

CENTRE DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES CDER



LE POMPAGE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE Manuel de cours

Par : Mr.M.BAKRI –Directeur des Opérations

CHAPITRE I

Composants d'une pompe solaire photovoltaïque

1-Architecture d'un système PS :



2-Types de systèmes PS :

- * **Pompage avec stockage** (*stockage électrique*)
- * **Pompage au fil du soleil** (*stockage de l'eau*)

- Avantages :

- Modularité
- Fiabilité technique
- Bonne acceptabilité sociale

-Inconvénient :

- Faible rendement Global
- Accessoires électroniques
- Coût initial

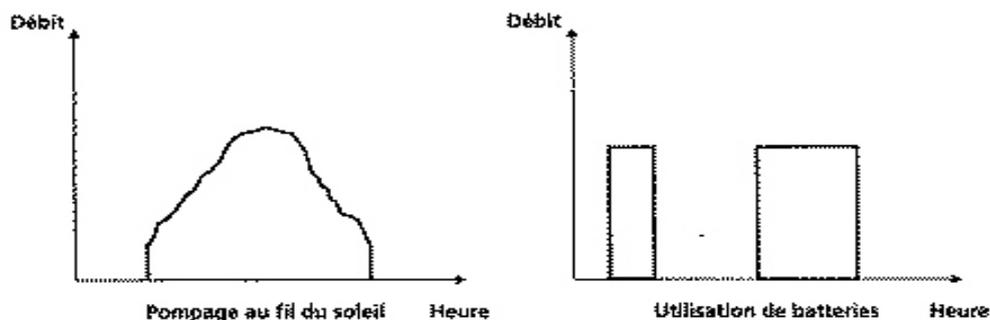


Figure1 .

Caractéristiques du débit pour le pompage au fil du soleil et avec batterie

3-Le Générateur solaire(Gs) :

- Ensemble de modules solaires PV
- Si Mono cristallin, Poly ou mono
- Fixe ou avec suiveur (*Trackers*)
- Modulaire (*en fonction HMT et débit*)
- Caractéristiques électriques :
 - *Tension Circuit Ouvert (Vco)*
 - *Courant Court –Circuit (Icc,)*
 - *Tension optimale (Vopt.)*
 - *Corant Optimum (Iopt.)*
 - *Puissance Optimale (Popt.)*
 - *Puissance crête Vopt. (Pc)*

4-Coffret de commande et de Contrôle :

il peut comprendre selon les cas :

- Un simple interrupteur (*Commande On/Off*)
- Un adaptateur d'impédance (*Convertisseur CC*)
- Un onduleur (*Convertisseur CC/CA*)
- Une carte électronique de command

5-Le Groupe moto-pompe(GMP)

5.1- les types de pompes

- Pompe volumétrique : *Transmission de l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va-et-vient*
- Pompe centrifuge.
- Pompe à aspiration
- Pompe à refoulement.

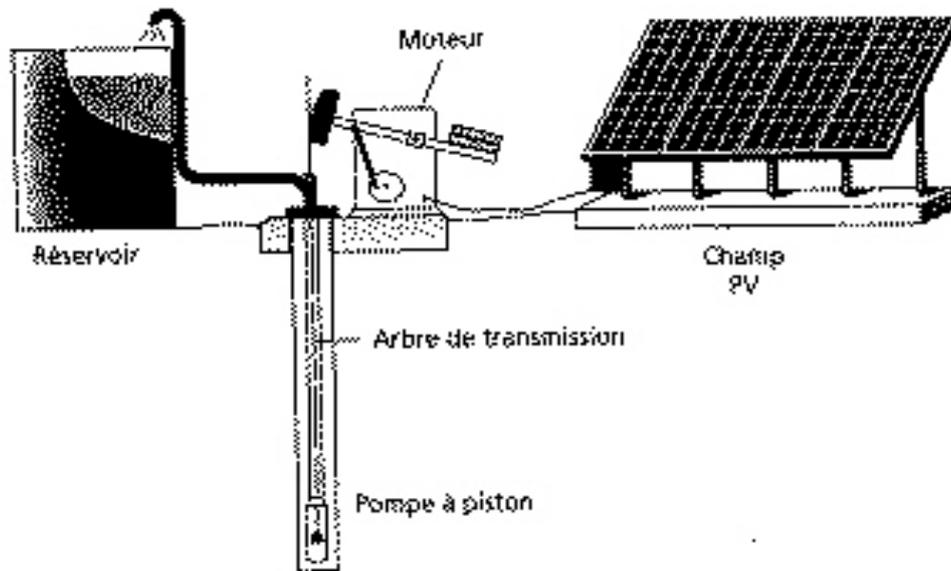
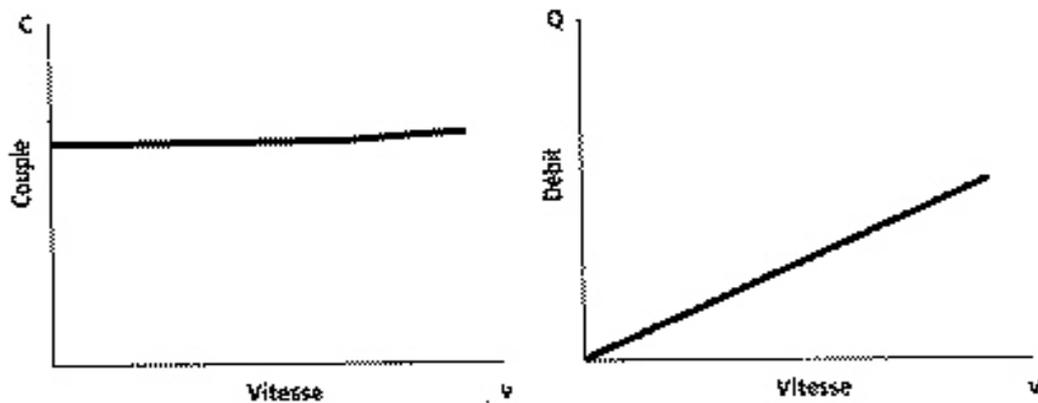


