SI POSSIBLE
Le prolongateur
de câble

Il s'agit d'un kit étanche à visser. Il est déconseillé car :

- Une fois le raccordement effectué il reste de l'air dans la partie raccordement. Ce système résiste donc très mal à la mise sous pression et n'est généralement plus étanche à partir de 5 bars (50 m de profondeur).
- Il ne s'adapte pas sur les câbles plats, or la majorité des pompes est munie de câbles plats.




Tous les systèmes réalisés avec du scotch, avec des dominos, ...quels que soient leur enveloppe extérieure, avec ou sans résine coulée, NE SONT PAS HOMOLOGUÉS. Ces systèmes, ne résistent pas à la pression, ne tiennent pas dans le temps, et/ou n'assurent pas une réelle étanchéité. Ces boîtes sont dites « étanches » car elles résistent à la pluie mais ne sont pas submersibles.





51



3. PRINCIPAUX COMPOSANTS

3.7. GROUPE ÉLECTROGÈNE DE SECOURS OU COMPLÉMENT




Les pompes solaires sont généralement conçus pour être entièrement autonomes, cependant, dès que l'alimentation en eau est critique pour les cultures ou vital pour les populations, il est indispensable de prévoir une possibilité de raccordement pour une source d'énergie externe, en général un groupe électrogène.


Cette source d'énergie externe peut être utilisée soit en cas d'indisponibilité du parc solaire (panne ou maintenance des panneaux), soit en complément durant certaines saisons : fortes pluies, couverture nuageuse, neige recouvrant les panneaux, ... cette source d'énergie peut ne pas être connectée en permanence mais la possibilité de la connecter doit être prévue. On rencontre couramment 3 différentes possibilités de connexion de groupe électrogène.

Avec un boîtier spécial à commander chez le fournisseur de pompe qui réalise l'inversion de source (passage de solaire à groupe).	Par une entrée prévue à cet effet dans le contrôleur de pompe ou l'onduleur solaire de pompage.	Avec un disjoncteur ou automate dans un coffret. Le coffret étant lui-même connecté sur l'entrée prévue à cet effet dans le contrôleur de pompe ou l'onduleur solaire.
 <p>(Exemple boîtier IO101 - marque Grundfos)</p>	 <p>(Exemple coffret PP2200 Power pack - marque Lorentz)</p>	 <p>Ce système est installé lorsque l'emplacement possible du groupe est situé loin de l'onduleur. On installe alors une sorte de « rallonge » permanente qui termine sur un coffret sur lequel on connectera le groupe temporaire ou permanent.</p>


52



3. PRINCIPAUX COMPOSANTS




3.7. GROUPE ÉLECTROGÈNE DE SECOURS OU COMPLÉMENT



En aucun cas il n'est possible d'installer une rallonge se terminant par une prise mâle connectée en permanence à l'installation, prête à raccorder à un groupe électrogène. Le raccordement d'un groupe doit être réalisé sur un bornier isolé prévu à cet effet.

En aucun cas il est possible de prévoir la connexion d'un groupe directement à la pompe, même via un inverseur de source, car en faisant de cette manière, toutes les sécurités sont inopérantes, particulièrement la sonde manque d'eau dans le puit.




S'il n'y a pas besoin de groupe électrogène en permanence sur l'installation de pompage alors on évitera d'en installer un. L'installation d'un groupe permanent alors que ce n'est pas nécessaire peut être vu comme un bonus ou un confort supplémentaire pour les bénéficiaires. Il n'en est rien. L'installation d'un groupe électrogène permanent nécessite un stockage fuel, un stockage de pièces détachées, un démarrage régulier pour maintenance, ... et donc un important surcoût pour la communauté bénéficiaire du projet.


Les règles de dimensionnement des groupes électrogène de secours ou en complètement sont identiques. Il faut veiller à ce que la tension de sortie groupe soit compatible avec l'alimentation des contrôleurs de pompes ou onduleur de pompage.

Les règles de bonne installation des groupes électrogènes s'appliquent aussi aux groupes électrogènes installé sur les pompages (épaisseur de dalle, dégagement autour de la machine, flux de ventilation, ...).

53



3. PRINCIPAUX COMPOSANTS



3.8. SONDAS ET DÉTECTION DU NIVEAU D'EAU DANS LE RÉSERVOIR

La détection du niveau d'eau dans le réservoir peut être utile pour :

- Démarrer automatiquement la pompe lorsque l'eau atteint un niveau bas, et arrêter la pompe lorsque le réservoir est plein
- Déclencher des alarmes (allumage de voyants lumineux, alarmes sonores, ...)
- Connaître le niveau d'eau dans le réservoir lorsque celui-ci est difficile d'accès (éloigné du lieu de pompage, ou situé sur une plateforme en hauteur, ...)

Pour réaliser ces opérations, il existe deux familles de sondes :

- Les sondes de type « à contact sec ». Ces sondes vont fonctionner comme un interrupteur, vont s'ouvrir ou se fermer lorsqu'un certain niveau est atteint. Il n'est pas possible de mesurer précisément le niveau avec ce type de sonde et l'afficher en m³. Elles sont uniquement utilisées pour envoyer des signaux ponctuels, typiquement « démarrage pompe », « réservoir vide », ...
- Les sondes de type « potentiométriques », communément appelées « quatre-vingt-milli » pour le signal de 4 à 20 mA qu'elles envoient. Ces sondes mesurent la hauteur d'eau dans le réservoir (à 1 cm près) et envoient cette information à un calculateur électronique, qui va convertir ce signal en m³ d'eau dans la citerne, en fonction des dimensions de la citerne qui seront préalablement paramétrées. Les calculateurs peuvent au passage déclencher des signaux de type « contact sec » à des seuils programmables.


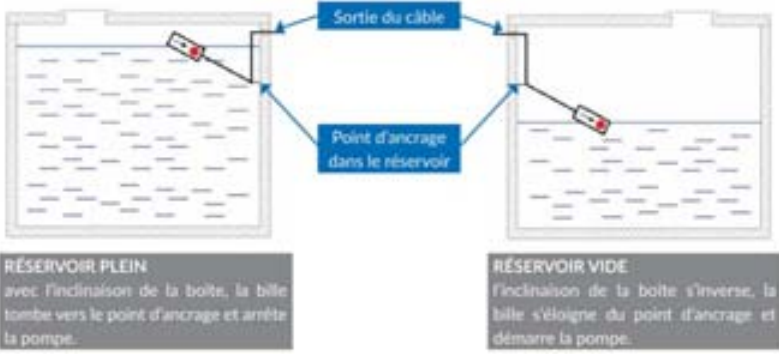
54

3. PRINCIPAUX COMPOSANTS

3.8. SONDES ET DÉTECTION DU NIVEAU D'EAU DANS LE RÉSERVOIR

La sonde à flotteur

Le type de sonde majoritairement utilisé lorsque le besoin est uniquement de démarrer/arrêter la pompe est la « sonde à flotteur ». La sonde est constituée d'une boîte en plastique étanche remplie d'air (donc qui flotte). À l'intérieur de cette boîte se trouve une bille qui actionne un contact de démarrage ou d'arrêt suivant l'inclinaison de la boîte

Ce type de sonde est très pratique et simple à installer, en revanche il n'est pas très fiable dans le temps : la bille a tendance à se bloquer avec le temps. En cas de besoin d'une grande fiabilité et/ou durabilité, il est possible d'effectuer le démarrage automatique avec des « sondes à électrodes »

55

3. PRINCIPAUX COMPOSANTS

3.8. SONDES ET DÉTECTION DU NIVEAU D'EAU DANS LE RÉSERVOIR

La sonde à flotteur



- Le niveau d'eau descend
- Le flotteur bascule
- La bille n'appuie plus sur le contact
- Le contact est ouvert

Pompe en marche

NC = Normalement Clos
NO = Normalement Ouvert

- Le niveau d'eau est atteint
- Le flotteur se redresse
- La bille appuie sur le contact
- Le contact est fermé

