



Systèmes d'adduction d'eau par l'énergie solaire



Guide de conception
et d'installation



Global
Water
CENTER



unicef



water
mission®



INTRODUCTION



A. INTRODUCTION

1. Général

1. Portée

Ce document fournit des instructions détaillées sur tous les sujets techniques relatifs à la conception et à l'installation des systèmes d'adduction d'eau par l'énergie solaire dans le contexte de l'approvisionnement en eau en milieu rural. La création de ce document est motivée par la volonté de permettre aux acteurs de comprendre quelles sont les normes internationales applicables et comment elles peuvent être mises en application.

La base technique de ce document est la Norme internationale 62253 de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI), Systèmes de pompage photovoltaïques – Qualification de la conception et mesures de performance. Ce document vise à montrer au lecteur comment satisfaire aux exigences des normes CEI. Des normes CEI supplémentaires pertinentes pour ce document d'orientation sont énumérées en **2.1. Conformité du système d'eau**.

Ce document ne traite pas de tous les sujets relatifs au développement des eaux souterraines et aux meilleures pratiques en matière de forage, car ces sujets ont déjà été traités en profondeur (l'UNICEF / Fondation Skat, 2018).

Ce document suppose que l'alimentation de la pompe et du moteur est uniquement fournie par un système d'énergie solaire. Ce document n'inclut pas les sources d'énergie secondaire (réseau AC ou générateur) ou le stockage d'énergie (batterie).

2. Auteur

Ce document d'orientation est rédigé par Water Mission — Engineering & Innovation Department, Charleston, Caroline du Sud, États-Unis (watermission.org), dans le cadre d'un accord de coopération avec la Division des Programmes du siège de l'UNICEF EHA.

Cette publication peut être reproduite en entier ou en partie et sous quelque forme que ce soit à des fins éducatives ou à but non lucratif sans autorisation spéciale de l'UNICEF et de Water Mission, à condition que la source soit dûment reconnue. L'UNICEF et Water Mission apprécieraient de recevoir un exemplaire de toute publication utilisant cette publication comme source. Aucune utilisation de cette publication ne peut être faite pour la revente ou à toute autre fin commerciale sans l'autorisation écrite préalable de l'UNICEF et de Water Mission. Cette publication est un guide et les informations qui y sont fournies doivent être utilisées à titre indicatif et sans aucune garantie d'exactitude ou d'exhaustivité. Toute utilisation du contenu fourni ici est au risque de l'utilisateur. La désignation d'entités géographiques dans ce rapport, et la présentation du matériel ici, n'impliquent l'expression d'aucune opinion de la part de l'éditeur ou des organisations participantes concernant le statut juridique du pays, territoire ou région, ou autorités, ou concernant la délimitation de ses frontières ou limites.

Des remerciements sont particulièrement adressés aux organisations suivantes pour avoir examiné et fourni des informations précieuses sur le contenu de ce document: Global Solar and Water Initiative, IOM, Oxfam, Practica Foundation, Université du Texas à Austin.

Les versions traduites en espagnol et en français de ce document ont été rendues possibles grâce à la générosité et au soutien du Global Water Center, Global Solar Water Initiative, et du USAID Bureau for Humanitarian Assistance.

D'autres documents et instructions seront bientôt disponibles, notamment des exemples de termes de référence, des exemples de liste matériels avec leurs nomenclature et leurs guides d'installations, des exemples de conception avancée et des études de cas de diverses régions du monde. Au fur et à mesure que ces documents seront disponibles, ils seront accessibles à travers les canaux similaires où ce guide est disponible.

1.3. Table des matières

A. INTRODUCTION

| | | |
|------|--------------------------|---|
| 1. | Général | 3 |
| 1.1. | Portée | 3 |
| 1.2. | Auteur..... | 3 |
| 1.3. | Table des matières | 4 |
| 1.4. | Définitions..... | 7 |

B. LA CONCEPTION

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 2. | Critères de conception..... | 11 |
| 2.1. | Conformité du système d'eau..... | 11 |
| 2.2. | Demande quotidienne en eau du projet | 13 |
| 2.2.1. | Population de la zone de service | 13 |
| 2.2.1.1. | Types de population — Les ménages | 13 |
| 2.2.2. | Autres utilisations quotidiennes de l'eau..... | 14 |
| 2.2.3. | Domaine d'utilisation de l'eau | 14 |
| 2.2.4. | Prédire la demande individuelle | 19 |
| 2.2.4.1. | Demande maximale lors de la mise en service du système | 20 |
| 2.2.4.2. | Demande anticipée lors de la mise en service du système..... | 20 |
| 2.2.4.3. | Demande anticipée | 20 |
| 2.2.5. | Pertes d'eau du système | 21 |
| 2.2.6. | Exigences de conception | 21 |
| 2.3. | Source d'eau | 25 |
| 2.3.1. | Rendement à la source | 25 |
| 2.3.1.1. | Rendement à la source d'eau d'un forage | 25 |
| 2.3.1.1.1. | Comprendre le rabattement des eaux..... | 27 |
| 2.3.1.1.2. | Essai de rendement maximal des forages | 28 |
| 2.3.1.1.2.1. | Description..... | 28 |
| 2.3.1.1.2.2. | Procédure de test | 28 |
| 2.3.1.1.3. | Options de test de rendement de forage | 30 |
| 2.3.1.2. | Rendement d'une source d'eau de surface | 32 |
| 2.3.1.3. | Rendement durable ou rendement admissible | 32 |
| 2.3.2. | Conditions de source | 33 |
| 2.3.2.1. | Conditions de forage | 33 |
| 2.3.2.2. | Élévation de la source d'eau | 33 |
| 2.3.2.3. | La qualité d'eau | 33 |
| 2.3.2.4. | Conditions géographiques | 35 |
| 2.4. | Le design du système d'aduction d'eau | 35 |
| 2.5. | Emplacement du projet..... | 36 |
| 2.5.1. | Heures de la journée et données d'irradiation pour l'emplacement du projet | 36 |
| 2.5.2. | Données de température et d'irradiation pour l'emplacement du projet | 37 |
| 2.5.3. | Données mensuelles de température et d'irradiation..... | 38 |
| 3. | Sélection de la pompe et du moteur (ou sélection de l'ensemble de pompe photovoltaïque) | 39 |
| 3.1. | Débit de conception..... | 39 |
| 3.1.1. | Complément énergétique..... | 40 |
| 3.2. | Sélection de la pompe et du moteur (ou sélection de l'ensemble de pompe photovoltaïque)..... | 40 |
| 3.2.1. | Types de pompe en fonction de la source d'eau..... | 40 |
| 3.2.1.1. | Source d'eau souterraine..... | 40 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.2.1.2. | Source d'eau de surface..... | 41 |
| 3.2.2. | La courbe de performance d'une pompe..... | 41 |
| 3.2.2.1. | Sélection d'une pompe à courant alternatif à l'aide d'une courbe de pompe traditionnelle | 41 |
| 3.2.2.2. | La sélection d'une pompe à l'aide des courbes de performance de la pompe solaire | 42 |
| 3.2.2.3. | Logiciel de dimensionnement du fabricant | 44 |
| 3.3. | Puissance requise | 44 |
| 3.3.1. | Puissance requise par le moteur de la pompe | 44 |
| 3.3.2. | Puissance requise par l'onduleur | 44 |
| 3.4. | Spécifications du fabricant | 44 |
| 3.4.1. | Le moteur..... | 44 |
| 3.4.2. | L'onduleur..... | 44 |
| 3.5. | Équipement de la pompe auxiliaire et du moteur | 44 |
| 3.5.1. | Unités de contrôle | 46 |
| 3.5.2. | Onduleurs..... | 46 |
| 3.5.3. | Interrupteurs à flotteur | 46 |
| 3.5.4. | Interrupteur / capteur de marche à sec | 47 |
| 3.6. | Conception de l'installation de la pompe et du moteur | 47 |
| 4. | Conception du système photovoltaïque..... | 47 |
| 4.1. | Conception du champ solaire..... | 47 |
| 4.1.1. | Sélection du panneau solaire | 49 |
| 4.1.1.1. | Calcul des performances estimées d'un panneau pour l'emplacement du projet | 50 |
| 4.1.2. | Configuration du champ solaire..... | 51 |
| 4.1.3. | Pertes de puissance | 52 |
| 4.1.4. | Vérification de la puissance fournie..... | 55 |
| 4.1.5. | Vérification de la tension et de l'ampérage fournis | 55 |
| 4.2. | Autres exigences d'installation..... | 55 |
| 4.2.1. | Angle d'inclinaison du champ solaire | 55 |
| 4.2.2. | Orientation du champ solaire..... | 57 |
| 4.3. | Exigences relatives aux câbles électriques | 57 |
| 4.3.1. | Des panneaux solaires à la pompe | 57 |
| 4.3.2. | Mise à la terre | 58 |
| 4.4. | L'identification des composants supplémentaires du champ solaire | 58 |
| 4.4.1. | Les disjoncteurs et les sectionneurs | 58 |
| 4.4.2. | Boîte de jonction..... | 58 |
| 4.5. | Conception du système de montage photovoltaïque | 58 |
| 4.5.1. | Conception du support structurel (rack solaire)..... | 59 |
| 4.5.2. | Autres considérations relatives à la conception du rack solaire..... | 59 |
| 4.5.3. | Sécurité des panneaux solaires | 60 |
| 4.6. | Emplacement du champ solaire | 60 |
| 4.7. | L'entretien de champ solaire..... | 60 |
| 4.8. | Vérification de la conception du système par rapport à la demande quotidienne en eau du projet | 61 |
| 5. | Stockage d'eau | 75 |
| 5.1. | Considérations relatives au stockage d'eau | 75 |
| 5.2. | Volume du réservoir de stockage d'eau | 77 |
| 5.3. | Conception du support de réservoir | 77 |
| 6. | Dossier de conception | 77 |

C. INSTALLATION

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 7. | Sécurité de l'installation et de la construction..... | 79 |
| 7.1. | Sécurité électrique | 79 |
| 7.2 | Sécurité au travail en hauteur..... | 79 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 8. | Supervision et inspection | 79 |
| 9. | Installation du système d'eau..... | 80 |
| 9.1. | Tous les composants du système..... | 80 |
| 9.2. | Canalisations..... | 81 |
| 10. | Installation de la pompe et du moteur..... | 81 |
| 10.1. | Installation de la pompe et du moteur | 81 |
| 10.2. | Installation de la pompe | 81 |
| 10.2.1. | Source d'eau | 81 |
| 10.2.1.1. | Rendement à la source | 81 |
| 10.2.1.2. | Protection de la source | 82 |
| 10.2.2. | Exigences d'installation de la pompe et du moteur | 82 |
| 10.3. | Installation des équipements auxiliaires..... | 82 |
| 10.4. | Câblage des équipements auxiliaires | 83 |
| 11. | Installation et construction du système PV | 85 |
| 11.1. | Module solaire | 85 |
| 11.2. | Champ solaire..... | 85 |
| 11.3. | Câblage du champ solaire | 85 |
| 11.4. | Composants supplémentaires du champ solaire | 86 |
| 11.5. | Support structurel (rack solaire)..... | 86 |
| 12. | Construction du stockage d'eau | 87 |
| 12.1. | Installation du réservoir de stockage..... | 87 |
| 12.2. | Construction de la structure de support du réservoir | 87 |

D. MISE EN SERVICE

| | | |
|------------|---|-----------|
| 13. | Vérification du système | 89 |
| 13.1. | Vérification du système photovoltaïque..... | 89 |
| 14. | Documentation..... | 89 |
| 15. | Informations sur le remplacement des équipements ou les pièces de rechange | 90 |

E. SUJETS SUPPLÉMENTAIRES

| | | |
|------------|---|-----------|
| 16. | Introduction à l'exploitation et à la maintenance des systèmes d'adduction d'eau par l'énergie solaire | 90 |
| 17. | Systèmes d'adduction d'eau par l'énergie solaire dans les interventions humanitaires en cas de catastrophe | 91 |
| F. | RÉFÉRENCES | 92 |
| G. | AUTRES RESSOURCES CONCERNANT LES SYSTÈMES ALIMENTÉS À L'ÉNERGIE SOLAIRE | 93 |
| H. | Annexes | 95 |
| a. | Annexe A..... | 95 |
| b. | Annexe B..... | 96 |
| c. | Annexe C | 99 |
| d. | Annexe D | 108 |
| e. | Annexe E..... | 109 |
| f. | Annexe F | 114 |
| g. | Annexe G | 114 |
| h. | Annexe H | 120 |



1.4. Définitions

l'ingénieur de conception responsable du projet: La personne ou l'entité (comme dans une firme d'ingénierie), responsable de la partie de la conception pour laquelle il ou elle assume la responsabilité officielle par signature, cachet ou sceau professionnel et / ou tout autre moyen légalement reconnu. L'ingénieur attitré peut également être appelé ingénieur concepteur ou ingénieur consultant.

CEI: Commission Électrotechnique Internationale

Irradiation incidente: L'irradiation reçue par unité de surface, inclinée ou plate, qui varie en fonction de l'angle d'inclinaison de la surface.

Onduleur: Un appareil qui convertit l'électricité en courant continu (CC) en électricité en courant alternatif (AC). L'appareil est également appelé convertisseur PV.

Irradiation: La somme des irradiations incidentes à un endroit donné sur terre pendant une journée solaire (donnée en unités de kWh / m² / jour).

NEC: Code National Électrique (États-Unis)

NOCT: température nominale d'utilisation des cellules, mesurée à un rayonnement de 800 W / m² et une température ambiante de 20°C

Système photovoltaïque (PV): convertit l'irradiation (énergie solaire) du soleil en électricité.

Ensemble de pompe photovoltaïque: Une autre façon de se référer à une combinaison pompe et moteur.

Générateur solaire (ou champ photovoltaïque): Une configuration de panneaux solaires disposés et câblés ensemble pour produire de la puissance en une seule unité.

Système de montage photovoltaïque: système structurel conçu et construit pour supporter le générateur solaire selon les conditions de conception.

Irradiance solaire: la puissance par unité de surface reçue par le soleil (le soleil émet en moyenne 1 367 joules par seconde par mètre carré de surface, et de cela, un maximum d'environ 1 000 watts par mètre carré (W / m²) atteint la surface de la terre).

Panneaux solaires: panneaux qui utilisent la lumière du soleil (ou l'énergie lumineuse du soleil) pour produire de l'électricité. Les panneaux solaires sont également appelés modules ou générateurs photovoltaïques (ou modules ou générateurs photovoltaïques) ou une combinaison de ces termes (tels que panneaux photovoltaïques solaires ou panneaux solaires photovoltaïques).

Pompe solaire: ce terme fait généralement référence aux pompes qui ont un contrôleur, un moteur et une pompe intégrés dans une seule unité pouvant accepter l'alimentation en CC. Cependant, certaines unités appelées «pompes solaires» n'ont pas de commandes de pompe intégrées. Il convient également de reconnaître que ces pompes peuvent accepter n'importe quel type d'entrée d'alimentation CC et non solaire exclusivement.

STC: Conditions d'essai standard, définies comme une température de cellule de 25 ° C, un rayonnement de 1 000 W / m² et un coefficient de masse d'air de 1,5 (AM1,5) (référence CEI 61215).

Angle d'inclinaison: angle d'inclinaison des panneaux solaires par rapport à l'horizontale.

HMT: La hauteur manométrique totale est la hauteur d'élévation totale (y compris la résistance hydraulique) requise de la pompe dans le système d'alimentation en eau. La pompe y parvient en appliquant une pression (ou énergie par unité de volume) sur l'eau du système.

