

# **Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque**

# METHODE SIMPLE DE DIMENSIONNEMENT

Les différentes étapes pour le dimensionnement d'un système de pompage sont :

- Evaluation des besoins en eau
- Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire
- Détermination de l'énergie solaire disponible
- Choix des composants.

# 1 Evaluation des besoins en eau

- La détermination des besoins en eau pour la consommation d'une population donnée dépend essentiellement de son mode de vie.
- Les besoins en eau que l'on estime nécessaires pour les zones rurales des pays pauvres sont de l'ordre de 20 litres par personne et 30 litres par tête de bétail.
- Les besoins d'eau pour l'irrigation dépendent du type de culture, des facteurs météorologiques comme la température, l'humidité, la vitesse du vent, l'évapotranspiration du sol, la saison de l'année considérée et de la méthode d'irrigation. Cependant, il est important de se baser sur la pratique et l'expérience locale.
- La capacité du réservoir sera déterminée selon les besoins en eau journalières et l'autonomie requise du système.

## 2 Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire

Une fois définies les besoins nécessaires en volume d'eau pour chaque mois de l'année et les caractéristiques du puits, nous pouvons calculer l'énergie hydraulique moyenne journalière et mensuelle nécessaire à partir de la relation :

$$E_h = g \rho_a V_a h / 3600$$

où

$E_h$  : énergie hydraulique (Wh/jour)       $h$  : hauteur totale (m)

$V_a$  : volume d'eau (m<sup>3</sup>/jour)       $\rho_a$  : densité de l'eau (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : accélération de la pesanteur (9,81m/s<sup>2</sup>)

Durant le processus de pompage, le niveau d'eau à l'intérieur du puits tend à baisser, jusqu'à ce que la vitesse avec laquelle la régénération du puits arrive à équilibrer la quantité pour que l'on puisse pomper l'eau de nouveau. L'abaissement du niveau d'eau dans le puits dépend d'un certain nombre de facteurs, comme le type et la perméabilité du sol et l'épaisseur de l'aquifère.

La hauteur totale de pompage est la somme de la hauteur statique et de la hauteur dynamique :  $h = h_s + h_d$  (2)

Dans le cas de puits qui présentent des variations importantes du niveau d'eau en fonction du débit, on peut ajouter un terme correctif et cette équation devient :

$$h = h_s + h_d + \left( \frac{h_d - h_s}{Q_p} \right) Q_A$$

où

$h_s$  : niveau statique (m)

$h_d$  : niveau dynamique (m)

$Q_p$  : débit d'essai ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$Q_A$  : débit apparent ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

La hauteur statique  $h_s$  est la distance entre le niveau statique de l'eau dans le puits jusqu'au point le plus élevé auquel on doit pomper l'eau.

- La hauteur dynamique  $h_d$  représente les pertes d'eau dans la tuyauterie. La formule de Darcy-Weisbach [6] permet le calcul de la hauteur dynamique :

$f$  : coefficient de friction des parois  
de la tuyauterie

$L$  : longueur de la tuyauterie (m)

$g$  : accélération de la pesanteur ( $m/s^2$ )

$v$  : vitesse moyenne du fluide (m/s)

$D$  : diamètre de la tuyauterie (m)

$g$  : accélération de la pesanteur ( $m/s^2$ )

$$h_d = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

- Dans le cas où le système de tuyauterie aurait un autre type d'accessoires (vannes, coudes, tés, jonctions, ... ), nous pouvons calculer les pertes de charge dans chaque élément
- additionnel comme : 
$$h_d = K_{ac} \frac{v^2}{2g}$$
- où  $K_{ac}$  est un coefficient dépendant du type d'accessoire. Dans le tableau 1, on donne une
- série de valeurs de  $K_{ac}$  pour différents accessoires.

**Tableau 1:** Coefficient  $K_{ac}$  pour différents types d'accessoires dans la tuyauterie

Accessoire	Coefficient $K_{ac}$
Jonction du réservoir à tuyauterie connexion au ras de la paroi	0,5
Jonction de tuyauterie au réservoir	1,0
Coude 45°	0,35 à 0,45
Coude 90°	0,50 à 0,75
Tés	1,50 à 2,00
Vannes de contrôle (ouverte)	3,0

Vannes de contrôle (ouverte)

3,0

Tés

1,50 à 2,00

Coude 90°

0,50 à 0,75



### **3 Détermination de l'énergie solaire disponible**

La méthode de dimensionnement utilisée est basée sur les calculs des valeurs moyennes journalières mensuelles de l'irradiation solaire disponible et de l'énergie hydraulique nécessaire.

### **4 Inclinaison du générateur photovoltaïque**

L'inclinaison  $\beta$  des modules photovoltaïques (PV) par rapport au plan horizontal doit se faire de manière à optimiser le rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire.

### **5 Mois de dimensionnement**

Le mois de dimensionnement sera le mois le plus défavorable, c'est-à-dire celui dont le rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire soit minimum. Comme idée de principe, à chaque inclinaison  $\beta$ , correspond un mois le plus défavorable.