Pompe arrêtée

NC = Normalement Clos
NO = Normalement Ouvert

Longueur du câble entre le réservoir et le flotteur = niveau d'eau

56



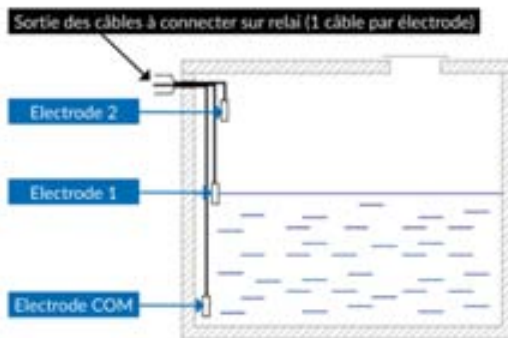
3. PRINCIPAUX COMPOSANTS



3.8. SONDES ET DÉTECTION DU NIVEAU D'EAU DANS LE RÉSERVOIR

La sonde à électrode

Pour déclencher des actions, on peut aussi utiliser des sondes à électrodes. Cette détection est faite avec un ensemble d'électrodes en inox suspendues à différentes hauteurs dans le réservoir. Ces électrodes sont connectées à un relai placé dans l'armoire qui interprète la mesure et envoie les signaux de démarrage, arrêt, ...



Lorsque l'eau descend sous l'électrode 1, alors il n'y a plus de contact entre l'électrode COM et l'électrode 1.

Le relai interprète cette rupture de signal comme « réservoir à mi-hauteur » et démarre la pompe.

Le réservoir se remplit jusqu'à ce que l'eau fasse à nouveau contact entre l'électrode COM et l'électrode 2 ce qui arrête la pompe et ainsi de suite.

57



3. PRINCIPAUX COMPOSANTS



3.8. SONDES ET DÉTECTION DU NIVEAU D'EAU DANS LE RÉSERVOIR

LES SONDES POTENTIOMÉTRIQUES (OU « 4-20 MA »)

Un flotteur avec une bague magnétique va coulisser le long d'une tige rigide. Suivant la position du flotteur sur la tige, le courant que la sonde laisse passer va varier entre 4 mA (niveau mini) et 20 mA (niveau maxi). Ce courant est ensuite interprété par un afficheur à distance (voir les afficheurs ci-après). Ce type de sonde est très fiable et permet d'afficher un niveau à 1 cm près.

Il calcule la quantité d'eau dans le réservoir en m³ en fonction de la hauteur d'eau communiquée par la sonde et les dimensions du réservoir préalablement paramétrées.



Marque Hitec




Marque Afriso / Eurojauge



Marque Interjauge


58



3. PRINCIPAUX COMPOSANTS

3.8. SONDES ET DÉTECTION DU NIVEAU D'EAU DANS LE RÉSERVOIR

Les sondes à mesure de pression




La sonde est à placer en partie basse du réservoir, et mesure le niveau de l'eau (à 1 cm près) en fonction de la pression qu'elle subit : plus la hauteur d'eau au-dessus de la sonde sera importante, plus la pression subie sera importante. La sonde transmet la même information que la sonde à flotteur coulissant (variation du courant de sortie), et peut être interprétée par le même type d'afficheur.


Comme les sondes à électrodes, les sondes à mesure de pression sont suspendues dans le réservoir. Si elle n'est pas fixée, elle va « tourbillonner » lors des remplissages et cela va endommager le câble au point de fixation.

Elle doit donc être fixée à un support : un câble inox suspendu muni d'un poids, ou une barre verticale fixée dans le réservoir.

Attention : les hauteurs minimum et maximum d'eau doivent être précisées au fournisseur lors de la commande, afin de s'assurer que le courant min (4 mA) sera délivré au niveau d'eau minimum, et que le courant maximum (20 mA) sera obtenu lorsque niveau de l'eau sera à son niveau maximum (réglage usine).




59



3. Les composants d'un système de pompage solaire PV


3.2. Les pompes

3.2.1. Principe de fonctionnement d'une pompe



Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide.

Plus particulièrement, elle permet de transformer l'énergie mécanique d'un moteur en énergie hydraulique afin de faire passer un liquide d'un niveau donné à un autre plus élevé ou d'augmenter la pression d'un fluide.



```

graph LR
    A[Energie mécanique] --> B[Pompe]
    B --> C[Energie hydraulique]
  
```

60



3. PRINCIPAUX COMPOSANTS



3.6. Sonde d'eau

Quel que soit le type de pompe (centrifuge, hélicoidale, volumétrique, ...) les pompes possèdent toujours les mêmes composants principaux présentés en figure 10, à savoir :

- Le moteur (AC, DC, ou multi-tension), toujours situé en partie inférieure. Le moteur est ainsi toujours immergé, ce qui est nécessaire pour son refroidissement.
- L'orifice d'aspiration muni d'une crépine grossière pour filtrer les grosses impuretés présentes dans l'eau.
- La pompe toujours située en partie haute.
- L'orifice de refoulement muni d'un pas de vis pour y visser la tuyauterie de refoulement et d'un clapet anti-retour.
- Une petite longueur de câble (de 50 cm à 1 m) fixée de manière étanche dans le moteur, afin que l'installateur n'ait pas à ouvrir le moteur pour y connecter le câble d'alimentation (et potentiellement rompre l'étanchéité de celui-ci).



61

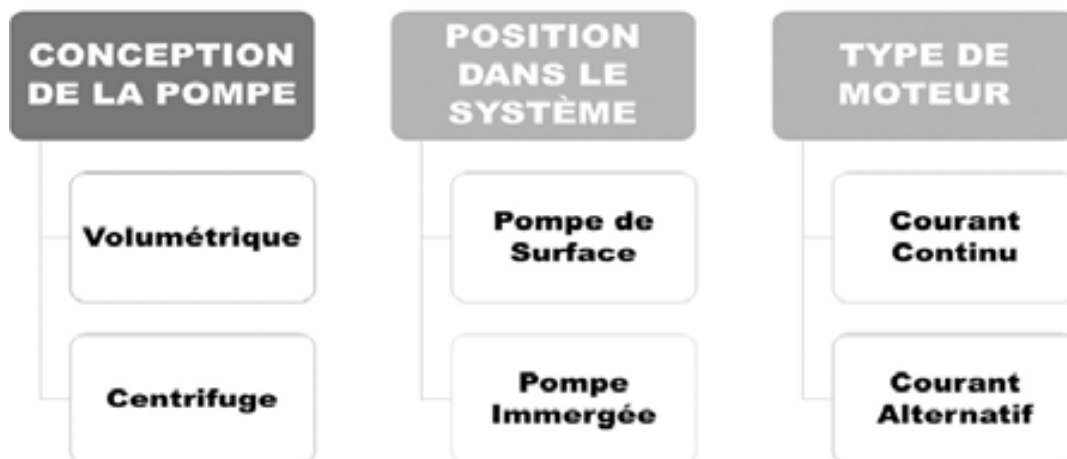


3. Les composants d'un système de pompage solaire PV





3.2. Les pompes

3.2.2. Différents types de pompe





62

1- Pompe pour eaux propres, eaux claires, eaux chargées et eaux très chargées, quelle est la différence ?

- Lorsque l'on choisit une pompe et surtout une pompe de surface il faudra absolument s'intéresser aux éléments granulaires. Derrière ce mot ce cache en fait quelque chose de très simple, les éléments granulaire sont en fait les éléments solide présent dans l'eau que vous souhaitez pomper.
- Lorsque aucun élément solide n'est présent dans l'eau que vous souhaitez pomper on parle d'eau propre.
- Lorsque les éléments présents dans l'eau à pomper sont d'une taille inférieure à 5 mm, vous pourrez utiliser une pompe de surface pour eaux claires. Ce sont généralement les eaux de pluie, les eaux présentes dans un récupérateur d'eaux.
- Lorsque les éléments présents dans l'eau à pomper sont d'une taille inférieure à 20 mm, vous pourrez utiliser une pompe de surface pour eaux chargées. Ce sont généralement les eaux de points d'eaux ou de rivières mais cela peut également être des eaux de puits.
- Lorsque les éléments présents dans l'eau à pomper sont d'une taille supérieure à 20 mm, vous pourrez utiliser une pompe de surface pour eaux très chargées toutefois attention une pompe immergée est souvent une bien meilleure solution dans ce cas.