Système d'adduction d'eau par l'énergie solaire

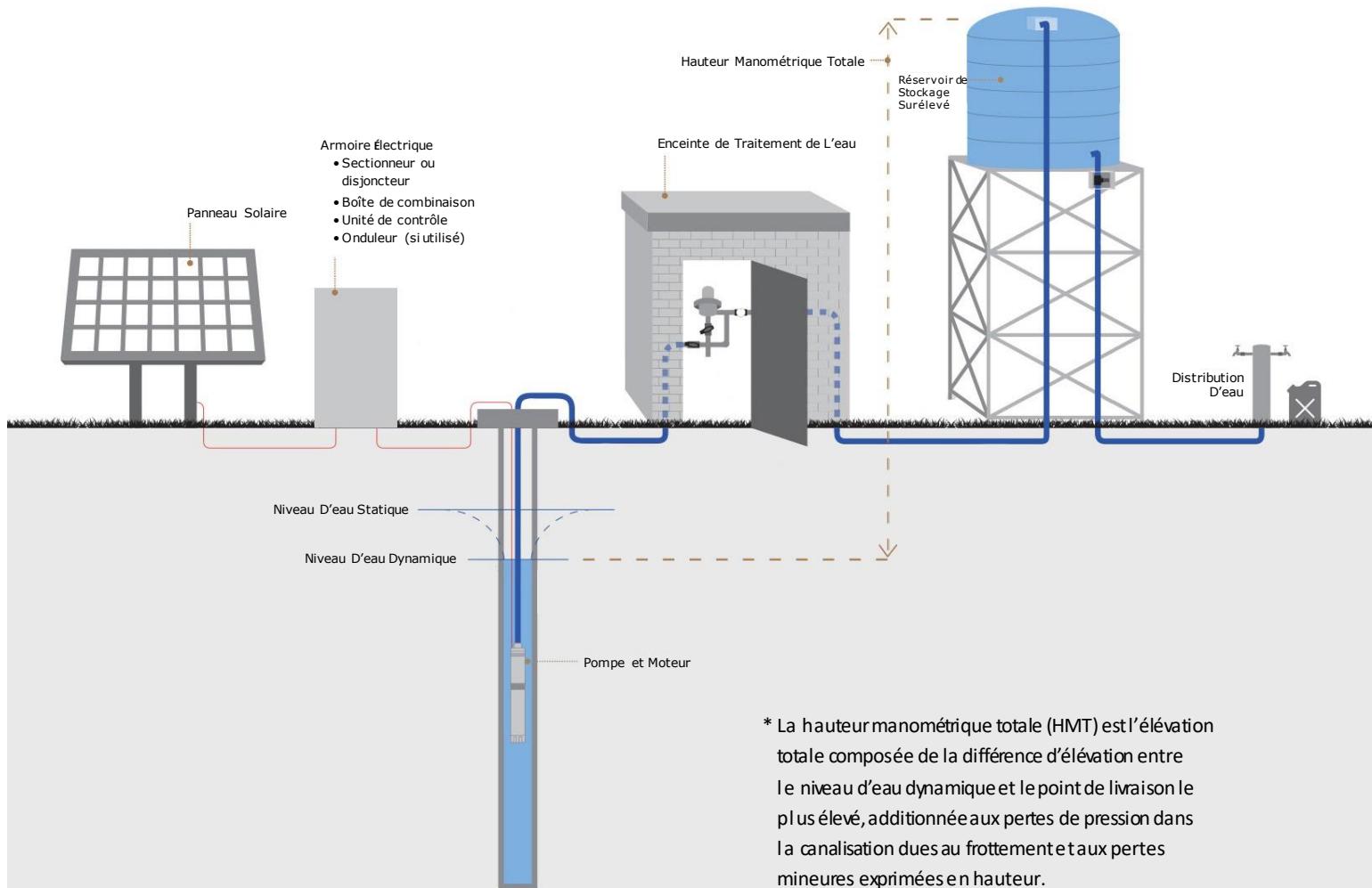


Figure 1.4 – Système d'adduction d'eau par l'énergie solaire

ÉTAPES DE BASE DE LA CONCEPTION D'UN SYSTÈME D'EAU SOLAIRE

La conception d'un système d'alimentation en eau à partir de l'énergie solaire comprend cinq étapes de base.

ÉTAPE 1 | Calculer la demande quotidienne en eau pour le projet.

| | |
|---|--|
| Référence dans le document d'orientation: | 2.2. Demande quotidienne en eau du projet |
| Question à laquelle il faut répondre: | Quelle sera la demande en eau à laquelle le système devra répondre |

ÉTAPE 2 | Déterminer le rendement de la source d'eau disponible pour le système d'eau solaire.

| | |
|---|---|
| Référence dans le document d'orientation: | 2.3. Source d'eau |
| Question à laquelle il faut répondre: | Le rendement de la source d'eau satisfait-il ou dépasse-t-il la demande calculée à l'étape 1? |

ÉTAPE 3 | Déterminer la hauteur manométrique totale (HMT) du système d'eau au débit de conception choisi.

| | |
|---|---|
| Référence dans le document d'orientation: | 2.4 Le design du système d'aduction d'eau 3.1. Débit de conception |
| Question à laquelle il faut répondre: | Quels sont le débit nominal et la HMT que la pompe devra respecter? |

ÉTAPE 4 | Sélection d'une pompe et d'un moteur.

| | |
|---|--|
| Référence dans le document d'orientation: | 2. Sélection de pompe et de moteur (ou sélection de l'ensemble de pompe photovoltaïque) 3. Puissance requise 4. Spécifications du fabricant |
| Question à laquelle il faut répondre: | Quelles sont les exigences de puissance du moteur de pompe pour atteindre les performances souhaitées? |

ÉTAPE 5 | Conception le système PV.

| | |
|---|---|
| Référence dans le document d'orientation: | 4. Conception du système photovoltaïque |
| Question à laquelle il faut répondre: | Comment le système solaire devra-t-il être configuré pour fournir la puissance requise par le moteur de la pompe? |

Comme le montre ce document, chaque système peut avoir des considérations spécifiques qui doivent être prises en compte dans les détails de conception du système. Cependant, ces cinq étapes constituent les principaux éléments constitutifs de chaque système, et aucune conception de système d'eau à énergie solaire n'est complète sans eux.



LA CONCEPTION



B. LA CONCEPTION

2. Critères de conception

1. Conformité du système d'eau

La conception et la construction de tout système d'alimentation en eau (quelle que soit la source d'alimentation du système) doivent être réalisées en totale conformité avec tous les codes, normes et règlements des entités gouvernantes qui ont une juridiction exécutoire sur l'emplacement où le système d'eau sera installé. En tant que tel, ce guide ne doit en aucun cas être utilisé pour contourner tel code, norme, ou règlement. Ce guide couvre les sujets de conception et de construction liés aux systèmes d'alimentation en eau à énergie solaire, il convient donc de noter que la conformité avec les entités gouvernantes locales ira au-delà des sujets se rapportant uniquement à l'eau et inclura donc également les codes, normes et réglementations électriques.

Toutes les normes internationales relatives au photovoltaïque s'appliquent aux directives de conception de ce document. La norme internationale CEI 62253 est la base technique de ce guide. Comme indiqué précédemment, ce document vise à montrer au lecteur comment satisfaire aux exigences des normes CEI. Outre la CEI 62253, les normes internationales suivantes de la CEI ont également une pertinence particulière:

- CEI 60364-7-712 Installations électriques des bâtiments – Partie 7-712: Exigences pour les installations spéciales des emplacements – Systèmes d'alimentation solaire photovoltaïque (PV).
- CEI 60947-1 Appareillage de connexion et de commande basse tension – Partie 1: Règles générales.
- CEI 61215-1 Modules photovoltaïques terrestres (PV) – Qualification de la conception et approbation de type – Partie 1: Exigences d'essai.
- CEI 61215-1-1 Modules photovoltaïques (PV) terrestres – Qualification de la conception et approbation de type – Partie 1-1: Exigences particulières pour les essais des modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin
- CEI 61215-1-2 Modules photovoltaïques (PV) terrestres – Qualification de la conception et approbation de type – Partie 1-2: Exigences spéciales pour les essais des tellurures de cadmium en couches minces
- Modules photovoltaïques (PV) à base de (CdTe).
- CEI 61215-1-3 Modules photovoltaïques (PV) terrestres – Qualification de la conception et approbation de type – Partie 1-3: Exigences particulières pour les essais

des modules photovoltaïques (PV) à base de silicium amorphe à couches minces.

- CEI 61215-1-4 Modules photovoltaïques (PV) terrestres – Qualification de la conception et approbation de type – Partie 1-4: Exigences spéciales pour les essais de films de 2 modules photovoltaïques (PV) à base de cuivre à couche mince Cu (In, Ga) (S, Se).
- CEI 61215-2 Modules photovoltaïques terrestres (PV) – Qualification de la conception et approbation de type – Partie 2: Procédures d'essai.
- CEI 61730-1 Qualification de la sécurité des modules photovoltaïques (PV) – Partie 1: Exigences pour la construction.
- CEI 61730-2 Qualification de sécurité des modules photovoltaïques (PV) – Partie 2: Exigences pour les essais.
- CEI 62109-1 Sécurité des convertisseurs de puissance destinés à être utilisés dans les systèmes photovoltaïques – Partie 1: Exigences générales.
- CEI 62109-2 Sécurité des convertisseurs de puissance destinés à être utilisés dans les systèmes photovoltaïques – Partie 2: Exigences particulières pour les onduleurs.
- CEI 62124 Vérification de la conception des systèmes autonomes photovoltaïques (PV).
- CEI 62548 Exigences de conception pour les panneaux photovoltaïques (PV).

Toutes les normes CEI peuvent être achetées sur le site Web de la Commission électrotechnique internationale (<https://www.iec.ch/>).

Tous les processus de délivrance de permis des entités gouvernantes doivent être suivis conformément à leurs exigences, qui peuvent inclure les permis d'utilisation de l'eau, les droits fonciers / acquisitions et les permis de construction.

De plus, il est fortement conseillé que le concepteur et les installateurs du système d'eau alimenté par l'énergie solaire engagent les dirigeants de la communauté locale. Sans participation à la planification et à l'exécution d'un projet de cette nature par les dirigeants communautaires, le projet fait face à de nombreuses sources d'échec potentiel. Les sources d'échec pourraient porter sur l'utilisation des terres, l'utilisation de l'eau, les méthodes de distribution d'eau souhaitées, le fonctionnement quotidien prévu du système d'eau, le respect prévu des exigences d'entretien de routine et toutes les dispositions financières connexes.



Demande quotidienne en eau du projet

L'objectif est de déterminer une demande quotidienne en eau du projet en termes de volume par unité de temps, qui permet ensuite de réaliser le dimensionnement technique (voir 2.2.6 Exigences de conception). L'exigence de conception fournit la base pour le reste de la conception du système d'alimentation en eau par énergie solaire.



2.2. Demande quotidienne en eau du projet

(Référence CEI 62253 – 6.2. Données client, d. Demande en eau)

La base fondamentale de la conception de tout système de pompage mécanisé est la demande en eau des éventuels utilisateurs du système d'eau. Déterminer la quantité d'eau dont une communauté a besoin est un processus compliqué mais une étape essentielle dans la conception. Les composants de base du calcul de la demande en eau comprennent:

- Le calcul de la population totale et la consommation quotidienne d'eau des individus,
- l'identification de tout autre usage de l'eau qui sera fourni par le système d'eau proposé, et
- l'évaluation des pertes d'eau éventuelles au sein du système.

Une équation générale pour calculer la demande est la suivante:

La demande quotidienne en eau du projet = l'utilisation quotidienne individuelle de l'eau × population de la zone de service + autres utilisations quotidiennes de l'eau (institutions, bétail, commercial, industriel, récréatif, etc.) + pertes d'eau du système par jour

Bien que cette équation semble être un calcul facile, la détermination de chaque composante de l'équation est complexe. De nombreux facteurs influencent la consommation d'eau d'une communauté. Cette section traite chaque étape utilisée pour déterminer la demande. **L'objectif est de déterminer une demande quotidienne en eau du projet, exprimée en volume par unité de temps, qui informe ensuite la demande de conception (voir 2.2.6 Exigences de conception).** La demande de conception fournit la base pour le reste de la conception du système d'alimentation solaire en eau. L'exemple des pages 22 à 25 (et l'annexe b) démontre l'utilisation de cette équation.

Avant de continuer, on devrait noter que la section 6.2.d) de la CEI 62253 indique que la demande en eau est « l'approvisionnement quotidien en eau requis dans les pires conditions définies ». Il énumère ensuite l'irradiance, la date et la hauteur d'eau (soit la HMT) comme les éléments qui influencent les pires conditions. L'implication d'une « pire condition » sera discutée plus en détail tout au long de ce guide à mesure que chacun de ces sujets sera abordé. À l'heure actuelle, il est important de noter que les pires conditions pour chaque projet individuel et leurs implications doivent être déterminées par les concepteurs du projet. De plus, les concepteurs de projet doivent avoir le consensus de toutes les parties impliquées sur le projet avant de définir une demande de conception et de finaliser la conception du projet.

1. Population de la zone de service

La première étape du calcul de la demande en eau du système d'approvisionnement proposé consiste à déterminer la consommation d'eau quotidienne par personne dans la zone de service du système. Pour ce faire, la quantité de population totale qui sera desservie par le projet hydraulique doit d'abord être évaluée. Ce calcul doit inclure les populations des ménages communautaires et des institutions locales.

Les chiffres de la population d'une communauté donnée peuvent être obtenus auprès de l'autorité locale si les statistiques démographiques sont conservées par cette autorité. Cependant, il est préférable de vérifier les chiffres. Étant donné que la population influencera le calcul de la demande en eau et, par la suite, la conception du système solaire d'alimentation en eau, le chiffre de population utilisé dans la conception doit avoir un degré élevé de précision. De plus, des facteurs de croissance démographique appropriés doivent être appliqués à la population évaluée afin de considérer la potentielle utilisation dans le futur du système du système (voir 2.2.4.3. Demande anticipée).

Il convient également de reconnaître qu'il existe des communautés rurales où la population se déplace en fonction des différentes saisons de l'année. Cela peut être dû aux institutions locales (par exemple, les internats), aux occupations des individus (par exemple, les éleveurs, les travailleurs itinérants) ou à d'autres raisons. Un déplacement annuel de la population affectera la demande quotidienne en eau du projet et pourrait contribuer au pire scénario de situation pour le projet.

1. Types de population – Les ménages

Le nombre de ménages et le nombre moyen de personnes par ménage sont généralement déterminés pendant la phase d'évaluation du projet. Comme indiqué précédemment, ces informations peuvent également être disponibles auprès

des autorités locales ou des dirigeants communautaires. Quoi qu'il en soit, le nombre de ménages et le nombre moyen de personnes par ménage peuvent être acquis (ou vérifiés) par le concepteur du projet. La méthode de vérification la plus simple consiste d'abord à compter le nombre de ménages en se déplaçant dans le lieu de vie de la communauté et à demander aux membres de la communauté combien de membres résident dans chaque ménage. De plus, le nombre de ménages peut être corroboré à l'aide d'une image aérienne à partir de l'application Google Earth.

La population approximative basée sur les ménages de la communauté peut être estimée à l'aide de l'équation suivante:

$$\text{Population approximative} = \text{nombre de ménages} \times \text{nombre moyen de personnes par ménage}$$

Si les objectifs du projet nécessitent un niveau d'exactitude du chiffre plus important, une enquête formelle par le porte à porte peut être effectuée. Cela nécessitera plus de temps et d'investissement, mais garantira un degré de précision plus élevé.

2.2.2. Autres utilisations quotidiennes de l'eau

D'autres utilisations de l'eau par la zone de service doivent être envisagées avant la conception du système d'eau. Les autres utilisations incluent généralement:

- Utilisation par des institutions telles que les écoles, les cliniques et les centres religieux
- Utilisation par le bétail et l'irrigation des cultures
- Utilisation par les activités commerciales et industrielles
- Toute utilisation récréative

D'autres commentaires sur les institutions sont donnés ci-dessous. Ensuite, toutes les utilisations répertoriées sont présentées au **2.2.3. Domaine d'utilisation de l'eau**.

Les institutions

La présence institutionnelle dans la communauté doit être prise en compte. Le nombre de personnes qui seront servies et les besoins en eau des installations institutionnelles doivent être inclus. La manière dont la demande totale en eau du projet prendra en compte la demande supplémentaire en eau de ces populations doit être clairement définie dans la documentation de conception du projet. Cela peut être accompli de deux manières. Avant de discuter des deux méthodes, il convient de connaître que les exigences des représentants administratifs et politiques locaux concernant la prise en compte des besoins des installations communautaires soient respectées.

La première méthode nécessite d'ajouter une estimation de la population desservie par les institutions locales à la population déterminée par le nombre de ménages pour calculer la population totale desservie par le projet. Cependant, il faut faire preuve de discernement lors de l'examen de l'effet que les institutions auront sur la demande en eau. Par exemple, supposons qu'une communauté possède une école qui accueille 500 enfants. Si la moitié des élèves sont résidents de la communauté, ils auront déjà été comptabilisés dans la population déterminée par le nombre de ménages. Les 250 autres élèves qui se rendent dans le village spécifiquement pour l'école augmenteraient la demande en eau. Ainsi, ces 250 étudiants pourraient être ajoutés à la population des ménages (voir **2.2.1.1. Types de population – Ménages**).