Figure.2 :Pompe à piston (jack pump) :
Pour de grandes profondeurs et de petits débit d'eau



a) Le couple est pratiquement constant en fonction de la vitesse.

b) Le débit est proportionnel à la vitesse.

figure 3:Caractéristiques d'une pompe volumétrique

-La pompe centrifuge

- Pompe centrifuge : *Transmission énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou d'ailettes.*
- Pompe sub-mersible avec moteur de surface
- Pompe submergé,
- Pompe flottante
- Pompe rotatives à aspiration.

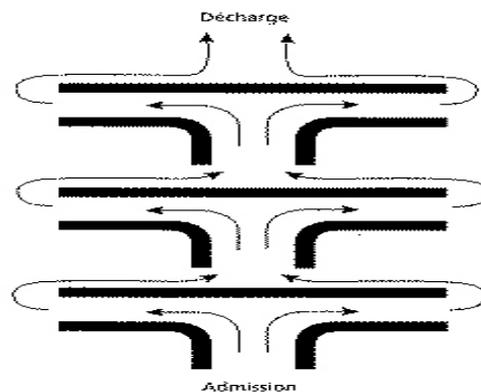
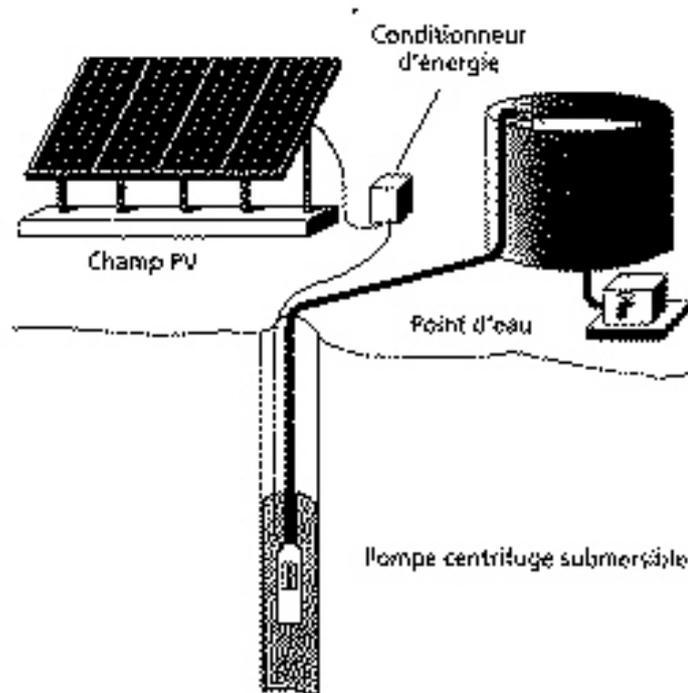


Figure 4

Cheminement de l'écoulement dans une pompe centrifuge à étages multiples

-Caractéristiques des pompes centrifuges

- Conception pour des HMT relativement fixes:
(30 à + 100m)
- Débit proportionnel à la vitesse de rotation du moteur.
- Rendement hydraulique 45 à 60%
- Durée de vie 5 à 7ans
- Faible entretien et maintenance
- Lubrification assurée par l'eau pompée.
- Nombre d'étages lié à la HMT
- Usage pour l'irrigation de petits maraîchages
(faible HMT)



Notes : Cette pompe est utilisée plus couramment pour l'exhaure de l'eau domestique. Le moteur et la pompe s'installent dans le puits ou le forage, à l'abri de coups potentiels.