63

3. Les composants d'un système de pompage solaire PV

3.2. Les pompes

3.2.2. Différents types de pompe

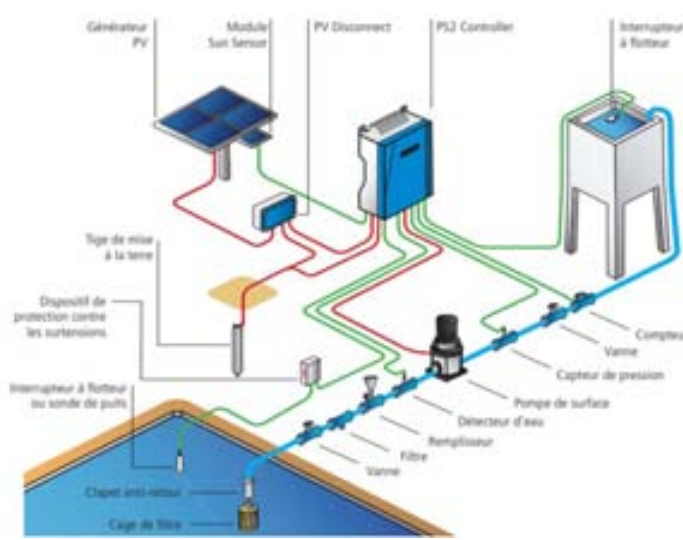
Les différents types de pompe selon la position de la pompe dans le système.


❖ **Les pompes de surfaces**

Rien qu'au nom, on sait déjà que cette pompe se place en dehors ou à la surface du liquide à pomper.

Les pompes de surfaces flottantes se posent sur le liquide à pomper .

les pompes de surfaces surfaciques se posent sur la surface et leurs tuyauteries d'aspiration se posent dans le liquide à pomper.





3. Les composants d'un système de pompage solaire PV

3.2. Les pompes

3.2.2. Différents types de pompe

Les différents types de pompe selon la position de la pompe dans le système.

❖ Les pompes de surfaces






systeme de pompe		PS2-150 Boost	PS2-600 CS-F	PS2-1800 CS-F	PS2-4000 CS-F
hauteur manométrique max.	[m]	150	40	50	70
débit max.	[m ³ /h]	1,3	8,3	8,5	59
fonctionnement solaire :					
tension d'alimentation max. (Vmp)*	[VCC]	> 17	> 68	> 102	> 238
tension en circuit ouvert (Voc)	[VCC]	50 max.	150 max.	200 max.	375 max.
tension nominale	[VCC]	12-24	24-48	72-96	168-192
fonctionnement de la batterie :					
tension nominale	[VCC]	12-24	48	96	-
type de pompe		volumétrique	pompe centrifuge	pompe centrifuge	pompe centrifuge

*Taux de PV en condition de test standard : AM = 1,5, E = 1000W/m², température des cellules : 25°C

5




3. Les composants d'un système de pompage solaire PV

3.2. Les pompes

3.2.2. Différents types de pompe

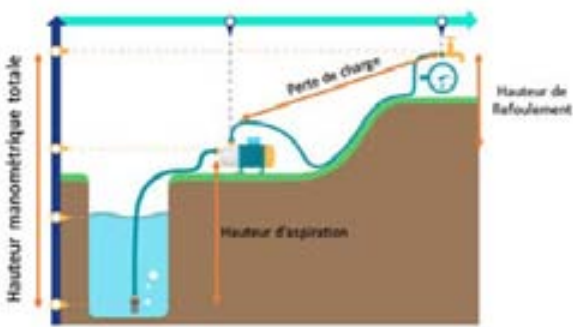
Les différents types de pompe selon la position de la pompe dans le système.

❖ Critères de choix des pompes de surfaces



• **Hauteur d'aspiration** : C'est une des composante de la HMT, il s'agit ici uniquement de la différence de hauteur entre l'eau à aspirer et la pompe. Sur une pompe de surface la hauteur maximum d'aspiration est de 7m.

3 étapes cruciales pour bien choisir sa pompe de surface
 Pour faire le bon choix de pompe de surface il faudra déterminer 3 éléments : le type d'eau, le besoin en eau (débit) et la hauteur manométrique totale (HMT). Une fois ces 3 éléments déterminés, il sera alors très simple de choisir une pompe adaptée à votre besoin.



66



3. Les composants d'un système de pompage solaire PV

3.2. Les pompes

3.2.2. Différents types de pompe

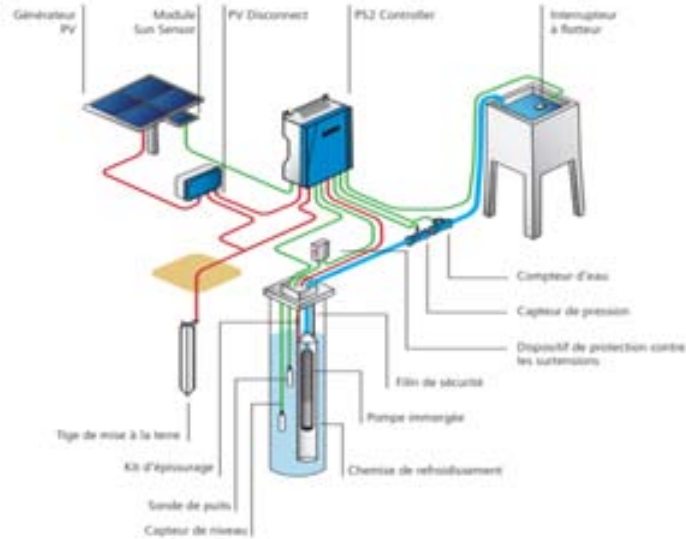
Les différents types de pompe selon la position de la pompe dans le système.



❖ Les pompes immergées

C'est une pompe est directement mise dans l'eau afin de pomper et de refouler l'eau vers la surface.

Cette technologie de pompe immergées est exclusivement conçue pour fonctionner avec les modules solaires photovoltaïques.



3. Les composants d'un système de pompage solaire PV

3.2. Les pompes

3.2.2. Différents types de pompe

Les différents types de pompe selon la position de la pompe dans le système.




❖ Les pompes immergées

système de pompe	PS2-150 C	PS2-600 C	PS2-1800 C	PS2-4000 C
hauteur manométrique max. [m]	20	30	100	160
débit max. [m ³ /h]	4,0	12	53	79
fonctionnement solaire :				
tension d'alimentation max. [Vmp] [*] [VCC]	> 17	> 60	> 102	> 238
tension en circuit ouvert [Voc] [VCC]	50 max.	150 max.	200 max.	375 max.
tension nominale [VCC]	12-24	48-72	72-96	168-192
fonctionnement de la batterie :				
tension nominale [VCC]	12 & 24	48	96	N/A

^{*} Niveau PV en condition de test standard : AM = 1,5, E = 1 000W/m², température des cellules : 25 °C






3. Les composants d'un système de pompage solaire PV

3.2. Les pompes

3.2.2. Différents types de pompe

Les différents types de pompe selon leur conception

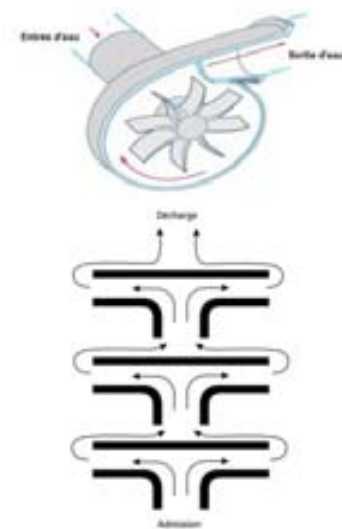



❖ **La pompe centrifuge**

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou à ailettes. L'eau qui rentre au centre de la pompe sera poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages.