La deuxième méthode consiste à déterminer (ou à estimer) la quantité d'eau régulièrement utilisée par l'établissement, quelle que soit sa population. Par exemple, si une clinique médicale dispose suffisamment de lits d'hôpital pour accueillir 25 patients à un moment donné, alors la clinique devra avoir accès à l'eau pour 25 patients (sans considérer que les 25 lits soient toujours utilisés ou non par les patients). Dans ce scénario, la quantité d'eau nécessaire quotidiennement à la clinique peut être calculée en utilisant une consommation d'eau par tarif de lit de patient. Dans cette méthode, la population institutionnelle ne serait pas ajoutée à la population estimée des ménages. Il s'agirait plutôt d'une deuxième demande d'utilisation à inclure dans le calcul de la demande quotidienne totale en eau. Cette demande quotidienne d'eau institutionnelle s'ajoutera à la demande quotidienne d'eau des ménages.

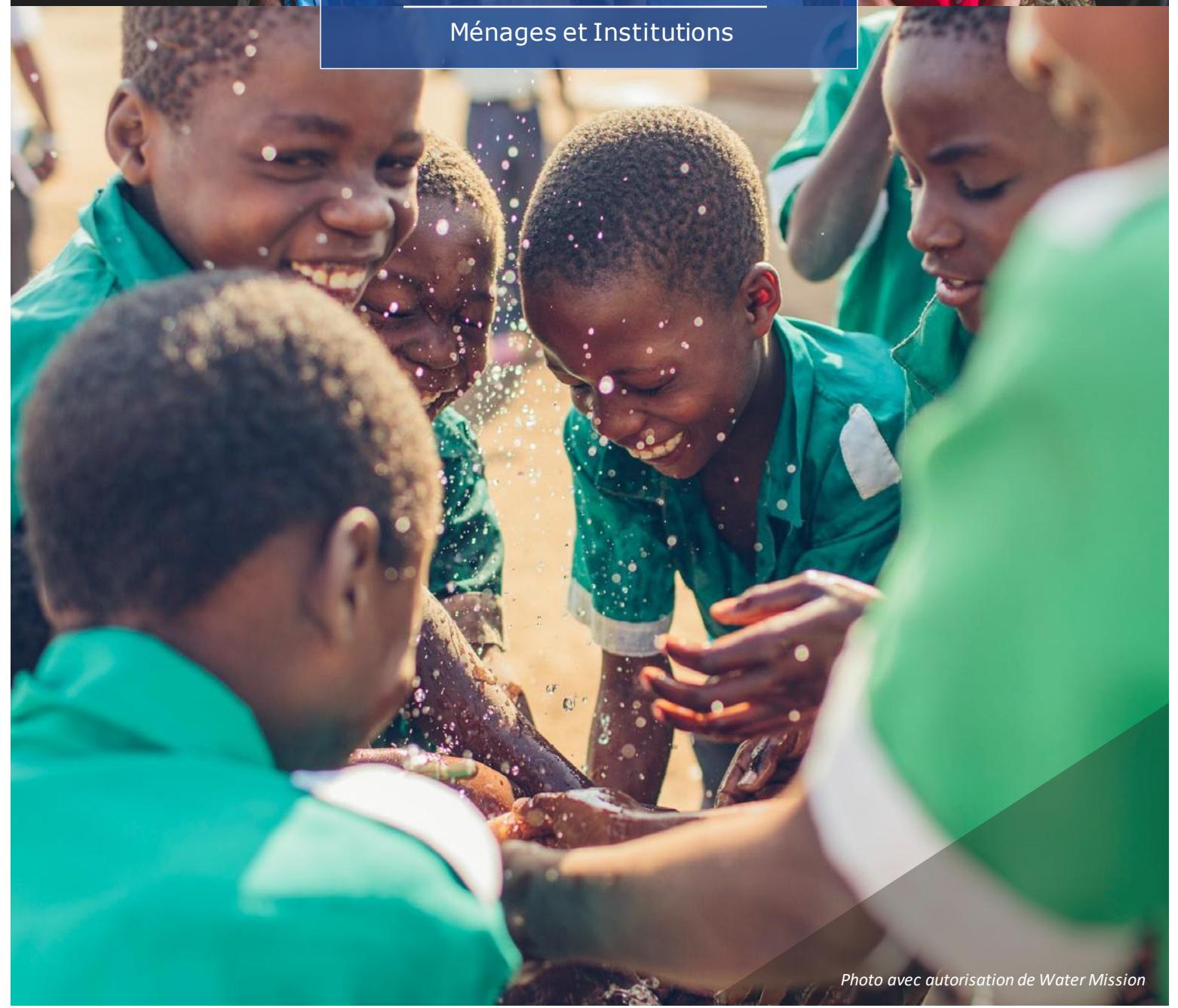
2.2.3. Domaine d'utilisation de l'eau

Une fois que la population totale de la zone de service soit déterminée, l'étape suivante consiste à estimer la consommation d'eau individuelle. Comme indiqué ci-dessus, toute utilisation institutionnelle de l'eau doit également être



Type de Population:

Ménages et Institutions



prise en compte. De plus, il est important de considérer toutes les autres utilisations qui ne sont pas prises en compte dans les calculs de la consommation des ménages ou des institutions, telles que le bétail, l'irrigation, les activités commerciales et industrielles et les loisirs.

Dans le domaine du développement international, il y a eu beaucoup de discussions sur la quantité d'eau qui devrait être fournie par jour pour les individus et les autres utilisateurs (institutions, irrigation, etc.). La demande individuelle comprend de nombreuses considérations, telles que la consommation, l'hygiène, la cuisine et d'autres utilisations. Idéalement, toutes ces utilisations devraient être satisfaites par le projet (mais cela pourrait ne pas être pratique). Ci-dessous, sont présentées les directives de diverses agences pour déterminer la quantité d'eau à fournir aux particuliers et autres utilisateurs. Ces directives peuvent être utiles en cas d'incertitude quant à l'utilisation réelle de l'eau. Cependant, il est important de noter que l'utilisation réelle par personne (ainsi que par les institutions et autres utilisations) ne sera pas nécessairement conforme à ces directives. De plus, selon l'expérience des rédacteurs de ce guide, les conceptions de systèmes d'eau alimentés par l'énergie solaire, basées sur le respect complet des recommandations des agences ou des directives gouvernementales, conduisent généralement à des systèmes dont la conception est inutilement grande. Un système conçu de cette manière peut entraîner des contraintes financières à moins que les parties impliquées dans le projet ne soient prêtes à assumer ces coûts.

La quantité d'eau utilisée à toutes fins peut varier considérablement, à la fois par région et par pratique individuelle. Ainsi, une connaissance pratique des modes d'utilisation de l'eau d'une communauté, qui n'est généralement acquise que par l'interaction avec les membres de la communauté, bénéficiera grandement au concepteur du système d'eau alimenté par l'énergie solaire. Si des données existent ou peuvent être collectées, détaillant l'utilisation réelle de l'eau d'une communauté, cela sera généralement d'une grande valeur pour le concepteur.

Il faut également reconnaître que les modalités d'utilisation de l'eau peuvent varier et varient souvent tout au long de l'année. Ainsi, l'utilisation d'une moyenne quotidienne sur l'année peut conduire à une quantité insuffisante d'eau disponible pendant la saison où la consommation d'eau est la plus élevée. Par conséquent, il est également important de déterminer les saisons de l'année pendant lesquelles le système d'alimentation sera nécessaire pour fournir de l'eau. Selon les cas, le système d'alimentation devra couvrir les besoins en eau toute l'année, ou seulement durant certaines saisons. Cette détermination doit être acceptée par toutes les parties prenantes du projet.

Même une fois que les utilisations de l'eau sont déterminées, il est très probable que ces chiffres ne reflètent pas l'utilisation réelle du système.. L'une des raisons à cela est que la population de la zone de desserte peut continuer à collecter de l'eau à partir de sources autres que le système d'eau alimenté à énergie solaire. Cela peut être dû à la familiarité avec une source d'eau, à la distance du point de collecte d'eau ou à d'autres raisons potentielles. Le fait de placer un point de collecte d'eau à proximité des utilisateurs augmentera généralement l'utilisation de cette eau, alors que la distance nuit généralement (cela signifie que l'utilisation est généralement influencée par le système de distribution d'eau dans une communauté, mais ce guide ne couvre pas la conception du système de distribution).

Comme indiqué dans la section **2.2.6. Exigences de conception**, la demande quotidienne en eau sur le système d'alimentation en eau solaire seul sera essentielle à la conception du système. En d'autres termes, l'eau collectée à partir d'autres sources ne doit pas être comptée dans la demande de conception sur laquelle la conception du système sera basée.

Avant de présenter les directives de divers organismes, il convient de noter que tous les codes, normes ou réglementations des autorités gouvernementales concernant les taux d'utilisation de l'eau doivent être suivis dans tous les projets d'eau mis en œuvre dans la zone de juridiction exécutoire de l'autorité gouvernementale. Si l'autorité dirigeante n'a pas de juridiction exécutoire sur la zone du projet, ou si l'autorité n'a pas d'exigences énoncées, alors les directives ci-incluses peuvent être utilisées.

Organisation Mondiale de la Santé

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) définit les besoins d'hydratation comme l'apport hydrique quotidien minimum nécessaire pour soutenir la vie humaine en fonction de facteurs physiques, environnementaux et de mode de vie. En utilisant cette définition, l'OMS recommande de fournir environ trois litres d'eau potable par personne et par jour.

Besoins en hydratation (OMS, 2003):

| PERSONNE | CONDITIONS NORMALES (LITRES/JOUR) | TRAVAIL MANUEL OU TEMPÉRATURES ÉLEVÉES (LITRES/JOUR) |
|------------------------|--------------------------------------|--|
| Homme Adulte | 2,9 | 4,5 |
| Femme Adulte | 2,2 | 4,5 |
| Enfant (10 ans) | 1,0 | 4,5 |

Les autres formes d'utilisation de l'eau qui affectent la demande comprennent la cuisine, l'hygiène et l'assainissement. La quantité d'eau potable nécessaire pour cuisiner peut différer en fonction des types d'aliments communs aux différentes cultures. Selon l'OMS, la quantité moyenne d'eau nécessaire à la cuisson du riz est comprise entre 1,6 et 2 litres par personne et par jour. Cette estimation est utilisée comme un guide très basique pour le calcul des besoins en eau de cuisson, mais dans de nombreux lieux, les besoins réels diffèrent beaucoup. Sur la base d'une étude menée au Kenya, en Ouganda et en Tanzanie, l'OMS a déterminé une demande de base pour les besoins d'hygiène et d'assainissement, tels que le lavage des mains et de la vaisselle, ainsi que le bain. Dans ces pays, l'OMS a déterminé que la demande pour le lavage des mains et de la vaisselle était de 6,6 L avec 7,3 L supplémentaires pour le bain.

Dans une situation de catastrophe, ces normes sont adaptées pour fournir suffisamment d'eau salubre pour répondre aux besoins les plus élémentaires de chacun. Dans ce cas, l'OMS suggère un minimum de 7,5 L par personne et par jour (2003), ce qui est conforme à la norme du projet Sphère (voir le projet Sphère ci-dessous).

D'autre part, l'OMS recommande une quantité minimale d'eau pour différentes applications de soins de santé.

Quantités minimales d'eau requises par l'OMS dans le cadre des soins de santé (OMS, 2008):

| INDICATOR | |
|--|--|
| Ambulatoire | 5 litres/consultation |
| Hospitalisation | 40-60 litres/patient/jour |
| Salle d'opération ou maternité | 100 litres/intervention |
| Centre d'alimentation sèche ou complémentaire | 0.5-5 litres/consultation (en fonction du temps d'attente) |
| Centre d'alimentation complémentaire humide | 15 litres/consultation |
| Centre d'alimentation thérapeutique pour patients hospitalisés | 30 litres/patient/jour |
| Centre de traitement du choléra | 60 litres/patient/jour |
| Centre d'isolement pour maladies respiratoires aiguës sévères | 100 litres/patient/jour |
| Centre d'isolement pour la fièvre hémorragique virale | 300-400 litres/patient/jour |

Le Projet Sphère

En tant que norme minimale moyenne pour la réponse humanitaire, le projet Sphère a déterminé que la quantité d'eau nécessaire pour boire, cuisiner et pour l'hygiène de base se situait entre 7,5 et 15 litres par personne et par jour (2018). L'édition 2018 du manuel Sphère répertorie les différents besoins en eau, la quantité approximative d'eau requise pour chaque besoin et la consommation d'eau dans diverses institutions. Veuillez noter que ces quantités varient considérablement selon les normes régionales, sociales et culturelles.

Besoins de base en eau du projet Sphère (de Sphère, 2018):

| BESOIN | EAU REQUISE | FACTEURS |
|---|--|---|
| Besoins de survie: consommation d'eau (boisson et nourriture) | 2,5-3 litres par personne par jour | En fonction du climat et de la physiologie individuelle |
| Pratiques d'hygiène de base | 2-6 litres par personne par jour | En fonction des normes sociales et culturelles |
| Besoin de base pour la cuisine | 3-6 litres par personne par jour | En fonction du type de nourriture et des normes sociales et culturelles |
| Total des besoins de base en eau: | 7,5-15 litres par personne par jour | |

En plus de l'usage personnel (tel que présenté ci-dessus), les institutions entourant un système d'eau auront une incidence sur la demande globale en eau, et donc sur le système. Le projet Sphère fournit également des conseils sur les demandes d'eau typiques de différents types d'institutions.

Besoins en eau des institutions d'après le projet Sphère (Sphère, 2018):

| INSTITUTION | QUANTITÉ D'EAU MINIMUM |
|-------------------------------------|---|
| Centres de santé et hôpitaux | 5 litres par patient ambulatoire; 40-60 litres par patient hospitalisé par jour; 100 litres par intervention chirurgicale et d'accouchement. Des quantités supplémentaires peuvent être nécessaires pour l'équipement de blanchisserie, les chasses d'eau des toilettes, etc. |
| Centres de traitement du choléra | 60 litres par patient par jour; 15 litres par soignant par jour |
| Centre d'alimentation thérapeutique | 30 litres par patient ambulatoire par jour; 15 litres par soignant par jour |
| Centre d'accueil/transit | 15 litres par personne et par jour si le séjour dure plus d'un jour; 3 litres par personne et par jour si le séjour est limité à une journée |
| Écoles | 3 litres par élève et par jour pour boire et le lavage des mains (utilisation pour les toilettes non incluse: voir ci-après Toilettes publiques) |
| Mosquées | 2 à 5 litres par personne et par jour pour se laver et boire |
| Toilettes publiques | 1 à 2 litres par utilisateur pour le lavage des mains; 2 à 8 litres par cabine et par jour pour le nettoyage des toilettes |
| Toutes les toilettes à chasse d'eau | 20 à 40 litres par utilisateur par jour pour les toilettes conventionnelles à chasse d'eau mécanique raccordées aux égouts; 3 à 5 litres par utilisateur par jour pour les toilettes à chasse manuelle |
| Toilette intime | 1-2 litres par personne par jour |
| Bétail | 20 à 30 litres par animal de grande ou moyenne taille par jour: 5 litres par petit animal par jour |

HCR (Haut-Commissariat des Nations Unies pour les Réfugiés)

Le HCR utilise un ensemble de normes et d'indicateurs relatifs à l'eau, à l'assainissement et à l'hygiène (EHA) pour contrôler l'efficacité d'un programme pour répondre aux besoins et aux objectifs de base. Ces normes comprennent les normes de quantité d'eau pour les particuliers et les bâtiments communaux. Il convient de noter que les normes et indicateurs EHA du HCR portent sur la quantité d'eau, l'accès à l'eau, la qualité d'eau, l'assainissement, l'hygiène et les déchets solides. Cependant, ce document d'orientation se référera uniquement aux normes et indicateurs concernant la quantité d'eau.

UNHCR normes EHA et indicateurs – Avril 2018 (UNHCR, 2018):

| INDICATEUR | OBJECTIF D'URGENCE ¹ | OBJECTIF POST-URGENCE |
|--|---------------------------------|-----------------------|
| Quantité moyenne de litres d'eau potable disponible par personne par jour ² | ≥ 15 | ≥ 20 |
| % de ménages avec une capacité de stockage d'eau potable d'au moins 10 litres/personne | ≥ 70% | ≥ 80% |

¹ Une urgence est définie comme les six premiers mois après la stabilisation du mouvement de population. Cette définition est toutefois spécifique au contexte et ne doit servir que d'orientation générale.