Figure 5
Pompe submersible centrifuge à étages multiples

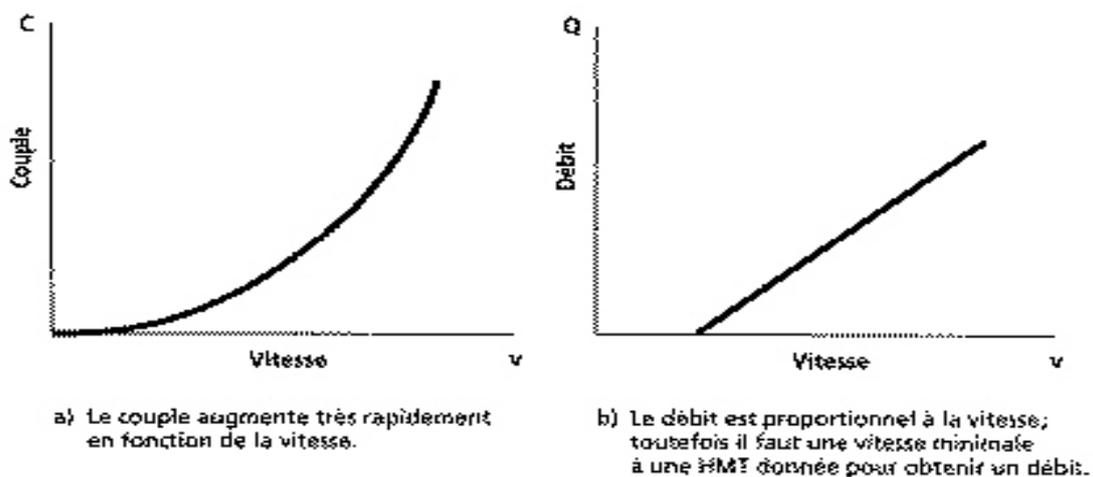
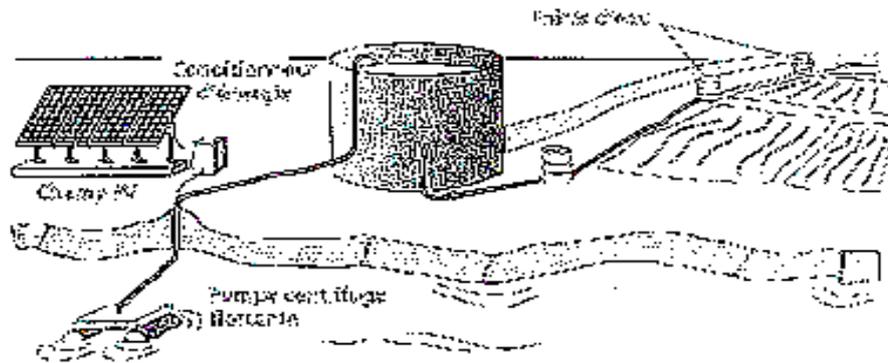


Figure 6
Caractéristiques d'une pompe centrifuge



Note: Les pompes centrifuges flottantes sont aussi utilisées pour l'irrigation de petits emplacements lorsque la HMT est faible, c'est-à-dire à partir d'un réservoir d'eau de surface, telle une rivière, et où la demande en eau est élevée.