Caractéristiques d'une pompe centrifuge

- ✓ le couple d'entraînement de la pompe est pratiquement nul au démarrage.
- ✓ La pompe tourne à très faible ensoleillement, le moteur peut fournir une vitesse de rotation rapide à peu près constante et Adapté aux débits importants.






3. Les composants d'un système de pompage solaire PV

3.2. Les pompes

3.2.2. Différents types de pompe

Les différents types de pompe selon leur conception

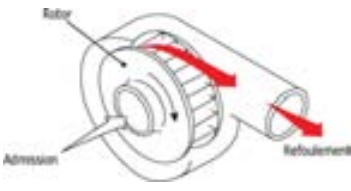



❖ **La pompe volumétrique**

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

Caractéristiques d'une pompe volumétrique

- ✓ Le couple de démarrage est pratiquement indépendant du débit et sera proportionnel à la Hmt (3 à 5 fois le couple nominale) ; La puissance consommée sera proportionnelle à la vitesse.
- ✓ utilisées pour les puits et les forages à grandes profondeurs et à petits débits d'eau inférieure à 5 (m³/h).






3. Les composants d'un système de pompage solaire PV

3.2. Les pompes


3.2.2. Différents types de pompe



❖ Comparaisons entre les pompes centrifuges et les pompes volumétriques

Les pompes centrifuges	Les pompes volumétriques
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pour des HMT relativement faibles ou moyennes et des débits élevés, la pompe immergée centrifuge est généralement la plus efficace. ✓ Rendement est très étroitement lié à la HMT et son dimensionnement est critique. 	<ul style="list-style-type: none"> ❑ Pour les grandes HMT et de faibles débits journaliers, 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.


71



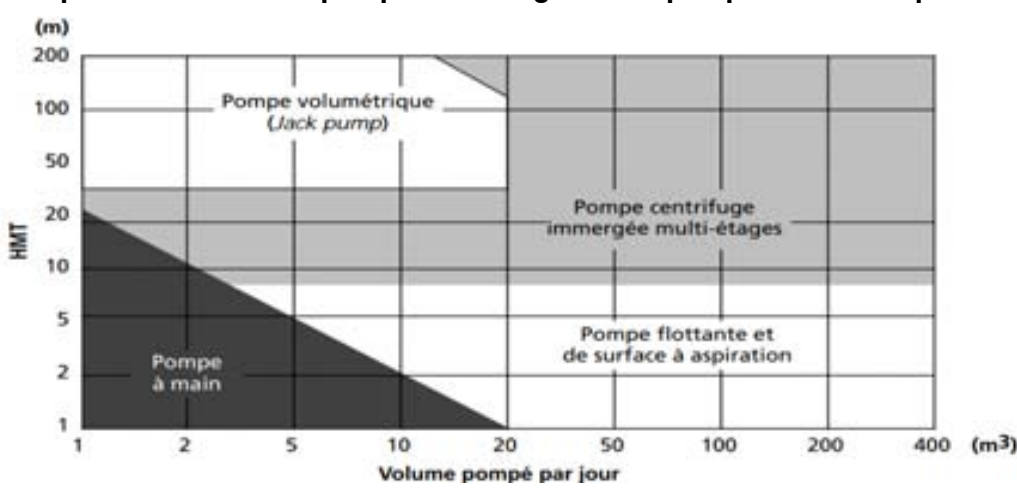
3. Les composants d'un système de pompage solaire PV

3.2. Les pompes


3.2.2. Différents types de pompe



❖ Comparaisons entre les pompes centrifuges et les pompes volumétrique




72




3. Les composants d'un système de pompage solaire PV

3.2. Les pompes

3.2.2. Différents types de pompe




❖ Comparaisons entre les pompes centrifuges et les pompes volumétrique




système de pompe	PS2-150 C	PS2-400 C	PS2-1800 C	PS2-4000 C	
hauteur manométrique max.	[m]	20	30	100	160
débit max.	[m ³ /h]	4,0	12	53	79
fonctionnement solaire :					
tension d'alimentation max. [VCC]	> 17	> 68	> 102	> 238	
tension en circuit ouvert [Voc]	[VCC]	50 max.	150 max.	200 max.	375 max.
tension nominale	[VCC]	12-24	48-72	72-96	168-192
fonctionnement de la batterie :					
tension nominale	[VCC]	12 & 24	48	96	N/A

*Niveau PV en condition de test standard, IRR = 1,5, E = 1000W/m², température des cellules : 25 °C



système de pompe	PS2-200HR	PS2-600HR	PS2-1800HR	PS2-4000HR	
hauteur manométrique max.	[m]	30	180	250	450
débit max.	[m ³ /h]	2,5	2,5	3,9	2,5
fonctionnement solaire :					
tension d'alimentation max. [VCC]	> 34	> 68	> 102	> 238	
tension en circuit ouvert [Voc]	[VCC]	100 max.	150 max.	200 max.	375 max.
tension nominale	[VCC]	24-48	48-72	72-96	168-192
fonctionnement de la batterie :					
tension nominale	[VCC]	24 & 48	48	96	N/A


*Niveau PV en condition de test standard, IRR = 1,5, E = 1000W/m², température des cellules : 25 °C



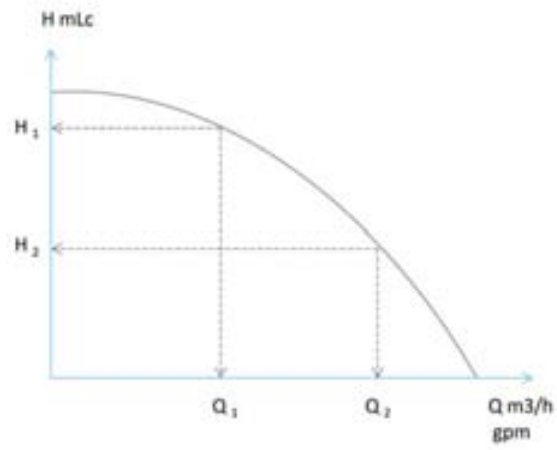
3. Les composants d'un système de pompage solaire PV

3.2. Les pompes

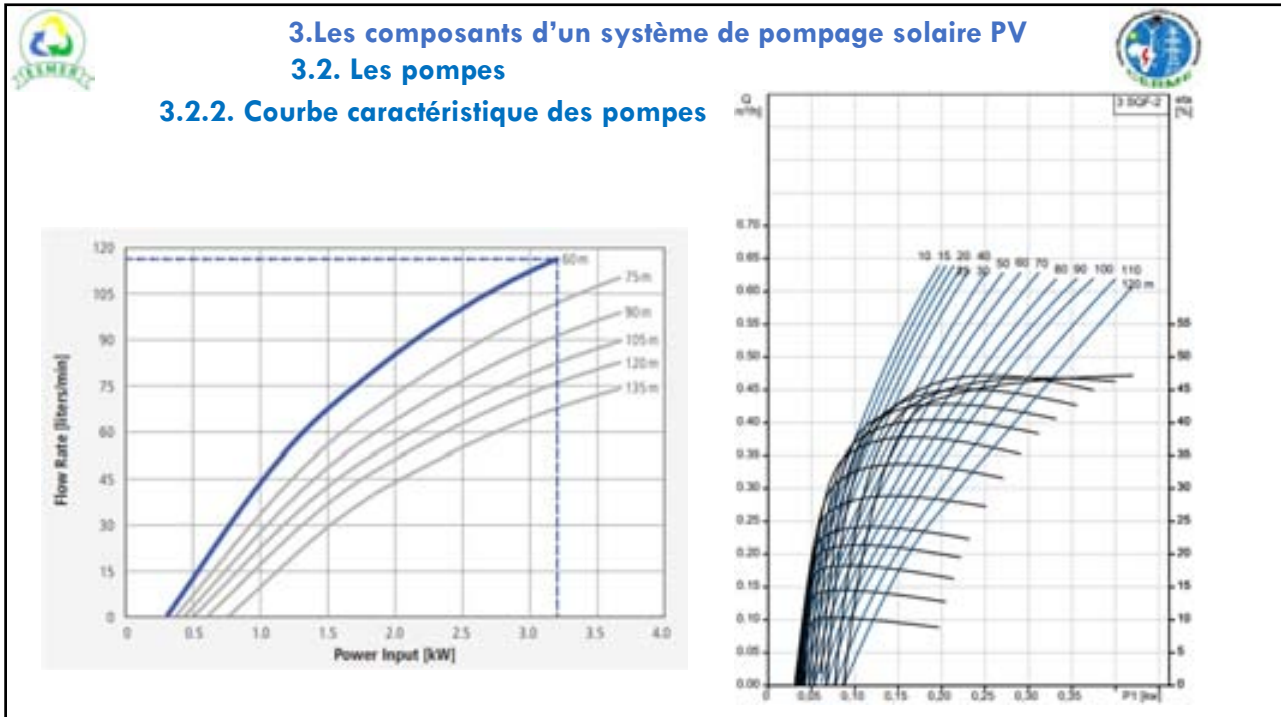
3.2.2. Courbe caractéristique des pompes