² Eau potable: sans danger pour la consommation.

Objectifs EHA du HCR pour les Structures Communautaires (UNHCR, 2018):

| INDICATEUR | |
|---------------------------------------|--|
| Ecole | Une moyenne de 3 litres d'eau potable disponible par élève par jour |
| Centres de santé/ Centre de nutrition | Une moyenne de 20 litres d'eau potable disponible par patient externe par jour Une moyenne de 50 litres d'eau potable disponible par patient interne/lit par jour |

Le HCR déclare également que « dans le cas échéant, ces objectifs doivent être adaptés en fonction du contexte ou des standards nationaux existants. »

Autres normes et codes de conception locaux

Si l'emplacement d'un réseau d'eau est sous la juridiction d'un organisme local qui a un code, une norme ou un règlement exécutoire concernant la quantité d'eau devant être fournie à chaque personne par jour (et aux institutions locales ou à d'autres usages), alors cette exigence doit être respectée.

2.2.4. Prédire la demande individuelle

Lorsque les utilisations de l'eau pour la zone de service sont raisonnablement déterminées, la demande quotidienne en eau du projet pour le système alimenté par énergie solaire peut être calculée. Dans un premier temps, Water Mission recommande de calculer la consommation d'eau quotidienne individuelle de trois manières différentes:



1. Demande maximale lors de la mise en service du système
2. Demande anticipée lors de la mise en service du système
3. Demande anticipée

Ces trois demandes calculées seront ensuite utilisées pour sélectionner l'utilisation quotidienne d'eau des individus. En suivant l'équation de **2.2.Demande quotidienne en eau du projet**, la consommation d'eau quotidienne sélectionnée par les individus sera ensuite ajoutée aux autres utilisations quotidiennes de l'eau et aux pertes d'eau quotidiennes du système pour déterminer la demande quotidienne en eau du projet.

2.2.4.1. Demande maximale lors de la mise en service du système

La demande maximale lors de la mise en service du système est calculée en supposant que 100% des membres de la population de services utiliseront chacun la quantité totale d'utilisation individuelle précédemment déterminée. Afin de calculer la demande maximale lors de la mise en service du système, l'équation ci-dessous peut être appliquée:

DEMANDE MAXIMALE

*Demande maximale lors de la mise en service
du système = Population totale
du service × Quantité totale d'utilisation individuelle*

2.2.4.2. Demande anticipée lors de la mise en service du système

Cependant, il est reconnu que 100% des habitants d'une communauté n'utiliseront pas le système d'alimentation solaire en eau lors de la mise en service. Ainsi, il peut être nécessaire de prédire le pourcentage de la population qui utilisera l'eau potable, ou « le taux de pénétration prévu dans la population ». De plus, les personnes qui collectent l'eau du système peuvent ne pas utiliser la totalité de la quantité d'utilisation individuelle déterminée. Ainsi, il peut être décidé que, dans la période suivante de la mise en service du système, l'utilisation individuelle peut être inférieure au montant total. Afin de calculer la demande prévue lors de la mise en service du système, l'équation ci-dessous peut être appliquée:

DEMANDE ANTICIPÉE

*Demande anticipée lors de la mise en service
du système = Population totale du service × % anticipée
de la population à utiliser le système × Utilisation individuelle
anticipée lors de la mise en service*

2.2.4.3. Demande anticipée

Afin de rendre le réseau d'eau durable et de desservir la communauté le plus longtemps possible, il est utile d'estimer la future demande. Cela indiquera si le système a la capacité de répondre à la future demande d'une population estimée. Toutefois, il est important de noter que la future demande peut être difficile à prévoir en raison de la croissance démographique, des migrations, du commerce, de l'urbanisation et des catastrophes humanitaires.

Ce guide ne donne pas de taux de croissance approximatifs de la population. Au lieu de cela, ces taux devraient être déterminés en utilisant des données gouvernementales (ou exigences) pour des emplacements spécifiés. Une fois déterminé, le taux de croissance (R) peut être utilisé dans l'équation suivante (Mihelcic, 2009). Pour calculer la future population (P_n) en N années:

$$P_n = P_0 \times \frac{r}{100}^N$$



Il est important de noter que ce calcul est uniquement une projection. En outre, il est typique (mais non obligatoire) pour les systèmes d'adduction d'eau par l'énergie solaire d'utiliser une valeur de 20 ans pour N.

Une fois que l'estimation de la future population est calculée, elle peut être multipliée par le pourcentage prévu de population utilisant le système (si moins de 100% de la population utilisera le système à l'avenir) et la quantité d'utilisation individuelle pour déterminer la demande anticipée. Ceci est illustré dans l'équation suivante:

DEMANDE ANTICIPÉE

$$\begin{aligned} \text{Demande anticipée} = & \text{Future population} \times \% \text{ prévu} \\ & \text{de la population à utiliser le système} \\ & \times \text{Quantité d'utilisation individuelle anticipée} \end{aligned}$$

2.2.5. Pertes d'eau du système

Une dernière considération de la demande quotidienne en eau du projet doit être prise en compte avant de décider d'une demande de conception. Les pertes d'eau sont courantes dans les systèmes d'eau pour diverses raisons. Les raisons habituelles sont l'eau renversée ou gaspillée aux points de distribution, le débordement au sein des réservoirs de stockage et les fuites dans les canalisations d'alimentation et de distribution. Même dans les pays développés, il est courant de tenir compte d'une certaine quantité de perte d'eau, en particulier lors de l'utilisation d'infrastructures vieillissantes. Une certaine quantité de gaspillage récurrent doit être prise en compte dans le flux de conception du système. Pour tenir compte de cette perte, soit une quantité connue de perte journalière peut être ajoutée à la demande quotidienne en eau, soit un pourcentage de la demande quotidienne en eau peut être ajouté au calcul de la demande. À titre de référence, une perte quotidienne de cinq (5) à dix (10) pour cent est considérée comme acceptable. Si la perte d'eau est plus élevée en raison d'une infrastructure vieillie ou mal installée, il convient d'envisager la réparation ou le remplacement des composants qui fuient dans le système.

2.2.6. Exigences de conception

Les trois calculs de demandes individuelles d'utilisation quotidienne d'eau auront un impact sur la demande quotidienne en eau du projet et donc sur les exigences de conception. Conformément à l'équation de **2.2. Demande quotidienne en eau du projet**, les autres utilisations quotidiennes de l'eau et les pertes d'eau du système par jour devront être ajoutées aux demandes d'utilisation quotidienne d'eau individuelles pour déterminer la valeur finale de la demande qui servira pour le dimensionnement.

Il est recommandé que le système soit initialement conçu pour répondre à la demande individuelle anticipée lors de la mise en service du système. Une fois cette conception terminée, elle peut être comparée à la demande individuelle maximale lors de la mise en service du système et à la demande individuelle future anticipée. Si le système conçu peut répondre aux trois demandes calculées, cela augmente le niveau de fiabilité de la conception.

Si la conception ne peut pas répondre à la demande individuelle maximale lors de la mise en service du système et à la demande individuelle anticipée, cela ne signifie pas nécessairement que la conception doit être révisée. Au lieu de cela, l'ingénieur de conception peut déterminer quels changements devraient être apportés pour répondre à ces deux exigences. Si ces modifications nécessitent un minimum d'équipement supplémentaire et de dépenses en capital, cela peut être approprié. Cependant, si le fait de répondre aux deux autres demandes augmente considérablement les dépenses en capital, cela peut ne pas être pratique ou économiquement prudent. La recommandation de ce guide est que cette décision soit discutée et acceptée au début du projet par toutes les parties impliquées dans le projet.

De plus, il faut reconnaître que le dimensionnement finalement choisi ne correspond pas nécessairement à la demande quotidienne en eau du projet calculée selon **2.2. Demande quotidienne en eau du projet**. Cela peut être dû à plusieurs raisons, comme la mise en place d'un système d'eau pour une zone de service, un financement insuffisant pour les dépenses globales en capital, l'exclusion de certaines utilisations de l'eau du système qui est proposé, ou pour d'autres raisons.

Les exigences de conception choisies constituent la base de la conception du reste du système. Il est essentiel pour le succès d'un système d'eau solaire achevé que la demande de conception soit clairement énoncée et acceptée par toutes les parties impliquées dans la planification et la future appropriation du système, y compris la documentation de l'accord. De nombreux systèmes d'adduction d'eau par l'énergie solaire existants aujourd'hui sont considérés comme sous-performant en raison de l'absence d'un calcul clair, d'une sélection et d'un accord ultérieur le dimensionnement finalement choisi. Il convient de noter que cette insatisfaction à l'égard de ces systèmes n'est généralement pas due à une mauvaise performance de l'équipement, mais à une planification et une conception incorrecte.

L'exemple suivant détaille la collecte de données et les délibérations nécessaires au calcul de la demande quotidienne en eau du projet.

Exemple: Le calcul de la demande quotidienne en eau du projet

(Référence CEI 62253 – 6.2. Données client, d. Demande en eau)

Une communauté rurale du Kenya s'approvisionne actuellement en eau potable à partir de trois sources: un forage équipé d'une pompe à main, une rivière et des ruisseaux saisonniers qui n'ont pas de débit pendant la saison sèche. La population de la communauté a augmenté et il y a toujours de longues files d'attente à la pompe à main. De plus, la rivière n'est pas facilement accessible par tout le monde car elle se trouve à l'extrême ouest de la communauté. Une source de financement est devenue disponible pour concevoir et installer un système d'approvisionnement en eau par l'énergie solaire afin de mieux répondre aux besoins en eau potable de la communauté.

La communauté est composée de 350 ménages et le nombre de personnes par ménage est de six en moyenne. De plus, il y a une école dans la communauté avec 700 élèves, et tous les 700 élèves résident dans la communauté.

Après avoir discuté des besoins en eau avec les dirigeants de la communauté, il est déterminé que l'utilisation quotidienne d'eau par personne correspond au modèle suivant.

| UTILISATION DE L'EAU | PAR PERSONNE PAR JOUR |
|---|-----------------------|
| Boisson et cuisine | 4 à 6 litres |
| Hygiène de base | 2 à 4 litres |
| Productivité (bétail, irrigation, blanchisserie, autres usages) | 0 à 6 litres |
| QUANTITÉ TOTALE D'UTILISATION D'EAU: | 6 à 16 litres |

Étape 1: Déterminer la population totale destinée à être desservie par le système.

Avant d'utiliser l'équation proposée dans la section **2.2.1.1. Types de population – Les ménages**, se pose la question de savoir si les 350 ménages sont censés être desservis par le système. Ces ménages auront-ils vraiment accès à l'eau fournie ? Dans cet exemple, il est déterminé que les 350 ménages sont tous destinés à utiliser l'eau de ce projet. Par conséquent, en appliquant l'équation:

$$\text{Population approximative} = \text{Nombre de ménages} \times \text{Nombre moyen de personnes par ménage}$$
$$2100 \text{ personnes} = 350 \text{ ménages} \times 6 \text{ personnes par ménage}$$

Étape 2: Ajouter d'autres personnes qui utiliseront l'eau.

Cette communauté compte une école de 700 élèves. Si tous ou certains de ces élèves n'étaient pas pris en compte par le calcul précédent, alors ces élèves pourraient être ajoutés au chiffre de population, ou la quantité totale de consommation d'eau pour cet établissement pourrait être ajoutée plus tard à la demande. Cependant, pour cet exemple, nous supposerons que les 700 élèves résident dans la communauté. Par conséquent, ils sont déjà pris en compte dans l'équation précédente.

Étape 3: Déterminer la quantité d'eau que chaque personne collectera du système chaque jour.

Le tableau ci-dessus donne une fourchette de 6 à 16 litres par personne et par jour en fonction de différentes utilisations et de différentes quantités pour chaque utilisation. Cependant, il est important que le système d'alimentation en eau par l'énergie solaire soit conçu pour fournir uniquement la quantité d'eau destinée à être collectée depuis le nouveau système de pompage. Dans cette communauté, les gens collecteront du système toute leur eau utilisée pour boire et cuisiner. Ils ne collecteront qu'une partie de l'eau qu'ils utilisent pour l'hygiène, et ils ne collecteront aucune eau pour des usages productifs. À l'aide de ces informations, il est déterminé qu'une personne dans la communauté va collecter en moyenne six à huit litres du système par jour. (Pour plus d'informations, voir **2.2.3. Domaine d'Utilisation de l'Eau**)

Étape 4: Calculer la demande individuelle en eau.

Dans **2.2.4. Prédire la demande individuelle**, le calcul de trois types différents de demandes individuelles est présenté. En utilisant les informations ci-dessus pour cette communauté, nous calculons maintenant les trois.

Le calcul de la demande maximale lors de la mise en service du système se fait à l'aide des informations déjà fournies.

$$\begin{aligned} &\text{Demande maximale lors de la mise en service du système} \\ &= \text{Service de la population totale} \times \text{Quantité d'utilisation individuelle totale} \\ &16800 \text{ litres par jour} = 2100 \text{ personnes} \times 8 \text{ litres par personne et par jour} \end{aligned}$$

Pour le calcul de la demande anticipée lors de la mise en service du système, il faut déterminer le pourcentage de la population qui s'approvisionnera effectivement avec le nouveau système d'adduction d'eau. Il est rare que 100% de la population utilise le nouveau système. Pour cette communauté, il a été déterminé que 85% de la population utiliserait le système lors de la mise en service. De plus, pour ce calcul, s'il y a une raison de croire que les gens collecteront moins que la quantité totale d'eau individuelle par jour, alors un chiffre inférieur devrait être utilisé. Comme ce qui a été indiqué ci-dessus pour cette communauté, il est estimé que les gens collecteront entre six et huit litres par jour. Une moyenne de sept litres par jour est fixée pour le calcul.

$$\begin{aligned} &\text{Demande anticipée lors de la mise en service du système} = \\ &\text{Population de service totale} \times \% \text{ prévu de la population à} \\ &\text{Utiliser le système} \times \text{Utilisation individuelle prévue lors de la mise en service} \\ &12495 \text{ litres par jour} = 2100 \text{ personnes} \times 85\% \times 7 \text{ litres par personne et par jour} \end{aligned}$$

Pour calculer la demande future anticipée, la croissance démographique doit d'abord être déterminée. En

utilisant les données gouvernementales pour cette région du Kenya, il est déterminé que la population de la région croît à un taux de 2% par an, et l'objectif est de calculer la projection de population dans 20 ans. En utilisant l'équation fournie dans la section **2.2.4.3. Demande anticipée** pour le calcul des populations futures:

$$2100 \text{ personnes} \times ,1 + \frac{2(\%)}{100}^1 = 3120 \text{ personnes}$$

Tout comme pour le calcul de la demande anticipée lors de la mise en service du système, une détermination du pourcentage de la population qui collectera l'eau du système est nécessaire, ainsi que l'utilisation individuelle anticipée. Ces deux chiffres peuvent être différents de ceux utilisés dans le calcul de la demande anticipée lors de la mise en service du système, s'il y a des raisons de croire qu'ils seront différents. Pour cet exemple, 85% et sept litres par personne et par jour seront toujours utilisés.

$$\begin{aligned} \text{Demande future anticipée} &= \\ \text{Population future} \times \% \text{ prévu de la population à utiliser le système} \\ \times \text{Quantité d'utilisation individuelle prévue} \end{aligned}$$

$$18564 \text{ litres par jour} = 3120 \text{ personnes} \times 85\% \times 7 \text{ litres par personne et par jour}$$

Section **2.2.6. Exigences de conception** recommande que le système soit conçu en utilisant la demande anticipée lors de la mise en service du système (à moins que toutes les parties impliquées conviennent qu'une autre demande est plus applicable aux objectifs d'un projet). Dans cet exemple, cette demande est de 12495 litres par jour.

Étape 5: Tenir compte des autres utilisations quotidiennes de l'eau et des pertes d'eau du système par jour.

A l'étape 2, il a été déterminé que la population scolaire avait déjà été prise en compte dans le calcul de la population lors de la première étape. La section **2.2.5. Perte d'eau du système** déclare qu'une perte quotidienne de cinq à dix pour cent est considérée comme acceptable. Puisque ce système utilisera tous les nouveaux composants et sera installé par des entrepreneurs qualifiés, nous utiliserons 5%.

$$12495 \text{ litres par jour} + 5\% \text{ d'eau perdue} = 13120 \text{ litres par jour}$$

La section **2.2. Demande quotidienne en eau du projet** déclare que les éléments de base du calcul de la demande en eau comprennent:

- Le calcul de la population totale et la consommation quotidienne d'eau des individus,
- La prise en compte de toute autre utilisation de l'eau qui sera fournie par le réseau d'eau proposé, et
- La prise en compte de l'eau du système existant.