figure 7
Pompe centrifuge flottante

-Comparaisons entre les pompes centrifuges et les pompes volumétriques

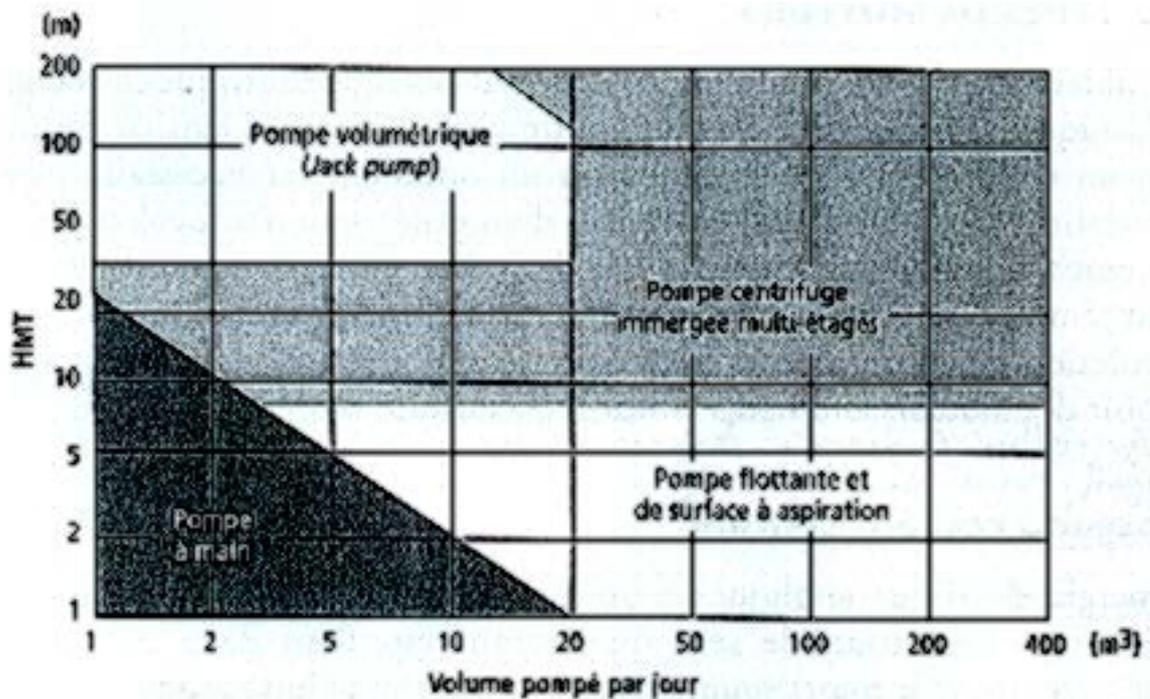


Figure 8
Choix d'une pompe selon la HMT et le débit demandés

5-2-Les types de Moteurs

« Moteur d'un GMP :

- Moteur à courant continu

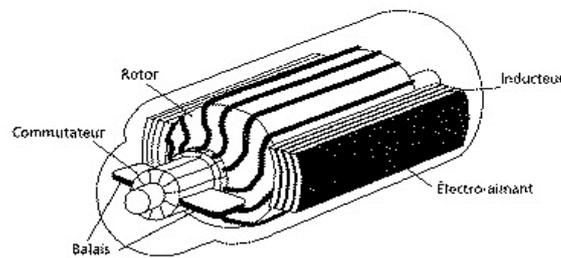


Figure 10
Moteur à courant continu avec balais

***Inconvénient : changement balais périodiquement
(5000h fonctionnement)**

-Moteur à courant alternatif

- utilisé de plus en plus pour les systèmes de pompage PV
- coût peu élevé
- nécessité d'usage d'un onduleur(*conversion C.C du Gs en CA*)
- moteurs alternatifs asynchrones sont les plus couramment employés

5-3-L'onduleur (moteur alternatif)

-Fonctions de l'onduleur :

- Transformer le courant continu, produit par le générateur solaire, en courant alternatif monophasé ou triphasé.
- Adapter le point de fonctionnement (*courant-tension*) au générateur (*Recherche du point de puissance maximale du générateur /MPPT, maximum power point tracking*)
- Gérer et protéger l'installation (*Protection: surchauffe, surcharge, sous-charge, surtension, sous-tension, défaut à la terre, court-circuit fonctionnement à sec, blocage groupe moto pompe, inversion de polarité, réservoir plein, Contrôle de mise en marche et indication de pannes par voyants lumineux..*)

-Caractéristiques

- Durée de vie moyenne de 7 ans
- Fréquence (f) variable
- Tension nominale CA peut être standard
(220 ou 380V, 80 V cas PS).

-Types Onduleurs

- Onduleur à onde sinusoïdale modifiée, en marche d'escalier : *Générateur d'une onde proche de l'onde sinusoïdale.*
- Onduleur à modulation de largeur d'impulsion (*PWM, « pulse-width » modulation employés par la plupart des systèmes de pompage à courant alternatif, rendement 90 à 95 %*)
- Onduleur à onde sinusoïdale.