Les performances d'une pompe centrifuge sont indiquées par un ensemble de courbes de performance.



74



Module 4 : Dimensionnement



I. Dimensionnement des systèmes de pompage



1.1. Les différentes étapes du dimensionnement

- ❖ Evaluation des besoins en eau.
- ❖ Détermination de l'énergie solaire disponible.
- ❖ Dimensionnement et choix de la pompe.
- ❖ Le choix de l'onduleur (L'électronique de commande et de contrôle).
- ❖ Dimensionnement du générateur photovoltaïque.

Astuce

- ✓ Il est préférable de faire le pompage « au fil du soleil » pour simplification et de minimisation des coûts,
- ✓ Il est plus intéressant d'utiliser un stockage de l'eau dans des réservoirs hydrauliques au lieu de stocker l'énergie électrique dans des batteries.

77



I. Dimensionnement des systèmes de pompage



1.2. Evaluation des besoins en eau

La boisson, la cuisine, la lessive et la toilette constituent les principaux usages de l'eau pour les besoins humains. Les animaux aussi ont besoin d'eau pour leur survie. La demande en eau est également primordiale dans les domaines de l'agriculture et de l'industrie, quelle qu'en soit leur ampleur.

Humains	
5 l/jour	Survie
10 l/jour	Minimum admissible
30 l/jour	Conditions de vie normales en Afrique
Animaux	
Bœuf	40 l/jour
Mouton, chèvre	5 l/jour
Cheval	40 l/jour
Âne	20 l/jour
Chameau	20 l/jour (réserve de 8 jours)
Irrigation	
Cultures à l'échelle du village	
Riz	60 m ³ /jour/ha
Graines	100 m ³ /jour/ha
	45 m ³ /jour/ha

78



I. Dimensionnement des systèmes de pompage



1.3. Identification de l'ensoleillement du site

- ✓ Pour faire la conception d'un système de pompage solaire, il faut connaître les ressources solaires disponibles selon le site où sera placée l'installation.
- ✓ Le gisement solaire est la quantité d'énergie disponible par mètre carré par jour (kWh/m²/jour) avec laquelle on commence à dimensionner notre système.
- ✓ Il est recommandé de choisir l'irradiation mensuelle la plus faible.

- <http://energy.caeds.eng.uml.edu>

❖ Logiciel RETScreen: www.retscreen.net

- <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>

❖ Logiciel HOMER: www.nrel.gov/homer

- <http://re.jrc.eu.int/pvgis/pv/countries/countries.htm>
www.gaisma.com

❖ Logiciel PVSYS: www.pvsyst.com

79



I. Dimensionnement des systèmes de pompage



1.3. Identification de l'ensoleillement du site

Données météorologiques de Bohicon

Mois	Température de l'air		Rayonnement solaire quotidien - horizontal kWh/m ² /j	Pression atmosphérique kPa	Vitesse du vent m/s	Température du sol °C	Degrés-jours de chauffage 18 °C °C-j	Degrés-jours de climatisation 10 °C °C-j
	°C	Humidité relative %						
Janvier	27,7	66,1%	5,48	99,3	1,2	29,1	0	549
Février	28,9	68,2%	5,78	99,2	1,6	29,3	0	529
Mars	28,7	74,2%	5,73	99,2	2,0	28,0	0	580
Avril	28,2	78,8%	5,58	99,2	2,1	27,3	0	546
Mai	27,3	82,2%	5,30	99,3	1,8	26,9	0	536
Juin	26,2	84,3%	4,74	99,5	1,6	25,9	0	486
Juillet	25,1	86,1%	4,28	99,6	2,0	24,8	0	468
Août	24,9	85,9%	4,06	99,6	2,0	24,9	0	462
Septembre	25,4	84,9%	4,37	99,5	1,7	25,4	0	462
Octobre	26,3	83,9%	4,97	99,4	1,2	25,9	0	505
Novembre	27,5	78,2%	5,24	99,3	1,3	26,5	0	525
Décembre	27,5	72,0%	5,34	99,3	1,0	27,7	0	543
Annuel	27,0	78,8%	5,07	99,3	1,6	26,8	0	6 191
Source	Sol	Sol	NASA	NASA	Sol	NASA	Sol	Sol
Mesuré à				m	10	0		

80



I. Dimensionnement des systèmes de pompage



1.5. Puissance de la pompe

- ✓ Deux méthodes sont utilisées dans ce document pour le dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque : **une méthode analytique** et **une méthode graphique**.
- ✓ Ces méthodes permettent de dimensionner une installation de pompage photovoltaïque pour satisfaire les besoins en eau d'une consommation bien déterminée.

81



I. Dimensionnement des systèmes de pompage



1.4. Dimensionnement et choix de la pompe

1.4.1. Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise

- ✓ L'énergie nécessaire pour soulever une certaine quantité d'eau sur une certaine hauteur pendant une journée est calculée à partir des données de débit et de HMT requises et est exprimée en watt-heure.
- ✓ Ce calcul est fonction d'une constante hydraulique (C_H) et est inversement proportionnel au rendement du groupe motopompe utilisé. **Énergie requise pour la pompe :**

$$E_{elec} = \frac{\text{Constante hydraulique} \times \text{le débit journalier} \times \text{la HMT}}{\text{Rendement du groupe motopompe}}$$

$$E_{elec} = \frac{C_H \times Q(m^3/j) \times HMT(m)}{R_{mp}}$$

82



I. Dimensionnement des systèmes de pompage



1.4. Dimensionnement et choix de la pompe

1.4.1. Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise

Où E_{elec} est habituellement exprimé en kWh

$$C_H = g \times \rho = \frac{9,81 (m.s^2) \times 10^3 (kg/m^3)}{3600 (s/h)} = 2,725 (kg.s.\frac{h}{m^2})$$

où

g = constante de la gravité (9,81 m/s²)

ρ = la densité de l'eau (1000 kg/m³)

R_{mp} = en général le rendement des groupes motopompes est de 30% à 45%, selon le type de pompe et de moteur.