La section **2.2. Demande quotidienne en eau du projet** donne aussi l'équation générale suivante:

$$\begin{aligned} \text{Demande quotidienne en eau du projet} &= \text{Utilisation quotidienne} \\ \text{individuelle de l'eau} \times \text{Population de la zone de service} + \text{Autres utilisations quotidiennes} \\ \text{de l'eau (institutions, bétail, commercial, industriel, récréatif, etc.)} \\ + \text{Pertes d'eau du système par jour} \end{aligned}$$

Dans l'exemple ci-dessus, nous avons examiné chacune de ces composantes pour déterminer que la demande quotidienne en eau du projet sera égale à 13120 litres par jour.

3. Source d'eau

(Référence CEI 62253 – 6.2. Données client, c. Conditions locales spécifiques)

La conception de tout système d'eau est largement définie par la source d'eau qui sera utilisée par le système. Le type de source et la quantité d'eau disponible à la source (ou le rendement de la source) auront un impact sur la conception du système. Historiquement, les eaux souterraines ont été la source d'eau les plus utilisées pour le pompage solaire. Cependant, dans de nombreux cas, des sources d'eau de surface ont également été utilisées, car les fabricants de pompes solaires disposent d'une gamme complète d'équipements pour s'adapter à différentes sources d'eau de surface.

Lors du choix d'une source d'eau, il est essentiel pour la qualité de l'eau que toute évacuation des eaux usées soit à une distance minimale de 30 mètres de la source (d'après Sphère, 2018). L'évacuation des eaux usées à moins de 30 mètres de la source d'eau met non seulement les utilisateurs de l'eau en danger, mais a également un impact sur la conception et les performances du système d'eau final. De plus, la source d'eau choisie ne doit pas être en aval de toute source potentielle de contamination.

1. Rendement à la source

Connaître le rendement disponible, ou le débit, d'une source d'eau est crucial pour la conception de tout système d'eau. Malheureusement, il n'est pas rare qu'une estimation du rendement non basée sur des tests soit utilisée pour concevoir et sélectionner l'équipement. Cela conduit généralement à des problématiques importantes quant aux performances réelles de l'équipement. L'équipement du projet doit être dimensionné en fonction du rendement spécifique de la source. De plus, le rendement de la source doit satisfaire, et de préférence dépasser, la demande d'eau calculée du projet pour garantir qu'une quantité suffisante d'eau soit fournie pour la communauté. Un rendement de source précis sera nécessaire pour effectuer un choix judicieux de la pompe, mais aussi pour le dimensionnement du champ solaire.

Dans un premier temps, sera présentée la meilleure méthode pour déterminer le rendement de la source d'un forage, puis un paragraphe traitera du rendement dans le cas d'eaux de surface concernant le rendement d'une source d'eau de surface. Enfin, d'autres considérations concernant le rendement de la source d'eau lors de la planification et de la conception d'un système d'alimentation en eau solaire seront abordées.

1. Rendement à la source d'eau d'un forage

Il est impossible de connaître le rendement d'un forage simplement en le regardant ou en surveillant le processus de forage. Deux forages de même profondeur et diamètre peuvent produire des quantités d'eau différentes en fonction des formations géologiques, des aquifères environnants et d'autres prélèvements d'eau. Les forages ne peuvent fournir qu'un débit limité sur une période prolongée. Ainsi, il est indispensable de réaliser un test de rendement sur tout forage pouvant être utilisé comme source. Le but d'un test de rendement est de déterminer le débit qui peut être pompé de manière durable à partir du forage. De plus, tout changement potentiel dans les résultats des tests de rendement en raison des fluctuations saisonnières des conditions de l'eau souterraine de la zone et d'autres prélèvements d'eau doit également être pris en compte.



Rendement de la source d'eau d'un forage

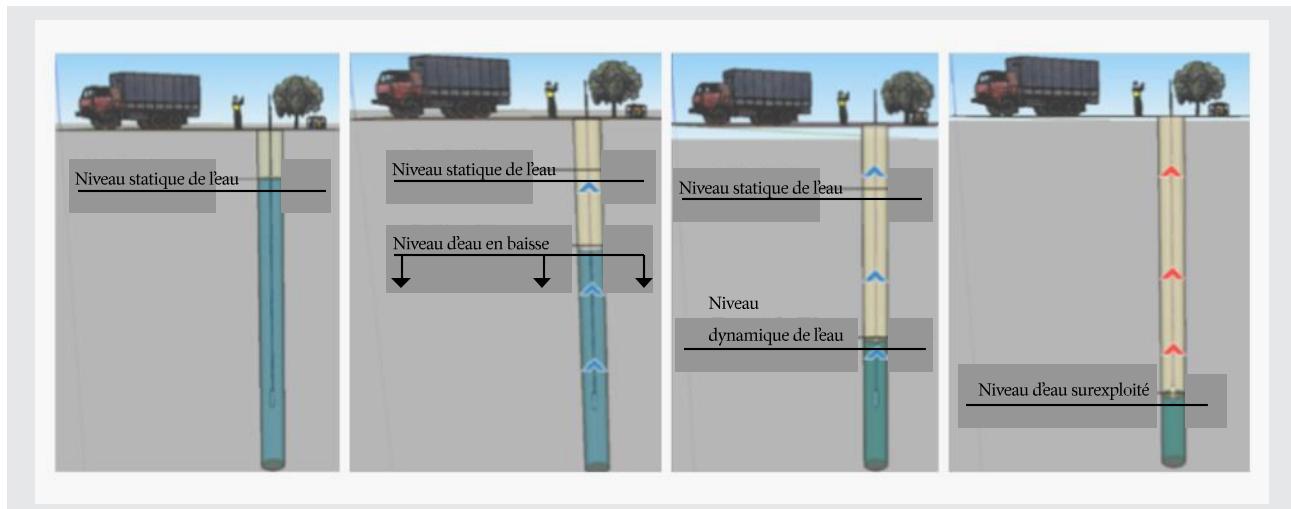
Deux forages de même profondeur et diamètre peuvent produire différentes quantités d'eau en fonction des formations géologiques et les aquifères environnants. Les forages ne peuvent fournir qu'un débit limité sur une période de temps prolongée.



2.3.1.1.1. Comprendre le rabattement des eaux

En effectuant un test de rendement, le technicien doit enregistrer ces paramètres primaires: le temps, le débit, le niveau d'eau et le rabattement. Alors que le temps, le débit et le niveau d'eau sont couramment mesurés, le rabattement peut être plus difficile à comprendre. Le rabattement est la différence entre le niveau statique de l'eau (lorsqu'aucune eau n'est pompée) et le niveau dynamique de l'eau (lorsque l'eau est pompée) du forage. Bien que le technicien ne puisse pas voir à l'intérieur du trou de forage, il est important de visualiser ce qui se passe pendant le test de rendement pour mesurer correctement le rabattement. La figure suivante illustre ce qui se passe au niveau de l'eau lorsque l'eau est pompée du forage.

Graphique 2.3.1.1.1. – Niveau d'eau pendant le pompage



Étape 1: niveau d'eau statique (pas de pompage)

Avant la mise en marche de la pompe, le niveau de l'eau dans le forage est à son niveau statique.

Étape 2: Niveau d'eau en baisse (le débit de pompage dépasse le taux d'eau entrant dans le forage)

Lorsque la pompe commence à pomper de l'eau, le niveau d'eau dans le forage commence à baisser. L'eau des aquifères environnants commencera à s'écouler dans le trou de forage, lentement au début, mais en augmentant en vitesse à mesure que l'eau continue d'être prélevée. Initialement, si la quantité d'eau pompée est plus importante que celle qui entre, le niveau d'eau dans le forage continuera à baisser.

Étape 3: Niveau d'eau dynamique (le débit de pompage est égal au débit d'eau entrant dans le forage)

Au fur et à mesure que le niveau d'eau continue de baisser à l'intérieur du trou de forage, la vitesse à laquelle l'eau pénètre dans le trou de l'aquifère environnant commencera à augmenter. Dans un premier temps, le rabattement et le débit sont directement proportionnels l'un à l'autre. À mesure que l'un augmente, l'autre augmente également. Lorsque le débit d'eau s'écoulant dans le trou de forage devient égal au débit d'eau pompée, le niveau d'eau dans le trou de forage atteindra l'équilibre. Lorsque cela se produit, le niveau de l'eau est appelé niveau d'eau dynamique. Le niveau d'eau dynamique dans un forage changera en fonction du débit de pompage. Par exemple, si le débit de pompage était très faible par rapport au rendement du forage, le niveau d'eau dynamique peut être proche du niveau d'eau statique. Si le débit de pompage est augmenté, le forage pourrait atteindre un nouvel équilibre avec un niveau d'eau dynamique plus bas. Le niveau d'eau dynamique qui correspond au rendement maximum du forage est appelé niveau d'eau dynamique maximum.

Étape 4: Niveau d'eau surexploité (le débit d'eau entrant dans le trou de forage ne peut pas atteindre le débit de pompage)

Si le débit de pompage peut être augmenté au-delà du rendement maximal du forage, le niveau d'eau continuera à baisser. Cela entraînera une condition de pompage excessif, ce qui pourrait entraîner des effets négatifs sur l'aquifère environnant et l'encrassement biologique du trou de forage. De plus, cette condition pourrait entraîner une défaillance du système d'eau et de la pompe, entraînant un manque d'approvisionnement en eau pour les utilisateurs du système d'eau. Un système d'eau correctement conçu et une pompe bien sélectionnée ne permettront jamais au débit de pompage de dépasser le rendement maximal du forage.

2. Essai de rendement maximal des forages

La spécification de l'essai de rendement maximal s'étend sur un essai de rendement traditionnel par abaissement pour déterminer les caractéristiques hydrauliques du forage et établir le rendement maximal de la source. La description et la procédure du test à suivre, et un exemple complet de ce test se trouvent à **l'Annexe C. Exécution d'un test de rendement maximal**. Des normes supplémentaires pour les procédures d'essai de rendement peuvent être trouvées dans l'ISO 14686: 2003.

1. Description

Au cours de cet essai, l'eau sera pompée à partir de la source et le débit sera ajusté par étapes (ou intervalles qui augmentent le débit et le rabattement correspondant) jusqu'à ce que le niveau d'eau dynamique maximal soit atteint. La position de la pompe dans le trou de forage (c'est-à-dire l'élévation de la pompe) pendant cet essai est cruciale pour déterminer le rendement maximal réel du trou de forage. La pompe doit être positionnée aussi bas que possible pour la construction du trou de forage, qui est généralement à environ un demi-mètre au-dessus du fond du trou de forage. Si la pompe est située trop haut pendant le test, le niveau d'eau chutera au niveau minimum déterminé avant que le rendement maximum puisse être trouvé. Le niveau minimum déterminé est de quelques mètres au-dessus du niveau de la pompe (ou à quelques mètres au-dessus du capteur de protection contre la marche à sec de la pompe, si équipée), ce qui permettra une immersion adéquate de la pompe.

Pour un essai de rendement maximal, la sélection appropriée de la pompe est également cruciale, car la capacité de la pompe d'essai doit être supérieure ou égale au rendement maximal prévu du forage (avec le rendement maximal prévu basé sur les projections hydrogéologiques, les informations de forage, le rendement des autres forages dans la région ou autres données pertinentes). Les autres composants, y compris la conduite montante, les raccords, la vanne d'arrêt utilisés à la surface du sol pour l'étranglement du débit, le débitmètre, etc., doivent être dimensionnés de manière appropriée pour l'objectif visé et fournir le rendement maximal.

Au début de l'essai, la vanne d'étranglement à la décharge du trou de forage est presque complètement fermée puis ouverte à des intervalles de 60 minutes (ou à un intervalle de temps plus long, si désiré ou nécessaire, pour la stabilisation du niveau d'eau). À chaque intervalle, la vanne d'étranglement est ouverte pour augmenter le débit jusqu'au débit cible tandis que le niveau d'eau dans le trou de forage et le débit de refoulement sont surveillés. L'objectif est d'enregistrer le niveau d'eau dynamique et le débit de rejet à chaque intervalle pour trouver le débit qui correspond au niveau d'eau dynamique maximal.

2. Procédure de test

A. Concevoir le test:

- a. Estimer les débits minimum et maximum du forage. Le débit maximum peut être évalué par avance à partir des estimations de rendement développées pendant le forage / construction, des enregistrements des essais de rendement et / ou des taux de pompage de la source dans le passé, du rendement de sources similaires dans la région, etc. Le débit minimum doit être faible par rapport au débit maximum estimé, mais toujours suffisant pour assurer un débit d'eau adéquat à travers la pompe afin d'éviter une surchauffe, une perte de lubrification, etc.
- b. Diviser la différence entre les débits minimum et maximum en quatre à six quantités égales. Le débit cible sera augmenté de cette quantité pendant chaque intervalle.
- c. À l'aide de la quantité d'intervalle, définir les débits cibles pour le test défini comme suit:
 - i. **Débit cible 1** = Débit minimum
 - ii. **Débit cible 2** = débit cible 1 + quantité d'intervalle calculée en A.b
 - iii. **Débit cible 3** = débit cible 2 + quantité d'intervalle calculée en A.b
 - iv. **Débit cible 4** = débit cible 3 + quantité d'intervalle calculée en A.b
 - v. **Débit cible 5** = débit cible 4 + quantité d'intervalle calculée en A.b
 - vi. **Continuer à augmenter le débit cible autant de fois que nécessaire jusqu'à ce que le rendement maximum soit déterminé.**

B. Retirer la pompe existante, la conduite montante, etc., si nécessaire.



C. Nettoyer et désinfecter tous les composants à placer dans la source pour éviter qu'elle ne soit contaminée par l'équipement d'essai

D. Mesurer et enregistrer le diamètre et la profondeur totale (profondeur jusqu'au fond solide) du forage.

E. Installer la pompe d'essai à la profondeur / à l'emplacement souhaité et assembler la tuyauterie, le câblage, le compteur, le robinet-vanne et tous les tuyaux et / ou tuyaux requis.

F. Mesurer et enregistrer le niveau d'eau statique.

G. Régler la vanne d'arrêt de manière à ce qu'elle soit presque entièrement fermée.

H. Démarrer le générateur et allumer la pompe.

Toute l'eau prélevée doit être évacuée loin du forage afin d'éviter qu'elle ne retourne dans le trou de forage. Un emplacement pour évacuer correctement toute l'eau prélevée doit être convenu avec le propriétaire du projet et les autres parties impliquées dans le projet.

I. Débit cible 1

a. Ajuster (ouvrir) la vanne d'arrêt pour atteindre le débit cible 1.

b. Enregistrer le débit de refoulement et le niveau d'eau à intervalles de 1 minute pendant les 15 premières minutes, puis à intervalles de 5 minutes pour le reste de l'étape de 60 minutes (ou un intervalle de temps plus long, si désiré ou nécessaire pour la stabilisation du niveau d'eau).

c. Si le débit change de plus de 10% à tout moment pendant les 60 minutes, ajuster la vanne d'arrêt pour essayer de maintenir le débit cible à moins de 10%, en faisant très attention à ne pas sur-ajuster.

J. Débit cible 2

a. Au bout des 60 minutes, ajuster (ouvrir) la vanne d'arrêt pour atteindre le débit cible 2.

b. Enregistrer le débit de refoulement et le niveau d'eau toutes les 1 minute pendant les 15 premières minutes, puis à intervalles de 5 minutes pour le reste de l'étape de 60 minutes.

c. Si le débit change de plus de 10% à tout moment pendant les 60 minutes, ajuster la vanne d'arrêt pour essayer de maintenir le débit cible à moins de 10%, en faisant très attention à ne pas sur-ajuster

K. Répéter l'étape J pour les débits cibles 3, 4 et 5.

a. Si le niveau d'eau tombe au niveau minimum déterminé à tout moment pendant ces intervalles, réduire le débit afin que le niveau d'eau ne descende pas en dessous du minimum. L'objectif est que le débit de rejet et le niveau d'eau dynamique se stabilisent au niveau minimum déterminé ou aussi près que possible. Ajuster lentement le débit jusqu'à ce que cet objectif soit atteint. Passer ensuite à l'étape M.