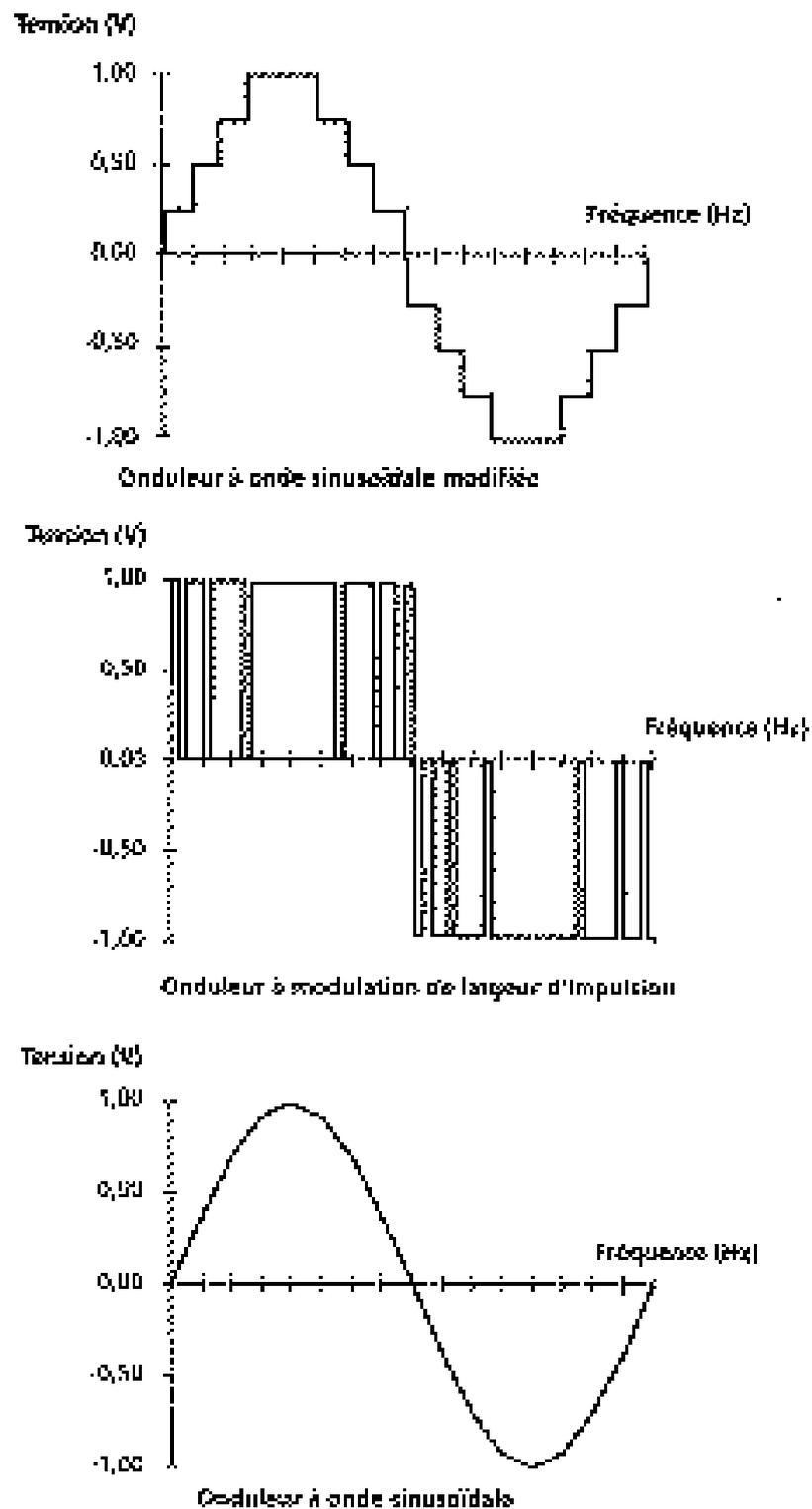


Figure 11
Courbe d'ondes de sortie d'un onduleur de pompage

7-Rendement du Groupe MP –Générateur PV

- Rendement d'un moteur CC série est de 80 à 85%
- Rendement d'un moteur AC asynchrone 80 à 85%
- Rendement hydraulique des P. solaires 45 à 60 %,
- Tenir compte de la variation de la HMT