83



4. Dimensionnement du système de pompage



4.1. Générateur Photovoltaïque

- Calcul de l'énergie électrique journalière nécessaire par jour en Wh/Jour

Pour calculer l'énergie électrique à apporter à la motopompe (E_1), il faut tenir compte du rendement de la pompe, rendement qui varie suivant le type de pompe. Si le rendement de la motopompe est inconnu, on prendra les valeurs de référence ci-dessous :

TYPE DE POMPE	VOLUMÉTRIQUE	CENTRIFUGE (< 2 HP)	CENTRIFUGE (> 2 HP)
Rendement de référence	0,6	0,4	0,6

Rappel : La puissance est notée en W ou kW et / ou en HP (Pour Horse Power, cheval vapeur américain) ; 1 HP = 0,75 kW

$$\text{Énergie électrique Journalière (E1)} = \frac{\text{Volume d'eau (m}^3\text{/jour)} \times \text{HMT (en m)} \times 2,725}{\text{Rendement de la motopompe}}$$

84



I. Dimensionnement des systèmes de pompage



1.4. Dimensionnement et choix de la pompe

1.4.2. Calcul du débit horaire de la pompe et la hauteur manométrique

Débit horaire de la pompe

Il est calculé par la formule suivante :

$$Q_h = \frac{Q [m^3/j]}{h} [m^3/h]$$

Avec

Q : le débit max journalier. [m³/j].

h : le nombre d'heures d'ensoleillement. [heure].

Hauteur manométrique

Elle est calculée par la formule suivante :

$$HMT = H_g + P_c$$

Avec

H_g : la hauteur géométrique [m].

P_c : la perte de charge [m].

85



4. Dimensionnement du système de pompage



4.1. Générateur Photovoltaïque


- Calcul de l'énergie électrique journalière nécessaire par jour en Wh/Jour

Application


Pour le remplissage d'un réservoir de 30 m³ situé à 10 m de hauteur, à partir d'une pompe centrifuge de 3 HP, placée dans un forage de 50 m de profondeur, la perte de charge dans la tuyauterie est estimée à 1 bar (soit 10 m).

Energie Electrique Journalière (E1) =

86



4. Dimensionnement du système de pompage



4.3. Pompe

- Calcul de la puissance de la pompe

Le débit nominal de la pompe installée est de manière générale égal au cinquième de l'énergie journalière nécessaire. On peut en déduire la puissance de la pompe :


$$\text{Puissance électrique de la pompe (P1)} = \frac{\text{Énergie électrique Journalière E1 (Wh/jour)}}{5}$$

Application


Pour réaliser le pompage de l'exemple précédent, la puissance de la pompe sera approximativement de :

$$\text{Puissance électrique de la pompe (P1)} = \frac{9\,536 \text{ Wh}}{5} = 1\,907 \text{ W}$$

87



4. Dimensionnement du système de pompage



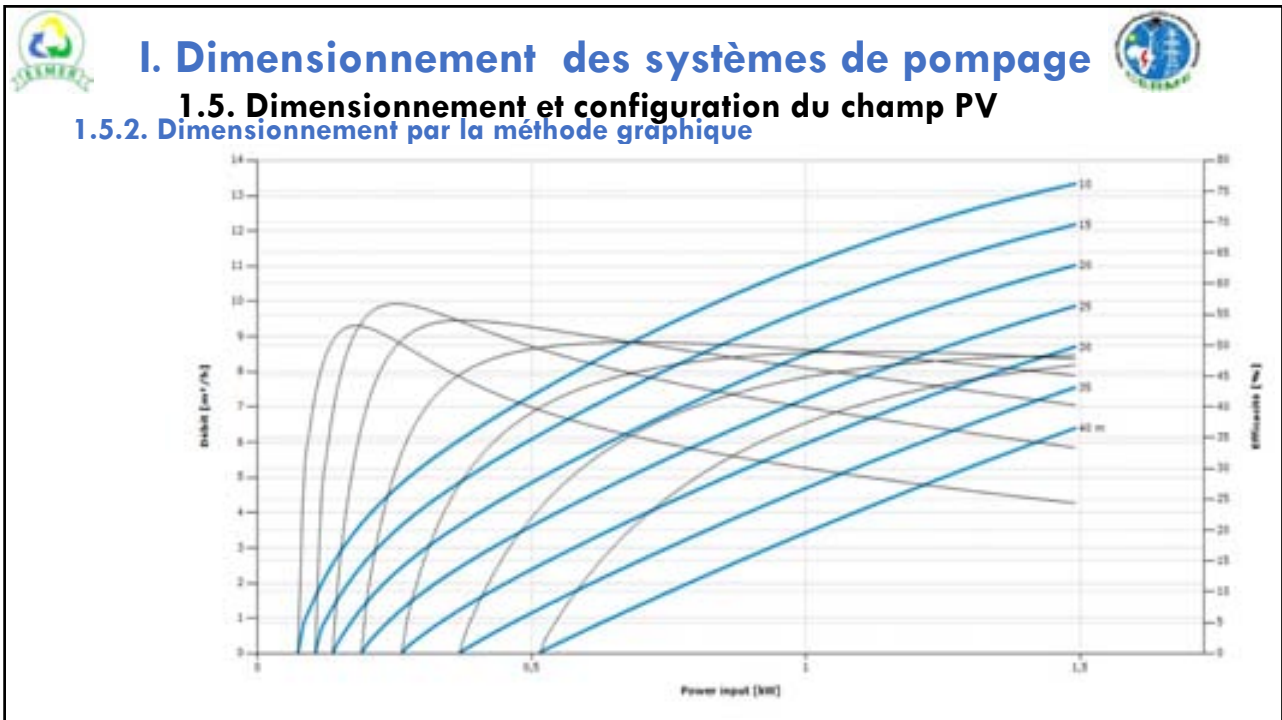
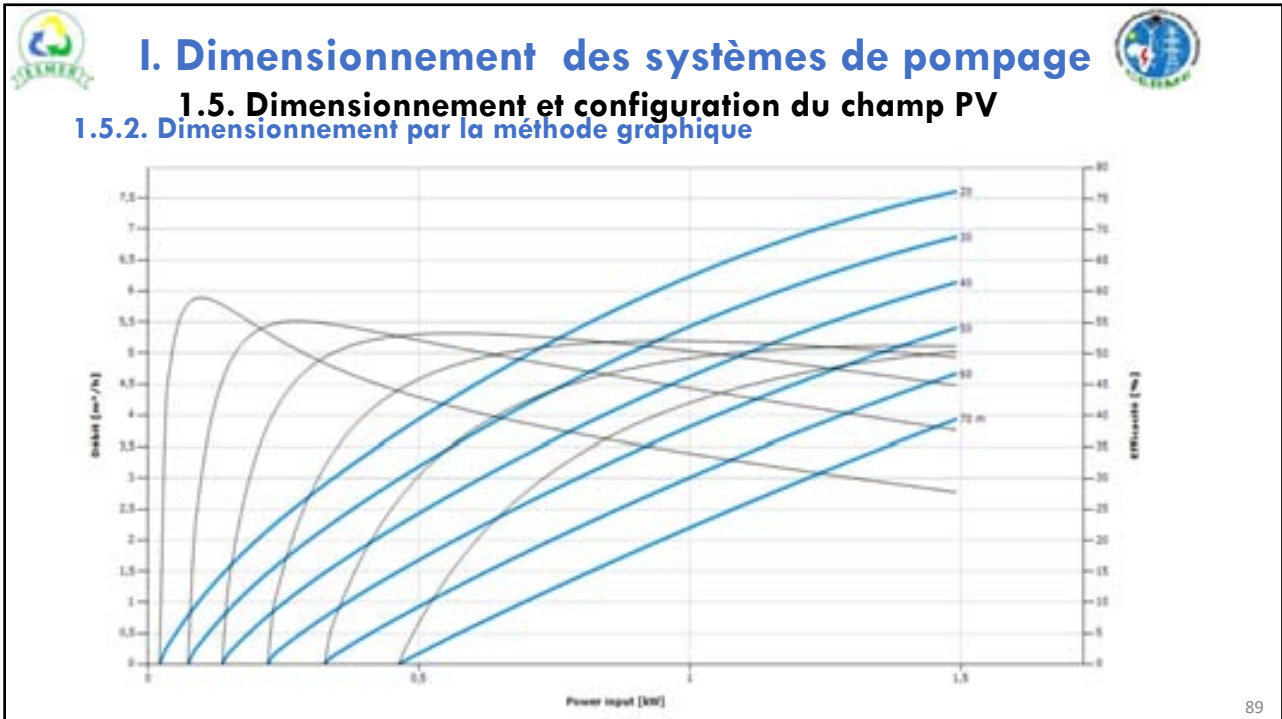
4.1. Générateur Photovoltaïque