L. Si le niveau minimum déterminé n'a pas été atteint, continuer à augmenter le débit cible de la quantité d'intervalle toutes les heures. Enregistrer le débit de refoulement et le niveau d'eau comme décrit à l'étape J. Si le niveau d'eau tombe au niveau minimum déterminé à tout moment pendant ces intervalles, réduire le débit afin que le niveau d'eau ne descende pas en dessous du minimum. L'objectif est que le débit de rejet et le niveau d'eau dynamique se stabilisent au niveau minimum déterminé ou aussi près que possible. Ajuster lentement le débit jusqu'à ce que cet objectif soit atteint. Passer ensuite à l'étape M ou N selon l'option décrite ci-dessous.

M. Comme option, il est également permis de sauter l'étape M et de passer à l'étape N, si M pourra être exécuté un jour ultérieur. Si l'étape M est effectuée ultérieurement, les étapes N à P doivent être complétées après l'étape L (c'est-à-dire le premier jour de test) et après l'étape M (c'est-à-dire le deuxième jour de test). Pour terminer cette étape, maintenir le niveau d'eau dynamique maximal et le débit de refoulement déterminés à l'étape K ou L pour le rappel du test de 24 heures. 24 heures est la durée minimale. Si désiré, ou nécessaire pour d'autres raisons, le test peut dépasser 24 heures

- a. Continuer à faire de petits ajustements de la vanne d'arrêt si nécessaire pour maintenir le débit de refoulement à moins de 10% du débit déterminé à l'étape K ou L.
- b. Enregistrer le débit de décharge et le niveau d'eau dynamique par paliers d'une heure jusqu'à ce qu'une période de 24 heures se soit écoulée depuis le début de l'étape H (ou le début de l'étape M si elle est effectuée un autre jour).
- c. Si le débit de refoulement et le niveau d'eau dynamique continuent à rester stables et à rester au niveau minimum déterminé ou au-dessus, alors ce débit de refoulement est le rendement maximum.

N. À la fin de la période d'essaie de pompage, éteindre la pompe (et le générateur le cas échéant).

O. Il convient de laisser une période de récupération au forage afin que le niveau re-atteigne son état initial d'avant le test. Cette période de récupération est tout aussi importante que la période de pompage, car cette période indique également la transmissivité de l'aquifère entourant le forage. Le niveau d'eau doit être enregistré toutes les minutes pendant les quinze premières minutes après l'arrêt de la pompe. Ensuite, le niveau d'eau doit être enregistré toutes les cinq minutes jusqu'à ce que 60 minutes se soient écoulées depuis l'arrêt de la pompe. Après cela, le niveau d'eau doit être enregistré toutes les dix minutes jusqu'à ce que le niveau d'eau revienne au niveau d'eau statique, ou à moins de 10% du niveau d'eau statique. Si le niveau d'eau ne se rétablit pas à moins de 10% des conditions préalables au test, les résultats du test de rendement ne peuvent pas être considérés comme concluants et des tests supplémentaires (ou des tests répétés) sont nécessaires.

P. À la fin du test, retirer tout l'équipement de test et nettoyer et restaurer le site dans son état d'origine, tout en se rappelant de nettoyer et de désinfecter toute pompe, tuyauterie, câblage, etc.

2.3.1.1.3. Options de test de rendement de forage

Le test de rendement maximal décrit ci-dessus est l'option recommandée pour déterminer le rendement maximal d'un forage. Cependant, il existe deux autres options pour déterminer les caractéristiques du forage. Le premier, appelé test de rendement spécifique, consiste à viser un rendement inférieur au rendement maximal du forage. La principale raison d'effectuer un tel test serait liée au fait que le débit de conception (voir **3.1. Débit de conception**) pour le système d'eau proposé serait nettement inférieur au rendement maximal du forage. Il peut encore être intéressant de connaître le rendement maximal (par exemple, pour faire la comparaison avec les forages dans la zone environnante, collecte de données sur l'aquifère, utilisation future possible du forage). La réalisation d'un test de rendement spécifique est similaire



Rendement d'une source d'eau de surface

De nombreuses sources d'eau de surface peuvent ne pas avoir besoin d'être testées pour connaître le rendement disponible, en raison de la grande quantité d'eau disponible. Ce qui s'appliquerait aux grands lacs, rivières et sources de grande capacité.



au test de rendement maximum. Le principal changement dans la procédure d'essai est d'arrêter d'augmenter le débit de refoulement lorsque le débit spécifique souhaité est atteint. La décision de réaliser ce type de test doit être prise par l'ingénieur de conception responsable du project.

La deuxième option consiste à effectuer le test de rendement pendant moins de 24 heures. La principale raison de cette option serait s'il y a un problème sérieux ou une limitation à la réalisation du test pendant toute la durée comme décrit précédemment. Au minimum, le test de rendement devrait durer aussi longtemps que la production quotidienne prévue du projet d'eau. Par exemple, une pompe alimentée uniquement par l'énergie solaire ne peut produire de l'eau qu'environ 7 à 8 heures par jour. Dans ce cas, un test de 7 à 8 heures peut suffire, si un test de 24 heures ne peut pas être effectué. Cependant, il est important de noter que le fait qu'un forage produise un certain débit pendant une heure ou deux ne signifie pas qu'il peut maintenir ce débit pendant de longues périodes. De plus, comme indiqué dans les étapes ci-dessus, les tests peuvent être effectués sur deux jours, l'étape M étant effectuée un jour différent. Là encore, la décision du type de test de rendement à effectuer doit être prise par l'ingénieur de conception responsable du project ou être acceptée par l'ingénieur de conception responsable du project.

2. Rendement d'une source d'eau de surface

De nombreuses sources d'eau de surface peuvent ne pas avoir besoin d'être testées pour le rendement disponible, en raison de la grande quantité d'eau disponible. Cela s'appliquerait aux grands lacs, rivières et sources de grande capacité. Cependant, dans le cas des petits cours d'eau et des sources de faible capacité, il est crucial de trouver un moyen de déterminer le rendement en eau disponible. Quelle que soit la méthode utilisée, il est essentiel de connaître le rendement de la source pour garantir le succès du système d'eau à l'énergie solaire.

Un autre facteur à considérer lors de la conception est de savoir si la source d'eau de surface connaît une saison de faible rendement sur une base annuelle ou seulement pendant les saisons sèches. De plus, s'il y a d'autres utilisateurs d'eau en aval de la source d'eau, le maintien du débit requis par les utilisateurs en aval est également une considération de conception nécessaire à prendre en compte.

3. Rendement durable ou rendement admissible

L'une des préoccupations courantes de l'utilisation de tout type de pompe mécanisée ou à énergie solaire est le pompage excessif ou la surexploitation. C'est l'une des raisons pour lesquelles un test de rendement correctement effectué sur la source d'eau est essentiel à la conception d'un projet d'eau alimenté par l'énergie solaire. Une pompe surdimensionnée installée en permanence endommagera l'hydrologie naturelle et la pompe elle-même au fil du temps. Une pompe sous-dimensionnée peut entraîner une frustration de la part des utilisateurs qui s'attendaient à un taux de production d'eau plus élevé. La raison d'un test de rendement correctement effectué est de choisir une pompe qui équilibre le rendement disponible de la source avec les besoins des utilisateurs d'eau.

Il est important de reconnaître que le rendement de la source peut changer selon les saisons (par exemple, un rendement plus faible pendant la saison sèche et un rendement plus élevé pendant la saison des pluies). Si tel est le cas, il est conseillé de tester la source à la période de l'année où le rendement sera le plus bas. Si le projet en question ne peut pas attendre qu'un test de rendement soit effectué pendant la saison avec le rendement le plus bas, alors des recherches devraient être



Photo avec autorisation de Water Mission

faites pour faire la meilleure estimation possible de la condition de faible rendement pour faire avancer le projet. Cette méthodologie doit avoir le plein accord de toutes les parties impliquées dans le projet avant de progresser.

Il est également important de noter qu'il n'est pas rare que les autorités locales exigent que les systèmes d'eau à énergie solaire nouvellement construits n'utilisent qu'un certain pourcentage du montant du test de rendement. Ceci est considéré comme un rendement acceptable, ou sécurisé, et est généralement maintenu entre 80% et 90% du seuil des résultats des tests de rendement (bien que certaines autorités exigent que ce rendement ne s'élève pas à plus de 60%). De plus, comme indiqué précédemment, s'il y a d'autres utilisateurs de la même source d'eau, le pourcentage du rendement qui peut être utilisé par le système d'eau solaire doit être déterminé et accepté par toutes les parties concernées avant que la conception du système d'eau puisse continuer d'avancer.

2. Conditions de source

Des conditions supplémentaires de la source d'eau auront divers effets potentiels sur la conception du système d'alimentation en eau solaire.

1. Conditions de forage

Si le système utilise de l'eau souterraine via un trou de forage, alors la taille du tubage (diamètre) du trou de forage aura un effet direct sur la taille de la pompe et du moteur qui peuvent être sélectionnées. De plus, le type de tubage, l'emplacement du tamisage et la profondeur totale du trou de forage seront des informations nécessaires à la conception du système.

2. Élévation de la source d'eau

À la fin du test de rendement sur la source d'eau, les niveaux d'eau statique et dynamique sur la source seront connus (voir **2.3.1.1. Rendement à la source d'eau d'un forage**). La différence d'élévation de ces niveaux par rapport au réservoir de stockage d'eau (et à tout système de traitement d'eau utilisé) aura un effet direct sur la conception des composants du système d'eau (voir **3.2. Sélection de la pompe et du moteur (ou sélection de l'ensemble de pompe photovoltaïque)**).

Il est également important de reconnaître que, similaire au changement saisonnier du rendement à la source (voir **2.3.1.3. Rendement durable ou rendement admissible**), les niveaux statiques et dynamiques peuvent eux aussi changer selon les saisons. Si tel est le cas, il est conseillé de tester la source au moment de l'année où les niveaux seront au plus bas. Si le projet en question ne peut pas attendre qu'un test soit effectué lorsque les niveaux seront au plus bas, alors des recherches devraient être faites pour réaliser la meilleure estimation possible des niveaux les plus bas pour faire avancer le projet. Cette méthodologie doit avoir le plein accord de toutes les parties impliquées dans le projet avant de progresser.

3. La qualité d'eau

Le traitement d'eau n'est pas spécifiquement abordé dans ce guide de conception. Cependant, la qualité d'eau de la source d'eau peut néanmoins influencer la conception du système d'eau solaire. Le premier effet potentiel est lorsque la qualité d'eau de la source est nocive pour l'homme lors de sa consommation. Il est possible que l'eau soit de si mauvaise qualité que la source est rejetée pour tout projet de consommation humaine. Cependant, si un système de traitement est disponible, alors ce dernier devra être inclus dans la conception globale du système d'eau. Si le moyen de traitement d'eau choisi est un système de traitement en ligne sur la ligne d'alimentation, cela nécessitera une certaine quantité d'énergie de la pompe et du moteur, qui doit être prise en compte dans la conception.

L'autre considération pour la qualité d'eau est lorsque la source a une caractéristique qui serait corrosive pour la pompe, le moteur et / ou d'autres composants du système de transport d'eau. Une quantité importante de solides en suspension dans l'eau de source, indiquée par une mesure de turbidité élevée, entraînera une sur-usure de certaines pompes et peut même rendre certaines pompes inutilisables. Un projet prélevant de l'eau à la source avec une turbidité élevée devrait soit utiliser un certain type de processus de pré-sédimentation avant la pompe, soit utiliser une pompe conçue pour gérer le débit d'eau avec une turbidité élevée.

De plus, une teneur élevée en chlorure, une conductivité élevée, matières dissoutes totales (MDT) élevées et des niveaux de pH acide de l'eau de source peuvent provoquer la corrosion de certains métaux, et endommager les pompes et tuyaux. Une eau très dure peut entraîner l'accumulation de dépôts de carbonate (entartrage) et réduire la capacité d'un tuyau.



La qualité d'eau

La qualité d'eau de la source est susceptible d'influencer la conception d'un système d'alimentation en eau fonctionnant à l'énergie solaire.



Si ces conditions sont présentes dans une source d'eau, elles doivent être traitées lors de la conception. L'utilisation de certains matériaux ou le prétraitement d'eau peut atténuer les conditions, ou une autre source d'eau peut être sécurisée pour éviter complètement ces conditions.

Si l'eau du système est en fin de compte destinée à la consommation humaine, une gamme complète d'analyses de la qualité d'eau doit être effectuée sur la source d'eau. Un système d'alimentation en eau à énergie solaire de haute qualité ne répondra toujours pas aux besoins des utilisateurs finaux si la qualité d'eau rend l'eau inutilisable. Dans ce cas, l'utilisation d'une méthode de traitement d'eau conçue pour rendre l'eau potable pour la consommation humaine est essentielle. En effet, un avantage clé du pompage solaire (ou de tout pompage mécanisé) par rapport au pompage manuel est la possibilité d'inclure un traitement en ligne dans le système d'alimentation en eau.

La CEI 62253 (6.2. Données client) stipule que la qualité d'eau « doit être conforme aux réglementations internationales ou nationales ».

2.3.2.4. Conditions géographiques

La distance entre la source d'eau et le réservoir de stockage d'eau (et tout système de traitement d'eau utilisé) aura un effet direct sur les composants du système (voir **2.4 Le design du système d'aduction d'eau**). Il peut également y avoir des problèmes de sécurité, des dangers potentiels et des obstacles de construction (tels que les obstructions existantes de roches et de racines d'arbres sur les tracés de canalisations) qui doivent être prises en compte lors de l'aménagement et de la conception du système d'eau. Ces considérations poseraient des défis pour la conception de tout projet d'eau, mais les projets d'eau alimentés à l'énergie solaire en particulier peuvent rencontrer des obstacles supplémentaires à cause de la puissance requise pour faire des aménagements appropriés.

2.4. Le design du système d'aduction d'eau

(Référence CEI 62253 – 6.2. Données client, a. Géographie, c. Conditions locales spécifiques)

Le design du système fait référence à l'emplacement et à la disposition de tous les composants du système d'eau. Les plans d'exécution du système d'alimentation en eau comprendra toutes les informations relatives au système de transport d'eau, y compris le cheminement des tuyaux, le matériau des tuyaux, la taille des tuyaux et l'épaisseur de la paroi des tuyaux (diamètre extérieur et diamètre intérieur). Le design définitif affectera directement le choix de la pompe et du moteur et le design du champ photovoltaïque ainsi que le design électrique. De plus, tous les changements d'élévation entre chaque composant du système doivent être planifiés et conçus pour. Cela inclurait les différences d'élévation entre le niveau d'eau dynamique de la source d'eau, l'élévation du réservoir de stockage d'eau et l'élévation de tout traitement d'eau inclus dans le système. Si une certaine pression d'eau est également requise au point de refoulement, comme dans le cas des sprinklers d'irrigation, cela devra également être pris en compte. De plus, toute la tuyauterie doit être acheminée pour éviter les zones sujettes à l'érosion due au ruissellement des eaux de pluie.

Tous ces éléments contribueront à la HMT du système d'eau, qui correspond à la quantité d'énergie requise par la pompe pour que l'eau s'écoule au débit adéquat. En supposant que le projet ne nécessite pas de pression en sortie et que l'énergie cinétique est inexistante dans le système (typique des projets d'approvisionnement en eau en milieu rural), alors la HMT est la somme de l'énergie potentielle (différence d'élévation entre le niveau d'eau initial et final), la perte de charge par friction (due au frottement avec le tuyau) et pertes de charge mineures (des composants du système canalisé). Ce guide de conception ne présente pas les méthodes de calcul de la HMT, car les méthodes de calcul de la HMT pour un système de pompage à énergie solaire ne changent pas des méthodes utilisées avec tout autre système de pompage mécanisé.

Au début de la conception, la disposition peut être préliminaire et ne peut être confirmée qu'à la fin de la conception. Ainsi, il est courant que le processus de conception soit itératif. L'emplacement des principaux composants et les caractéristiques sur les tuyaux influent le choix de la pompe et du moteur et le champ photovoltaïque. Par la suite, les caractéristiques précises de ces derniers peuvent être amenés à réviser le design de toute la partie hydraulique.

En ce qui concerne l'emplacement des principaux composants du système d'eau, ce guide met en garde contre l'utilisation de dispositifs de positionnement géographique (GPS) portables pour les données d'altitude. Les appareils GPS ne sont généralement précis qu'en ce qui concerne la longitude et la latitude, et n'ont pas le même niveau de précision pour les relevés d'altitude. À moins que les spécifications du fabricant du GPS indiquent que l'appareil est précis pour les relevés d'altitude, cette méthode n'est pas recommandée. Cependant, certains systèmes d'arpentage basés sur le GPS sont précis

pour prendre des mesures d'altitude. Ces systèmes de topographie suivent généralement les différences d'altitude entre plusieurs points. Tout système similaire capable de mesurer les différences d'altitude avec une précision inférieure à un mètre, et de préférence inférieure à un demi-mètre, sera approprié.