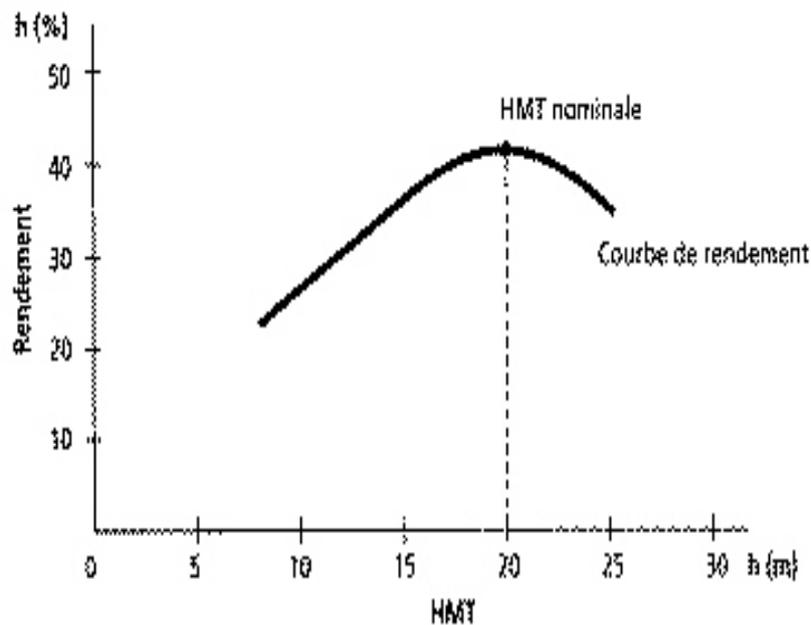


Figure 12
Rendement instantané d'une pompe centrifuge immergée
en fonction de la HMT

CHAPITRE 2

Dimensionnement d'une pompe solaire photovoltaïque

1-Prospection du site

- Meilleure connaissance du site (Accès , Situation géographique , situation énergétique , infrastructure hydraulique, population , cheptel ..)
- Prospection des ouvrages hydrauliques (disponibilité de l'eau , caractéristiques hydrauliques , physiques,emplacement...)
- Recueil et analyse des données de base (N° habitants , N° et type du cheptel , moyens utilisés , activité sociale .. ;)
- Elaboration d'une fiche d'identification du site , plan de masse , photos .. ;)

2-Analyse des besoins et des conditions d'exploitation

« »

Trois paramètres techniques délimitent l'évaluation d'une pompe solaire : «

- *la quantité d'eau requise par jour,
- *la disponibilité de l'eau
- *la ressource solaire.

2.1-Estimation des besoins en eau

- Le Débit(Q)

Le débit (Q) = **Quantité d'eau que la pompe peut fournir durant un intervalle de temps donné.**
En pompage solaire **Q est exprimé en M3/J**

-Besoins en eau : m³/j

Humains

Besoins en eau

Tête Habitant

10 à 50l /j

Animaux

Boeuf

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

60 m³/jour/ha

Riz

100 m³/jour/ha

Graines

45 m³/jour/ha

Canne à sucre

65 m³/jour/ha

Coton

55 m³/jour/ha

-Normes pour le calcul des besoins en eau:

-la norme relative à la quantité minimale pour la survie;

- Norme Organismes de financement: 20 l/jour /personne (bétail et maraîchage non inclus);

-Norme Développement Economique :**50 l/j /personne, incluant:**

-20 l/jour/personne : pour les besoins personnels,

-20 l/jour/personne : 0,5 tête de bétail par personne,

-10 l/jour/personne : 2 m² de maraîchage par personne.

-Disponibilité de l'eau

-Connaissance du point d'eau

-Capacité de production d'eau (facteur limitant)

-Détermination disponibilité de l'eau (*mesurer diamètre du puits ou du forage, mesure niveau statique et le niveau dynamique (Essai de débit). Mesure la qualité de l'eau*)

2.2-Hauteur manométrique totale (HMT)

HMT d'une pompe = Différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement.

*Calcul HMT:

$$HMT = H_g + P_c$$

Où

H_g = hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation ($H_r + N_d$).

P_c = pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois de conduites. Ces pertes sont en fonction de la distance des conduites (D), de leur diamètre (d_c) et du débit de la pompe (Q) et s'expriment en mètres d'eau .

-Niveau statique(N_s)

N_s d'un puits ou d'un forage = la distance du sol à la surface de l'eau avant pompage.

-Niveau dynamique(N_d)

N_d d'un puits ou d'un forage = distance du sol à la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné

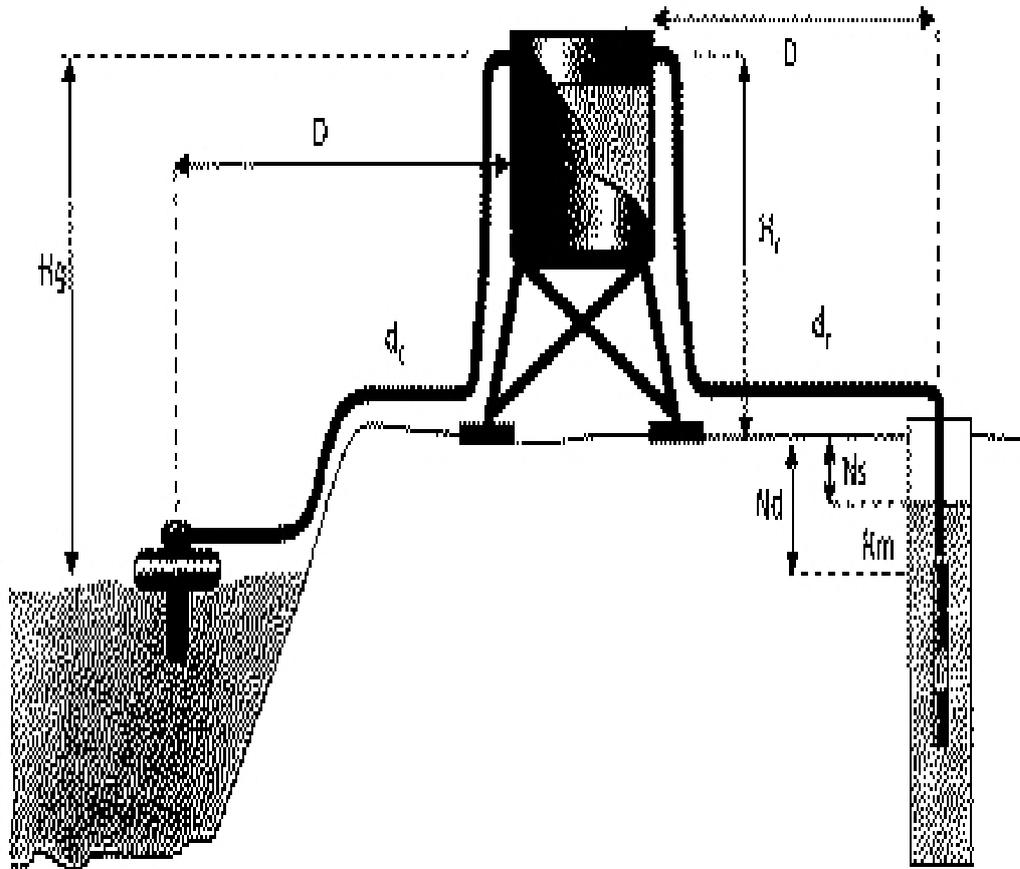
(Pour le calcul de la HMT, le niveau- dynamique est calculé pour un débit moyen.)

-Rabatement (R_m)

R_m d'un puits ou d'un forage = Différence entre le niveau dynamique (N_d) et le niveau statique(N_s)

(R_m est le rabattement maximal acceptable avant de stopper la pompe)

Figure 13
Données de base d'une pompe



3-Dimensionnement

3.1 Estimation des données de base

Trois facteurs importants à déterminer soigneusement :

- Déterminer les besoins en eau, (Q :m³/j)

- Déterminer les besoins journaliers en eau durant période de besoins maximal. (le forage doit être capable de remplir ces conditions d'exploitation;)

-Déterminer la HMT

- Mesurer le niveau statique, le rabattement maximal, la hauteur du réservoir et les pertes de charge dues à la tuyauterie

-Déterminer le rayonnement optimum

- .Recueillir les données sur l'ensoleillement mensuel moyen selon différentes inclinaisons du champ.
- .Recueillir les données sur les moyennes mensuelles de température ambiante.

3.2-Calcul des paramètres électriques

Trois paramètres essentiels à déterminer :

-Déterminer les paramètres du système

- .Rendement du groupe motopompe choisi
- .Arrêter la configuration du système (type de pompe, moteur, etc.).

-Déterminer l'énergie électrique requise

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

$$E_{elec} = \frac{\text{Constante hydraulique} \times \text{débit journalier} \times \text{HMT}}{\text{Rendement du Groupe Motopompe}}$$

$$E_{elec} = \frac{CH \cdot Q \text{ (m}^3\text{/j)} \cdot \text{HMT (m)}}{R_{mp}}$$

où

Eelec. est habituellement exprimée en **kwh**

$$CH = g \cdot \varnothing = \frac{9,81(\text{m.s}^2) \cdot 10^3(\text{kg/m}^3)}{3600 \text{ (s/h)}} = \frac{2,725 \text{ kg.s.h}}{\text{m}^2}$$

où

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

ρ = densité de l'eau (1000 kg/ m³)

R_p = rendement des groupes motopompe évalué 30% à 45%, selon le type de pompe et de moteur.