- Calcul de la puissance du panneaux solaire à installer

$$\text{Puissance totale panneaux à installer} = \frac{\text{Énergie électrique Journalière E1 (Wh/jour)}}{\text{Rayonnement journalier (kWh/m}^2\text{/jour)} \times \text{Rendement}}$$

CHOIX DU COEFFICIENT DE RENDEMENT en fonction du type de support panneaux et des conditions de fonctionnement	Installation fixe des panneaux solaires	Suivi du soleil à axe horizontal (modification de l'inclinaison suivant la saison)	Suivi du soleil à axe incliné ou vertical (modification de l'inclinaison suivant l'heure de la journée)	Suivi du soleil automatique sur 2 axes
Rendement de référence en milieu poussiéreux ou mauvais nettoyage des panneaux	0,5	0,6	0,7	0,8
Rendement de référence en milieu propre ou nettoyage régulier des panneaux	0,6	0,7	0,8	0,9

88





4. Dimensionnement du système de pompage



4.1. Générateur Photovoltaïque

Application

Pour l'alimentation de l'exemple précédent, on suppose qu'on est à Bohicon (rayonnement à 4,1 kWh/m²/jour), avec des panneaux installés de manière fixe et en milieu désertique (environnement poussiéreux) :

$$\text{Puissance des panneaux} = \frac{9\,536 \text{ Wh/jour}}{4,1 \text{ kWh/m}^2/\text{jour} \times 0,6} = 3876 \text{ Wc}$$

Pour alimenter ce forage, il faudra donc installer 2 648 Watt-crête de panneaux solaire sur supports fixes. Suivant la puissance des panneaux en stock chez le fournisseur, il est possible d'installer :

- 16 panneaux de 250 Wc chacun (16 x 250 Wc = 4000 Wc) Ou
- 13/14 panneaux de 300 Wc chacun (14 x 300 Wc = 4200 Wc) Ou
- 12 panneaux de 330 Wc chacun (12 x 330 Wc = 3960 Wc)

91



I. Dimensionnement des systèmes de pompage



1.5. Dimensionnement et configuration du champ PV

1.5.3. Nombre total de modules PV

$$N_M = \frac{P_c}{P_M}$$

Avec :

P_c : La puissance crête du champ PV

P_M : La puissance du module PV

92



I. Dimensionnement des systèmes de pompage



1.5. Dimensionnement et configuration du champ PV

1.5.4. Nombre de modules PV en série

Pour trouver la tension convenable à l'alimentation d'une charge donnée par la mise en série de plusieurs modules PV, le nombre de ces modules est calculé par l'expression suivante :

$$N_{MS} = \frac{V_{ch}}{V_M}$$

Avec :

V_{ch} : La tension nominale de la charge (l'onduleur ou régulateur selon le cas).

V_M : La tension nominale du module.

93



I. Dimensionnement des systèmes de pompage



1.5. Dimensionnement et configuration du champ PV

1.5.5. Nombre de modules PV en parallèle

La mise en parallèle de modules donne l'intensité nécessaire à la charge. Le nombre de branches est calculé par l'équation suivante :

$$N_{MP} = \frac{N_M}{N_{MS}} \quad \begin{array}{l} N_{MS}: \text{Nombre de modules en série} \\ N_M: \text{Nombre total de modules} \end{array}$$

Correction de la puissance crête : Dans la plupart des cas, les nombres de modules (en séries et/ou en parallèles) calculés ne sont pas des entiers ; il faut donc les arrondir pour trouver la nouvelle puissance corrigée.

La puissance de l'onduleur doit être supérieure à la puissance de la pompe

94



I. Dimensionnement des systèmes de pompage



1.6. Etude de cas

1.6.1. Etude de cas 1

Pour le remplissage d'un réservoir de 30 m³ situé à 10 m de hauteur, à partir d'une pompe centrifuge de 3 HP, placée dans un forage de 50 m de profondeur. La perte de charge dans la tuyauterie est estimée à 1 bar (soit 10 m). Site d'installation Abomey- Calavi. Puissance crête des modules à utiliser: 250 Wc

TAF: Vous êtes appelés à faire le dimensionnement de ce système.

Travaux individuels: 15 min

Travaux de groupes: 15 min

Plénière: 30 min

95



I. Dimensionnement des systèmes de pompage



1.6. Etude de cas

1.6.2. Etude de cas 2

Un village de Bohicon constitué de 50 familles d'une moyenne de 10 personnes chacune a manifesté le besoin de se faire installer un système de pompage solaire pour desservir le village en eau potable. Vous avez donc été retenus par les autorités communales pour concevoir le dit système. Sachant que le forage présente les caractéristiques suivantes reportées dans le tableau ci-après:

TAF: Vous êtes appelés à faire le dimensionnement de ce système en utilisant des modules solaire de 300Wc


Travaux individuels: 30 min

Travaux de groupes: 30 min


Plénière: 60 min

HMT				
Niv. statique	Rabatt.	Niv. dynam.	Haut. réserv.	Pert. tuyau.
Ns (m)	RS (m)	Nd (m)	Hr (m)	Pc (%)
12	24	36	3	10%

96



I. Dimensionnement des systèmes de pompage



1.6. Etude de cas

1.6.2. Etude de cas 3

Une coopérative spécialisée dans la culture du riz après quelques années de baisse de rendement dans la production due au changement climatique brusque, décide de se faire installer un système d'irrigation à pompage solaire. Le champ de riz de cette coopérative couvre un espace de 2000 ha.

En tant que seul spécialiste concepteur et installateur des systèmes de pompage solaire, vous êtes contactés pour l'exécution de ce projet.

TAF: On vous demande donc de faire le dimensionnement de ce système sachant que:


- ❖ des études révèlent que la hauteur géométrique dans cette zone est de 50 m.
- ❖ Le fournisseur le plus proche dispose des modules solaires de 250Wc.