Certains projets peuvent ne pas convenir à l'installation d'un système de plus grande capacité qui correspondrait au rendement que la source d'eau peut accueillir. Cela pourrait être dû à une demande de conception inférieure au rendement maximal de la source, à des fonds de capital disponibles limités ou à d'autres contraintes politiques ou sociales. La disposition de conception du système pour ces projets reflétera cette limitation par nécessité. Cependant, il faut réfléchir à la configuration du système d'approvisionnement en vue d'une éventuelle expansion future (par exemple, si des fonds supplémentaires deviennent disponibles à une date ultérieure). Dans ce cas, le système de tuyauterie installé initialement devrait être adéquat pour un débit de conception de capacité inférieure et supérieure, et un espace adéquat pour une future extension du panneau solaire devrait aussi être prévu. Un volume de stockage d'eau supplémentaire peut également être nécessaire à cette date ultérieure.

5. Emplacement du projet

(Référence CEI 62253 – 6.2. Données client, a. Géographique, b. Données climatiques)

L'emplacement du projet affectera directement la conception de l'ensemble du champ photovoltaïque qui alimentera le système d'eau. En général, les panneaux solaires convertissent l'énergie du soleil en énergie utilisable. L'irradiation solaire correspond à la puissance radiative provenant du soleil et reçue par le panneau, elle s'exprime en puissance par joule (W/m^2). L'intensité de l'irradiation solaire dépend de plusieurs facteurs, notamment l'emplacement, la période de l'année, l'heure de la journée, ainsi que les conditions météorologiques et atmosphériques. La quantité d'énergie qu'un panneau solaire peut convertir à partir de l'énergie solaire est appelée production photovoltaïque. La CEI 62253 tient également compte d'une conception où les données de localisation spécifiques ne sont pas fournies ou connues. Dans ce cas, la conception doit suivre les données par défaut présentées dans la CEI 62124.

1. Heures de la journée et données d'irradiation pour l'emplacement du projet

La figure 2.5.1.a montre comment l'irradiation solaire change tout au long de la journée. La quantité réelle d'irradiation par heure (discutée dans la section suivante) et le nombre d'heures par d'ensoleillement varient considérablement en fonction de l'emplacement. La figure 2.5.1.b fournit une représentation graphique de la quantité d'irradiation dans différentes régions du monde.

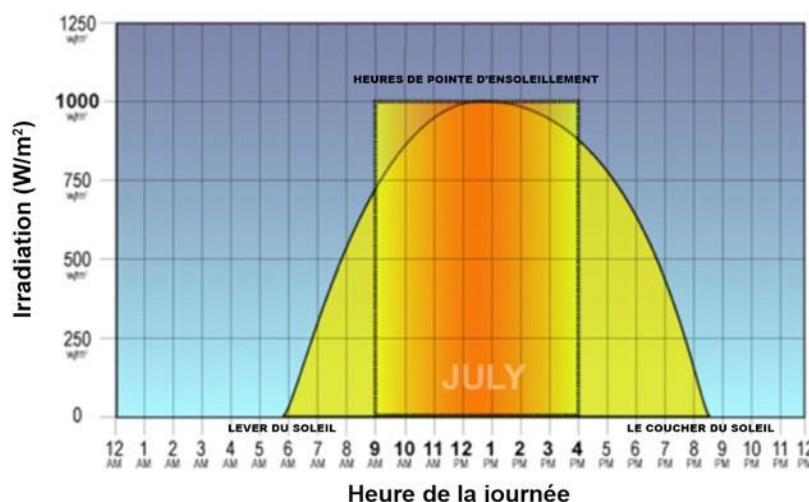


Figure 2.5.1.a – Irradiation solaire en fonction de l'heure de la journée

Source: <http://allbaysolar.blogspot.com/2013/04/peak-hours-vs-sun-hours.html>

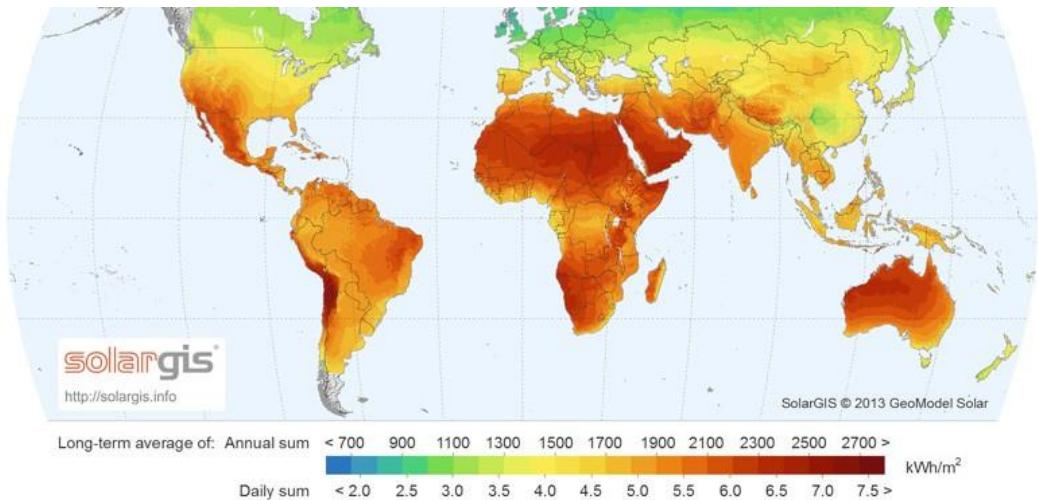


Figure 2.5.1.b – Irradiation solaire dans le monde

2.5.2. Données de température et d'irradiation pour l'emplacement du projet

Les deux principaux facteurs qui affectent la production d'énergie photovoltaïque sont la température ambiante et l'irradiation solaire. Les augmentations de la température ambiante ont un impact négatif sur la puissance produite. En d'autres termes, l'augmentation de la température entraîne une diminution de la production d'énergie. En effet, la hausse des températures entraîne une diminution de la tension, comme le montre la figure 2.5.2.a. Sachant que le produit de la tension par le courant est égal à la puissance, une diminution de la tension entraînera une diminution de la puissance.

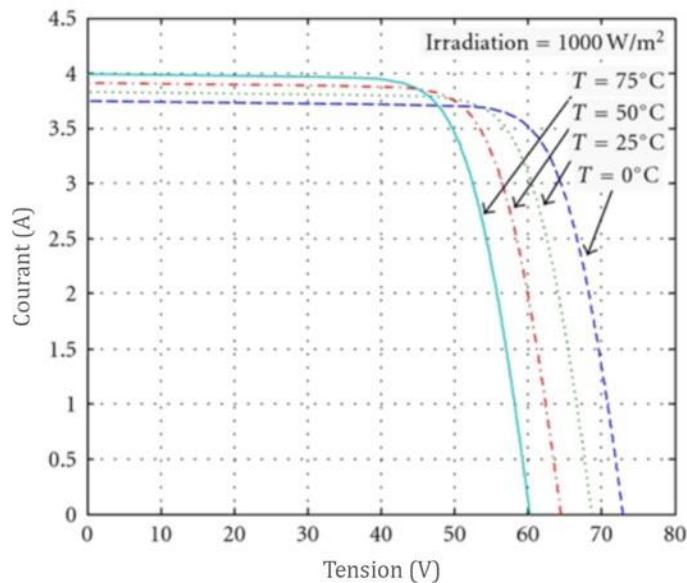


Figure 2.5.2.a – Effet de la température ambiante sur la production photovoltaïque

L'augmentation de l'irradiation solaire aura un impact positif sur la production d'énergie. Comme le montre la Figure 2.5.2.b, l'augmentation de l'irradiation correspond à une augmentation du courant. Sachant que le produit de la tension par le courant est égal à la puissance, une augmentation du courant entraînera une augmentation de la puissance. Par conséquent, l'augmentation de l'irradiation solaire entraîne une augmentation de la production d'énergie.

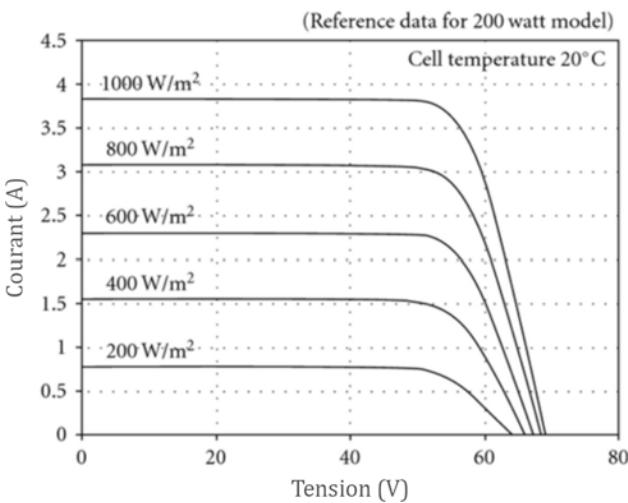


Figure 2.5.2.b – Effet de l'irradiation solaire sur la production photovoltaïque

3. Données mensuelles de température et d'irradiation

La température ambiante et l'irradiation incidente sont les seuls facteurs environnementaux nécessaires pour estimer la sortie d'un panneau solaire donné. Comme le montre **2.5.1. Heures de jour et données d'irradiation pour l'emplacement du projet**, l'irradiation augmentera de zéro au lever du soleil au maximum quotidien à midi solaire, puis redescendra à zéro au coucher du soleil. L'irradiation peut être approximée comme une fonction parabolique par rapport au temps si l'irradiation et les heures de lumière du jour sont connues.

Cependant, comme la position du soleil dans le ciel au-dessus d'un endroit donné change au cours de l'année, l'irradiation pour cet endroit change généralement chaque mois. De plus, le temps couvert bloquera l'énergie du soleil, de sorte que les saisons des pluies présentent généralement une irradiation moins intense. Les données sur la température ambiante et l'irradiation solaire sont disponibles auprès de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) des États-Unis pour n'importe quel endroit dans le monde, chaque mois de l'année (référence CEI 62253 – 6.2. Données client, b. Données climatiques, 6.3. Caractéristiques du système). Des données similaires sont également disponibles dans le système d'information géographique photovoltaïque de la Commission Européenne.

Les valeurs des données de température et d'irradiation utilisées pour concevoir le champ solaire pour un projet donné doivent être basées sur l'un des ensembles de données mensuels suivants:

- Le mois avec les valeurs d'irradiation les plus basses
- Tout ensemble individuel de données mensuelles présentant un intérêt en raison des conditions d'un projet ou des performances souhaitées
- La moyenne de toutes les données mensuelles sur l'année entière

Si l'on compte sur le système d'eau solaire pour produire une quantité déterminée d'eau chaque mois de l'année, alors le mois avec l'irradiation la plus faible doit être utilisé pour la conception du système. En effet, le générateur solaire devra fournir suffisamment d'énergie pour que la pompe fonctionne à un débit de conception dans les pires conditions d'irradiation. Cependant, la conception d'un système d'eau alimenté à l'énergie solaire aux conditions d'irradiation les plus basses n'est pas nécessairement la «pire condition» comme discuté dans la section 6.2.d) de la CEI 62253. La CEI 62253 mentionne également une date et une hauteur d'eau les plus mauvaises.

Par exemple, le mois d'irradiation la plus faible peut avoir lieu pendant la saison des pluies. Cependant, la demande en eau pendant la saison des pluies peut être inférieure à ce qu'elle est pendant le reste de l'année en raison de la collecte de l'eau de pluie ou d'autres pratiques de collecte d'eau. Par conséquent, la date des pires conditions peut se situer au cours d'un mois où les conditions d'irradiation sont moyennes, ou sont maximales, mais lorsque la demande en eau est la plus élevée en raison du manque de pluie. La détermination de ce type de condition nécessite une compréhension approfondie des modèles d'utilisation de l'eau dans une communauté sur une année entière (pour plus d'informations, voir **2.2.3. Domaine d'utilisation de l'eau**).

De plus, les pires conditions pour la hauteur de l'eau se situent généralement pendant un mois lorsque le niveau d'eau de l'aquifère tombe à un niveau bas saisonnier. Cependant, il est possible que cette condition ne corresponde pas au mois avec les valeurs d'irradiation les plus faibles. Des données hydrogéologiques et des tests approfondis de rendement et de rabattement (voir **2.3.1. Rendement à la source**) seront nécessaires pour déterminer le niveau saisonnier le plus bas.

Les conditions représentées par la demande la plus forte, associée à une irradiation disponible faible représentent les "pires conditions" pour le système. Ce sont ces conditions qui seront dimensionnantes. Si un mois autre que celui avec les valeurs d'irradiation les plus basses est déterminé comme étant le mois de la pire condition, alors le système est mieux conçu en utilisant l'ensemble de données de température et d'irradiation de ce mois spécifique.

Alternativement, si un système d'eau alimenté à l'énergie solaire n'est utilisé que pendant une saison particulière, le système doit être conçu pour les ensembles de données mensuelles de cette saison.

Une fois les pires conditions déterminées, il est bon de calculer le fonctionnement de la pompe en utilisant la moyenne annuelle des températures et la moyenne annuelle de l'irradiation afin de vérifier le fonctionnement attendu de la pompe.

Il convient également de noter que la CEI 62253 autorise une conception dans laquelle les données de température et d'irradiation spécifiques à un emplacement ne sont pas connues. Dans ce cas, la conception doit correspondre par défaut aux données présentées dans la CEI 62124 et à une température ambiante moyenne par défaut de 30 °C.

3. Sélection de la pompe et du moteur (ou sélection de l'ensemble de pompe photovoltaïque)

1. Débit de conception

Le débit de conception du système d'eau est basé sur la demande de conception (voir **2.2.6. Exigences de conception**). À un niveau simplifié, le débit de conception requis de la pompe peut être exprimé comme un volume total quotidien divisé par le nombre moyen d'heures de lumière du jour (ou heures de pointe d'ensoleillement ou d'irradiation solaire totale) là où se situe le projet (voir 2.5.3. Données mensuelles de température et d'irradiation). Cependant, cela ne sera vrai que si une puissance suffisante est fournie à la pompe pour produire une quantité d'eau spécifiée pendant chaque heure de jour. En réalité, la quantité d'énergie fournie à la pompe par le panneau solaire augmentera à mesure que le soleil se lève et diminuera à mesure que le soleil se couche. Ainsi, pendant la période de temps où le soleil se lève et lorsqu'il se couche, il se peut qu'il n'y ait pas assez de puissance pour que la pompe produise au plein débit de conception.

Pendant la phase de conception, il existe deux façons de gérer la disparité entre la puissance fournie par le panneau solaire et la puissance requise de la pompe pour produire au débit de conception. La première option consiste à supposer que l'eau n'est produite que pendant les heures de pointe d'ensoleillement. Cette option est la plus conservatrice. Si cette option est choisie, le concepteur doit s'assurer que la pompe ne peut pas être mise sous tension jusqu'à ce qu'une quantité suffisante de puissance pour démarrer un débit d'eau soit fournie. Si une pompe est autorisée à s'allumer, mais qu'elle n'est pas suffisamment alimentée pour faire circuler l'eau, la pompe surchauffera et peut éventuellement tomber en panne. Cette condition est généralement évitée par une utilisation appropriée des commandes de pompe du fabricant (ou des réglages appropriés de l'onduleur).

La deuxième option consiste à concevoir le réseau avec suffisamment de panneaux solaires pour générer la quantité d'énergie nécessaire même pendant les heures de la journée avec un rayonnement plus faible. Dans ce cas, la pompe produirait au moins le débit minimum pendant chaque heure d'ensoleillement. Cependant, cette option n'est pratique que lorsque la surface et les finances nécessaires sont disponibles pour un plus grand tableau solaire.

Quelle que soit l'option choisie, la conception complète du système d'eau alimenté par l'énergie solaire doit toujours être vérifiée pour s'assurer que la demande de conception sera satisfaite (voir 4.8. Vérification de la conception du système par rapport à la demande quotidienne en eau du projet). Il convient également de noter que si le rendement, ou le rendement admissible, de la source d'eau est inférieur au débit de conception, alors le débit de conception doit être diminué pour être égal ou inférieur au rendement de la source.