-Déterminer la Puissance du G.S nécessaire :

La puissance (P) d'un générateur solaire photovoltaïque nécessaire pour produire une certaine quantité d'eau (Q) par un groupe Moto-pompe d'un rendement donné sur une certaine hauteur H sous un rayonnement solaire minimum donné est calculée comme suit :

$$\text{P.G.solaire} = \frac{\text{Energie électrique (Eelec)}}{\text{Ensoleillement moyen} \cdot (1 - \text{Pertes électriques}^*)}$$

(w ou Kw)

(*) : généralement de l'ordre de 20%

Etude de cas

Projet : Alimentation d'un village aux environs Marrakech

-Nature de l'ouvrage :

- *Puits circulaire,
- *Débit d'exploitation 3l/s

-Données générales :

- *50 familles (500 habitants)
- *300 têtes de cheptel (Ovins)
- *100 têtes gros bétail

-Données infrastructure hydraulique

- *Profondeur totale : 30m
- *Niveau statique : 15m
- *Niveau dynamique : 20m
- *Hauteur réservoir : 5m
- *Dénivelé : 2m

-Calcul du besoin en eau (Q)

- Eau domestique

Famille	Nb / Fam	litres / pers.	Total (m ³ /j)
50	10	20	10

- Bétail

Type	Tête	litres / tête	Total (m ³ /j)
Ovins	300	20	6
G.Betail	100	30	3

- Maraîchage

Type	Surface	m ³ /j / hect.	Total (m ³ /j)
	0	0	0

Besoin Total quotidien

19m³/J

-Détermination de la HMT

Niv. Statique 12m	Niv.Dynam. 24m	Rabatt. 12 m	H.Réserv. 3 m	Dénivelé 2m
----------------------	-------------------	-----------------	------------------	----------------

$$\begin{aligned}
 \mathbf{HMT} &= \mathbf{Nd + Hr + Dénivelé+(1-Pc)} \\
 &= \mathbf{24 + 3 + 2 + 0.9 = 30m}
 \end{aligned}$$

-Détermination de l'énergie électrique (Eelec).

Q/J
19m3/j

HMT
30m

Rmp
0.45

$$E_{elec} = \frac{2,725 \cdot Q \text{ (m}^3\text{/j)} \cdot \text{HMT (m)}}{R_p} = 3451 \text{ Wh}$$

(Charge moyenne quotidienne = 3451 watt-heures).

-Calcul rayonnement de référence :

	Temp	Ensol Horiz.	Ensol. lat.+0°	Heure max.
Mois	°C	kwh/m ²	kwh/m ²	Heures
Janvier	24.7	3.45	5.09	5.09
Février	27.9	4.19	5.44	5.44
Mars	31.0	5.16	5.84	5.84
Avril	32.3	5.98	5.96	5.96
Mai	31.4	6.67	6.10	6.10
Juin	28.9	7.34	6.45	6.45
Juillet	27.2	7.58	6.76	6.76
Août	26.2	7.01	6.72	6.72
Septembre	26.7	5.90	6.35	6.35
Octobre	28.9	4.62	5.73	5.73
Novembre	27.8	3.58	5.08	5.08
Décembre	25.6	3.19	4.75	4.75
<i>Moyenne :</i>		<i>5.39</i>	<i>5.85</i>	<i>5.85</i>

-Choix inclinaison optimale

Inclinaison donnant la plus grande moyenne annuelle
Cas de notre étude Latitude +10°

-Détermination période de référence

le nombre moyen d'heures de soleil maximal le plus faible pour cette
inclinaison : dans notre cas décembre = 4.5h

-Calcul de la puissance du G.S

En supposant des pertes de 20 % attribuables à la température et à la poussière, la dimension théorique de celui - ci sera de:

$$W_c = \frac{E_{elec}}{\text{Ensoleil Réf.* (1 - pertes)}}$$

$$= 3451 / 4.75 \times 0.8 = 908 \text{ W}$$

-Récapitulatif

- le point de fonctionnement du champ serait autour de **105 volts** à cause des caractéristiques de l'onduleur,
- le champ sera composé de multiples de **7 modules en série** (V_m se situant à **15 Volts** pour la plupart des modules à 60°C).
- La puissance du générateur étant de **908 Wc**, I_m sera donc d'environ **9.08 A**.
Le choix du type de module déterminera le nombre de modules en parallèle. (Par exemple, un module d'une intensité maximale d'environ **3 A** ou une puissance de l'ordre de **45 Wc** :

**Donc un générateur solaire de 3 rangées en parallèle
chacune de 7 modules en série)**

Eelec.	Ensol.	Pertes	P ;champ	Tension	Intensité	Config
Wh	Heures	%	Wc	V	I	S x P
3451	4.75	20	908	100	9.08	7 x 3

Correction

Le champ aura donc une puissance de **945 Wc** et sera composé de **7 modules** de **45 Wc** chacun .

-Points importants à considérer lors du choix d'une pompe solaire

- Prévoir installation interrupteur niveau d'eau (protection fonctionnement a sec du GMP)
- Nécessité d'effectuer des essais de débit
- Opter pour des moteurs CA
- Suivre le fonctionnement du système (débit moyen , taux de couverture , rendement système
- Formation et sensibilisation utilisateurs