Travaux individuels: 30 min


Travaux de groupes: 30 min

Plénière: 60 min

97



I. Dimensionnement des systèmes de pompage

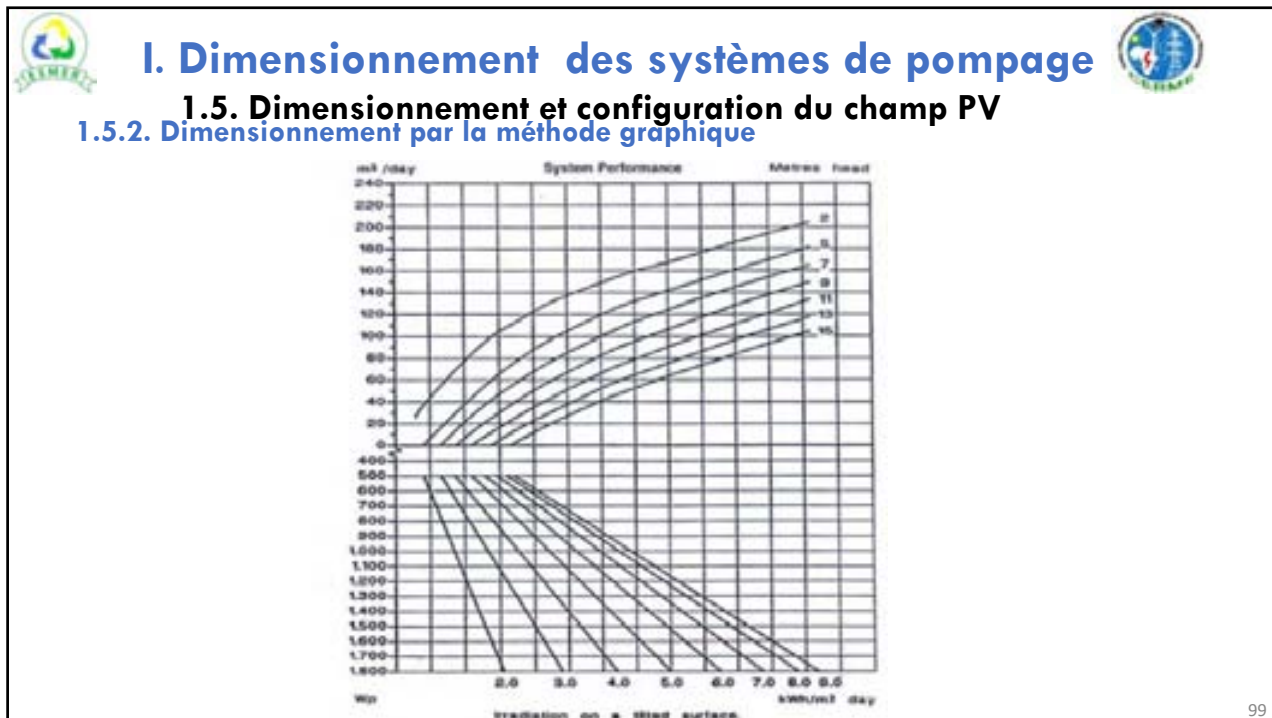


1.5. Dimensionnement et configuration du champ PV

1.5.2. Dimensionnement par la méthode graphique

- ✓ La méthode graphique utilise les abaques de rendement des pompes fournis par le constructeur qui donnent en fonction de l'irradiation la puissance crête du champ PV (P_c) nécessaire pour faire fonctionner la pompe dans cette gamme de débit, et de HMT.
- ✓ Les constructeurs d'équipement élaborent de tels graphiques sur la base des données calculées ou mesurées.
- ✓ Ce genre de graphes donne la configuration possible d'une électropompe. A titre d'exemple, la figure suivante montre les caractéristiques de l'électropompe SP14A-3 donnée par le constructeur GRANDFOS.

98



99

4. Dimensionnement du système de pompage

4.4. Groupe électrogène

Lors d'une alimentation par groupe électrogène, on démarrera le groupe, et lorsqu'on va enclencher le disjoncteur de sortie du groupe, la pompe sera alimentée brutalement et atteindra sa pleine puissance en quelques millisecondes. Cette montée en puissance brutale du moteur électrique génère des forts champs magnétiques, que le groupe électrogène doit vaincre pour que le moteur électrique puisse démarrer. On appelle ce phénomène un « impact de charge au démarrage ».

Si l'on choisit un groupe électrogène de puissance identique à la pompe (par exemple groupe de 2,2 kVA pour une pompe de 2 kW), alors ce groupe sera dans l'incapacité de démarrer la pompe. Concrètement le moteur thermique du groupe électrogène va caler brutalement.

Pour éviter cela, on veillera à respecter la règle de dimensionnement ci-dessous :


Puissance du groupe électrogène (en VA) = Puissance électrique de la pompe (P1) x 3

Application


Pour alimenter la pompe de 1 907 W calculée précédemment, on choisira un groupe électrogène d'une puissance de :

Puissance du groupe électrogène = 1 907 W x 3 = 5 721 VA soit environ 6 kVA

100






4. Dimensionnement du système de pompage




4.5. Tuyauterie

- La tuyauterie de remplissage doit être en acier galvanisé et de diamètre égal au diamètre de la tuyauterie de sortie de la pompe (1,5" soit 40-49 mm à 2" soit 50-60 mm)
- La tuyauterie d'exhaure est en matériau souple autoporteur et de diamètre correspondant à la sortie de la pompe (1,5" à 2")
- La tuyauterie de distribution sera en Plymouth (polyéthylène) de diamètre 40 ou 50mm, adapté à la distance entre le château et les fontaines afin d'éviter au maximum les pertes en charge. Elle sera enterrée et signalée par un grillage bleu.


A prévoir : filtre à sable, clapet anti retour, compteur, vannes 1/4 de tour, raccords union (pour un démontage plus pratique du matériel).

101



5. Installation, exploitation et maintenance




5.1. Mise en œuvre de l'installation

Il est préférable que les systèmes de pompage solaires soient compris comme des systèmes "clé en main". C'est au fournisseur que doit revenir la responsabilité de l'installation et du démarrage de la pompe avant qu'elle ne soit confiée à l'exploitant. Il est néanmoins possible que certains maîtres d'ouvrage procèdent autrement, en prenant à leur charge l'installation des équipements.

Dans ce cas, la fourniture devra comprendre tout le matériel nécessaire à l'installation (câbles, connecteurs, tuyaux de raccordement, accessoires de fixation, etc.). Ils doivent également être clairement identifiés. Par conséquent :

- le système de pompage photovoltaïque doit comprendre tous les éléments (câbles, connecteurs, vis, etc.) nécessaires à son installation (O)
- les modules photovoltaïques, les convertisseurs DC/AC et les motopompes doivent être clairement étiquetés et référencés (R)



102



5. Installation, exploitation et maintenance


5.2. Méthodes de gestion et d'exploitation




Il est nécessaire d'assurer, au minimum, trois types de vérifications :

- celle des organes principaux du système, le générateur solaire, le convertisseur, mais surtout la pompe. Un nettoyage régulier de la crépine permet, par exemple, d'éviter un arrêt inopiné par encrassement ou une baisse significative de rendement ;
- celle de l'ensemble des raccords, des connexions qui, avec le temps, se détendent, se desserrent ;
- celle des ouvrages en aval du système, le réservoir, le réseau de distribution d'eau, les vannes et robinetterie. Un contrôle périodique permet de limiter les effets de la corrosion, de prévenir toute fuite importante.


Le coût de cet entretien, auquel devra être ajoutée une provision pour le remplacement ultérieur des composants, représente un coût d'exploitation, variant de 5 à 10 % de l'investissement, qu'il faudra répartir sur l'ensemble des usagers. Ceux-ci devront être informés de l'existence et du montant de cette charge financière dès l'élaboration du projet d'équipement.






5. Installation, exploitation et maintenance

5.3. Maintenance et entretien des équipements



L'entretien quotidien des systèmes de pompage comprend le nettoyage du générateur photovoltaïque, le nettoyage du réservoir et la réparation des fuites au sein de l'infrastructure hydraulique. Pour rendre ces tâches plus aisées :

- les structures supports et leur installation doivent rendre accessibles les modules photovoltaïques aussi bien pour leur entretien que pour la révision de leurs contacts électriques (R) ;
- l'installation des structures supports doit préserver leur résistance à la corrosion, à l'usure et au vent (O).
- l'infrastructure de distribution doit être pourvue de robinets principaux qui permettront d'isoler les différentes parties des tuyaux (R).
- chaque système de pompage doit être fourni avec la documentation de base (prévention des risques d'accident, entretien manuel à l'attention des villageois, et description technique de l'installation) dans le langage local et à l'aide de dessins d'explication simples (O).





5. Installation, exploitation et maintenance



5.3. Maintenance et entretien des équipements

Maintenance préventive au niveau local

Contrôles à effectuer	Actions à mener
1. Nettoyage hebdomadaire des panneaux solaires	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser un chiffon bien propre et mouillé ; ne pas utiliser de détergents grenus ou de composés contenant des particules abrasives ou des produits décapants
2. Prévention de l'ombre	<ul style="list-style-type: none"> Enlever les arbustes autour du générateur S'assurer que personne n'a rien entreposé qui puisse masquer les panneaux Ne pas permettre la construction de maisons risquant de faire de l'ombre sur les panneaux
3. Inspection des constituants des câbles et de l'aménagement	<ul style="list-style-type: none"> Vérifier l'état de propreté et le blocage de toutes les connexions visibles (pompe, panneaux, conditionneur d'énergie...) Une fois par semaine, vérifier les câbles partout où c'est possible et rechercher les détériorations éventuelles (coupures, isolants usés ou mangés par les rongeurs...) Contrôle quotidien de l'état des équipements et de l'aménagement



105