Le mois de dimensionnement à l'inclinaison optimale sera précisément celui qui présente le plus petit rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique. L'irradiation solaire

$G_{dm}(\beta)$  et l'énergie hydraulique nécessaire  $E_h$  correspondantes à ce mois serviront pour le choix des composantes du système.

# 6 Dimensionnement du générateur photovoltaïque

La puissance de sortie d'un générateur photovoltaïque sous les conditions standards de mesure, CSM, (éclairage  $G_{ce} = 1000 \text{ W/m}^2$  et température de cellule  $T_{c,ref} = 25 \text{ °C}$ ) [8] est :

$$P_p = \eta_g A G_{ce}$$

où

$P_p$  : puissance de sortie sous CSM (W)

$\eta_g$  : rendement du générateur à la température de référence (25 °C)

$A$  : surface active du générateur ( $\text{m}^2$ )

$G_{ce}$  : éclairage dans les CSM ( $1000 \text{ W/m}^2$ )

L'énergie électrique journalière,  $E_e$ , est donnée par :

$$E_e = \eta_{PV} A G_{dm} (\beta)$$

où

$\eta_{PV}$  : rendement moyen journalier du générateur dans les conditions d'exploitation

$G_{dm} (\beta)$  : irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison  $\beta$  ( $\text{kWh/m}^2/\text{jour}$ ).

Le rendement  $\eta_{PV}$  peut être calculé à l'aide de l'expression :

$$\eta_{PV} = F_m \left[ 1 - \gamma (T_c - T_{c,ref}) \right] \eta_g$$

où  $F_m$  : facteur de couplage, défini comme le rapport entre l'énergie électrique générée sous les conditions d'exploitation et l'énergie électrique qui se générerait si le système travaillait au point de puissance maximum.

$\gamma$  : coefficient de température des cellules.  $\gamma$  prend des valeurs entre 0,004 et 0.005 /°C pour des modules au silicium mono et polycristallin, et entre 0,001 et 0,002 pour des modules au silicium amorphe.

$T_c$  : température moyenne journalière des cellules durant les heures d'ensoleillement.

L'énergie électrique nécessaire est liée avec l'énergie hydraulique par l'expression :

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{MP}}$$

où  $E_h$  : énergie hydraulique moyenne mensuelle (kWh)  
 $\eta_{MB}$  : rendement du sous-système moteur-pompe.

Ainsi la puissance crête du générateur :

$$P_P = \frac{G_{ce}}{F_m \left[ 1 - \gamma (T_c - T_{c,ref}) \right] G_{dm}(\beta)} \frac{E_h}{\eta_{MB}}$$

# 7 Dimensionnement de la pompe

- Le débit crête  $Q$  (m<sup>3</sup>/h) est calculé par la relation :

$$Q = \frac{3.6 P_h}{g h}$$

où

$P_h$  : puissance hydraulique nécessaire (W)

$g$  : accélération de la pesanteur  
(9.81m/s<sup>2</sup>)

$h$  : hauteur manométrique totale (m)

- La puissance hydraulique crête ( $P_h$ ) nécessaire en fonction de la puissance électrique crête fournie par le générateur photovoltaïque ( $P_e$ ) est donnée par :  $P_h = P_e \eta_{MB}$

où  $\eta_{MB}$  : rendement crête du sous-système moteur-pompe.

# 8 Dimensionnement des tuyauteries

Le diamètre des tuyauteries peut être estimé en utilisant des tableaux ou des graphes qui expriment les pertes par frottements en fonction du débit pour chaque diamètre de la tuyauterie.

En pratique, il se présente le problème de fixer la hauteur dynamique  $h_d$  pour des considérations économiques. En effet, si nous augmentons le diamètre  $D$  de la tuyauterie,  $h_d$  diminue. Economiquement parlant, une augmentation de  $D$  suppose une augmentation des dépenses d'installation, mais en même temps une diminution des pertes d'énergie.

Le diamètre le plus économique sera celui qui réduit au minimum la somme des coûts de la tuyauterie et de l'énergie perdue par frottements [9]. Il est possible d'obtenir analytiquement

les diamètres des tuyauteries de pompage qui s'approximent à ceux qui minimisent les coûts des installations par la formule de Bresse [7] :

$$D = K \sqrt{Q}$$

D : diamètre de la tuyauterie (m)

K : coefficient qui varie de 0,75 à 1,40

Q : débit crête de la pompe (m<sup>3</sup>/s)

L'équation de continuité est :

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} v$$

Choisir la valeur K équivaut à fixer la vitesse moyenne du fluide( v ). Enfin en substituant dans l'équation de continuité la valeur de Q prise de la formule de Bresse, nous avons :

$$v = \frac{4}{\pi K^2}$$

Quelque soit la formule employée, les diamètres obtenus diffèrent fréquemment des diamètres commerciaux. Il suffit de prendre la valeur du diamètre commercial le plus proche et d'ajouter les calculs en conséquence.