3.1.1. Complément énergétique

Le processus de conception pour fournir des sources d'énergie secondaires à la pompe et au moteur n'est pas couvert dans ce guide, à l'exception de l'énergie solaire directe. Les sources d'énergie secondaires comprendraient le réseau électrique CA, les générateurs et les batteries (y compris l'énergie solaire stockée). Cependant, si des formes d'énergie supplémentaires doivent être utilisées, le débit de conception de la pompe sera différent du débit de conception requis pour un système alimenté uniquement par l'énergie solaire directe. Au lieu de diviser le volume total par le nombre moyen d'heures de lumière du jour (ou d'irradiation solaire totale), le volume total serait divisé par le nombre total d'heures pendant lesquelles la puissance sera fournie à la pompe.

Les modes d'énergie secondaires influeront également sur le dimensionnement du stockage d'eau en atténuant les risques d'urgences et de variations météorologiques et en assurant un pompage en dehors des heures de service (voir 5. Stockage d'eau).

2. Sélection de la pompe et du moteur (ou sélection de l'ensemble de pompe photovoltaïque)

1. Types de pompe en fonction de la source d'eau

Identifier la source d'eau du projet est un facteur essentiel dans le choix de la bonne pompe. La section 2.3. Source d'eau traite des considérations relatives à la source, mais

le premier déterminant du choix de la pompe est de savoir si la source d'eau est l'eau souterraine ou l'eau de surface.

3.2.1.1. Source d'eau souterraine

Si la source est un forage (ou un puits), une pompe submersible sera généralement utilisée. La plupart des applications de pompage solaire actuelles utilisent des pompes submersibles. Logiquement, les pompes submersibles doivent être installées sous le niveau de l'eau, complètement immergées. Si la pompe est en marche lorsqu'elle est exposée à l'air, de l'air peut s'introduire dans la pompe, et pourrait causer des dommages importants. Par conséquent, la plupart des pompes submersibles ont des capteurs de fonctionnement à sec qui arrêtent la pompe si elle n'est pas complètement immergée. Les recommandations du fabricant sur la profondeur à laquelle une pompe doit être immergée dans une colonne d'eau doivent être suivies.

Il faut également reconnaître que la sélection de la pompe est limitée par le diamètre intérieur du tubage du trou de forage. Cela signifie également que si le tubage a été mal installé ou a été endommagé, tout rétréissement du tubage en tout point de la colonne de forage affectera également la taille de la pompe appropriée pour être installée dans le trou de forage. Le diamètre intérieur du tubage du trou de forage doit répondre aux exigences et aux recommandations du fabricant de la pompe. De même, un trou de forage doit être verticalement d'aplomb pour accueillir de manière appropriée une pompe submersible et une installation de conduite montante.

La courbe d'une pompe

La sélection de la pompe dépend fortement des exigences de conception (voir 2.2.6. Exigences de conception) et de la conception hydraulique.



De plus, les pompes submersibles sont très sensibles aux particules solides, elles doivent donc être utilisées principalement dans les forages où la turbidité est faible. Les pompes submersibles ne sont généralement pas recommandées dans les rivières turbulentes, les lacs ou les zones sujettes aux inondations, à moins que des moyens de protection de la pompe contre le limon et une turbidité élevée ne soient fournis. En règle générale, un puits creusé à la main (ou un forage non protégé) est également sujet à la turbidité, au limon et aux solides en raison de la construction du puits et des eaux de ruissellement. Pour ces raisons, à moins que la protection de la pompe ne puisse être facilitée, les pompes submersibles ne sont pas recommandées pour les installations de puits creusés manuellement.

3.2.1.2. Source d'eau de surface

Si l'eau de surface est la meilleure source d'eau disponible, une pompe de surface est généralement la plus appropriée. Les pompes de surface sont recommandées pour une utilisation dans de nombreuses sources d'eau, notamment les rivières, les lacs, les piscines et les réservoirs. Cependant, les pompes de surface ont une faible hauteur d'aspiration et ne peuvent pas puiser d'eau à partir de sources profondes (comme un forage ou un puits profond) ou au plus profond d'une source d'eau de surface. Par conséquent, les forages sont généralement évités lors de l'utilisation d'une pompe de surface (à moins que l'exigence de hauteur d'aspiration positive nette ne puisse être satisfaite). Il est également important de savoir qu'une pompe de surface nécessite généralement un amorçage avant utilisation.

Si une pompe de surface est utilisée, la charge nette absolue d'aspiration, ou NPSH, (NPSH = Net Positive Suction Head) doit être prise en compte. Chaque système d'eau aura une certaine quantité de NPSH disponible (NPSHd). Pour qu'une pompe de surface fonctionne correctement, le NPSHd doit être suffisamment élevé pour empêcher la vaporisation lorsque l'eau pénètre dans l'œil de la turbine. Chaque conception de roue a sa propre exigence minimale en NPSH (eNPSH). Si le NPSHd (déterminé par le système) n'est pas supérieur au eNPSH (déterminé par la pompe), l'eau se vaporisera en entrant dans la pompe. Le résultat est une perte de charge d'eau et d'efficacité ; une cavitation et érosion du rotor; et une éventuelle panne de pompe (Grundfos, 1999). Ce guide de conception ne présente pas les méthodes de calcul du NPSHd, car les méthodes sont les mêmes pour un système de pompage à énergie solaire que pour toute autre pompe mécanisée. Il faut également reconnaître que lors de l'utilisation d'une source d'eau de surface, il est courant que le niveau d'eau de la source change tout au long de l'année. Cela devra être pris en compte dans les calculs NPSH pour garantir le bon fonctionnement de la pompe.

3.2.2. La courbe de performance d'une pompe

(Référence CEI 62253 – 6.3. Caractéristiques du système)

Le but des pompes de surface et des pompes submersibles est d'ajouter de l'énergie à l'eau dans un système pour créer un flux. Ainsi, le choix de la pompe dépend fortement de la demande de conception (voir 2.2.6. Exigences de conception) et de la conception hydraulique. En d'autres termes, la pompe et le moteur seront choisis en fonction du débit de conception et de la demande de HMT subséquente de la pompe par le système d'eau. La pression (ou l'énergie par unité de volume) qu'une pompe peut fournir est connue sous le nom de charge hydraulique et est donnée comme une quantité d'élévation. La hauteur de refoulement minimale qu'une pompe doit fournir pour qu'un système d'eau produise de l'eau est égale à la HMT (voir 2.4. Le design du système d'aduction d'eau).

Le débit de conception et la HMT du système peuvent être comparés à des modèles de pompes spécifiques en utilisant des courbes de performance (ou "courbes de pompe"). Une courbe de pompe décrit la relation entre le débit et la hauteur manométrique d'une pompe. En général, le choix de la pompe nécessitera de faire correspondre le débit du système et la HMT requise à la courbe de performance d'une pompe. Les courbes de pompe sont disponibles auprès des fabricants et des fournisseurs de pompes.

3.2.2.1. Sélection d'une pompe à courant alternatif à l'aide d'une courbe de pompe traditionnelle

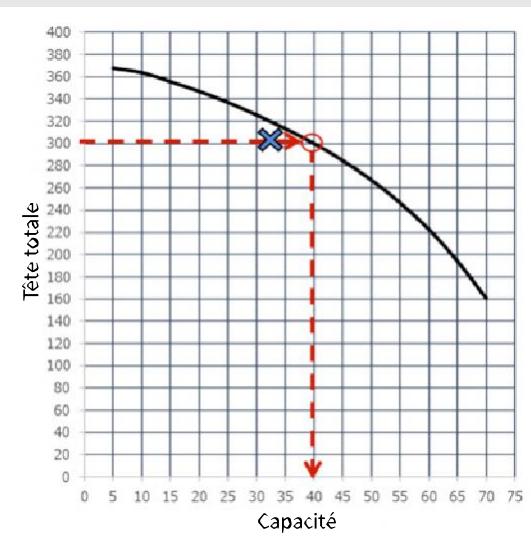
Avant d'aborder la sélection des pompes solaires, nous présenterons comment sélectionner une pompe AC en utilisant une courbe de pompe traditionnelle (note: le terme pompe AC ici est utilisé pour désigner les pompes qui ne peuvent accepter que le courant alternatif, par opposition au courant continu). Ceci est important pour la présentation des pompes solaires pour deux raisons. Premièrement, le processus de lecture des courbes de performances des pompes solaires, qui affichent les performances sous des quantités d'énergie variables, s'appuie sur la méthode de sélection d'une pompe avec une courbe de pompe traditionnelle. Les courbes de pompe traditionnelles supposent une quantité constante de puissance fournie. Deuxièmement, de nombreuses pompes AC peuvent également être alimentées par l'énergie solaire grâce à l'utilisation d'un onduleur (voir 3.5.2. Onduleurs). Ceci est important à noter, car les pompes alimentées en courant alternatif ont une plage de performances plus élevée que les pompes solaires. Certaines conceptions de système d'eau exigeront cette performance supérieure.

La puissance requise par une pompe AC est déterminée

par la pompe elle-même. Par conséquent, une courbe de pompe traditionnelle montre une seule courbe HMT en fonction du débit à la puissance requise. La première étape de la sélection d'une pompe AC consiste à en trouver une où la HMT conçue coupe la courbe de la pompe. Le point où la HMT conçue rencontre la courbe correspond au débit potentiel sur l'axe des x. C'est le débit que la pompe peut atteindre étant donné la HMT spécifiée et les conditions idéales. Ce débit potentiel doit être supérieur au débit de conception. Si la pompe est incapable de produire de l'eau au débit de conception (c'est-à-dire que le débit potentiel est inférieur au débit de conception), une autre pompe doit être choisie. L'exemple suivant détaille le processus de sélection d'une pompe AC avec une courbe de pompe traditionnelle.

Exemple: La sélection d'une pompe AC

Sélectionner une pompe AC pour un système conçu avec un débit de $33 \text{ m}^3 / \text{h}$ et une HMT de 300 m.



Courbe de performance de la pompe AC

Étape 1: Trouver une pompe qui peut atteindre la HMT conçue.

La courbe de performance de la pompe indique une plage d'une HMT d'environ 160-370 m. Par conséquent, la pompe est capable d'une HMT conçue de 300 m.

Étape 2: Trouvez le débit potentiel de la pompe au HMT conçu.

Trouver le point sur la courbe de pompe qui correspond à une valeur HMT de 300 m. Ensuite, trouver la valeur sur l'axe des abscisses (c'est-à-dire le débit potentiel) qui correspond à ce point. Sur la base de la courbe de performance de la pompe AC, la pompe peut générer $40 \text{ m}^3 / \text{h}$ à une HMT de 300 m.

Étape 3: S'Assurer que le débit potentiel dépasse le débit prévu.

L'étape 2 a déterminé que le débit potentiel est de $40 \text{ m}^3 / \text{h}$ à une HMT de 300 m, ce qui dépasse le débit prévu de $33 \text{ m}^3 / \text{h}$.

Étape 4: Déterminer la puissance requise.

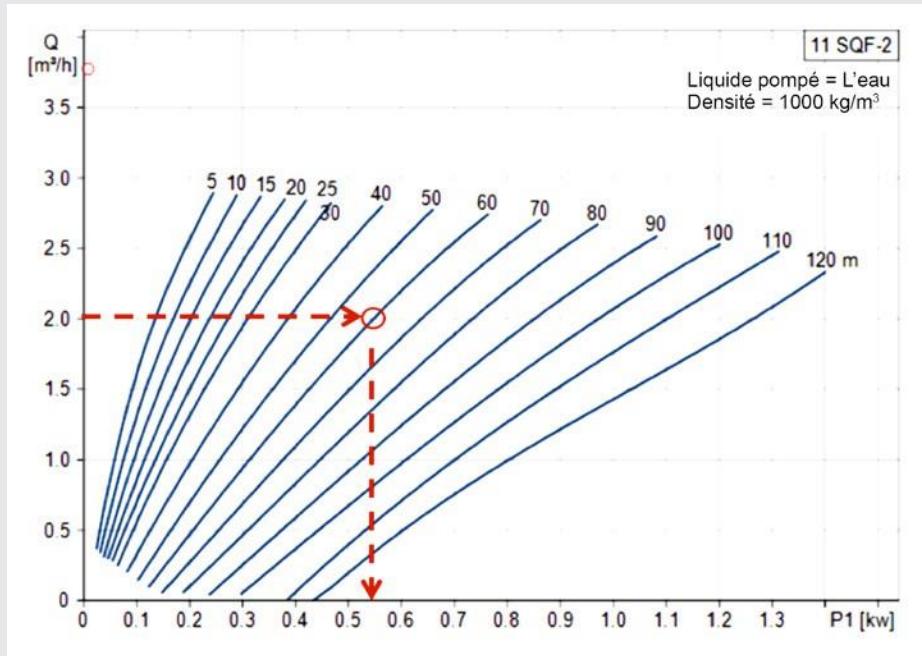
Après avoir sélectionné la pompe, la quantité d'énergie nécessaire dépendra des exigences de la pompe et du moteur. Ces informations doivent être disponibles dans les spécifications du fabricant.

3.2.2.2. La sélection d'une pompe à l'aide des courbes de performance de la pompe solaire

Chaque pompe solaire aura une gamme de conditions de HMT et de débit qu'elle pourra satisfaire en fonction de la quantité d'énergie fournie. Par conséquent, une pompe solaire aura plusieurs courbes de performance pour couvrir une gamme de conditions. Les débits correspondants sont représentés graphiquement sur l'axe y, tandis que la puissance requise est représentée graphiquement sur l'axe x. La première étape consiste à trouver une pompe dont la capacité de pompage comprend la valeur calculée pour le système. En d'autres termes, l'une des courbes de performance de la pompe correspondra à la HMT du système conçu. Ensuite, le débit de conception sur l'axe y doit croiser cette courbe de performance. Le point sur le graphique où le débit nominal et la HMT se croisent sera en corrélation avec la puissance requise sur l'axe x. Ce processus est illustré dans l'exemple suivant.

Exemple: La sélection d'une pompe solaire

Sélectionner une pompe solaire submersible pour un système avec un débit de $2 \text{ m}^3 / \text{h}$ et une HMT de 60 m.



Courbe de performance d'une pompe solaire Grundfos 11 SQF-2

Étape 1: Trouver une pompe qui peut atteindre la HMT conçue pour le système.

Utiliser les courbes de performance pour déterminer la plage de HMT que chaque modèle de pompe peut atteindre. Sur la base de la courbe, le Grundfos 11 SQF-2 varie en HMT de 5 à 120 m, ce qui rentre la conception du système de 60 m.

Étape 2: S'assurer que la pompe en question peut atteindre le débit prévu du système.

L'axe y du graphique de la courbe de performance montre les débits que la pompe peut produire. En regardant le graphique, le 11 SQF-2 peut pomper environ 0 à $3 \text{ m}^3 / \text{h}$, ce qui comprend la conception du système de $2 \text{ m}^3 / \text{h}$. Plus précisément, la marque $2 \text{ m}^3 / \text{h}$ croise la courbe de performance de 60 m. Cela indique que le Grundfos 11 SQF-2 peut répondre à la conception du système.

Étape 3: Déterminer la puissance requise.

Trouver le point sur le graphique où la marque $2 \text{ m}^3 / \text{h}$ coupe la courbe HMT de 60 m. Ensuite, descendre directement sur l'axe x pour déterminer la puissance requise. D'après le graphique, le Grundfos 11 SQF-2 nécessite environ 550 W pour réaliser le débit attendu par le système.

Plusieurs modèles de pompes peuvent être en mesure d'atteindre le débit attendu étant donnée la HMT du système. Si tel est le cas, il s'agit de déterminer la puissance requise pour chacune des pompes qui pourraient être utilisées. Ensuite, il est recommandé de sélectionner le modèle avec le taux de rendement le plus élevé pour le débit et la HMT requis, ou au moins le besoin de puissance le plus bas.

Si le projet en cours de conception ne dispose pas des fonds d'investissement disponibles pour la pompe, le moteur et le champ solaire de plus grande capacité, il est possible d'installer un système de capacité inférieure pour lequel les fonds d'investissement sont disponibles. Comme mentionné dans **2.4. Le design du système d'aduction d'eau**, la recommandation serait d'installer un système de tuyauterie qui soit adéquat pour un débit de capacité inférieur et supérieur, et de s'assurer qu'il y ait suffisamment

d'espace pour une éventuelle extension future du champ solaire pour une pompe de plus grande capacité. Un volume de stockage d'eau supplémentaire peut également être nécessaire.

3.2.2.3. Logiciel de dimensionnement du fabricant

De nombreux grands fabricants de pompes solaires fournissent des outils informatiques en ligne et hors ligne pour aider dans le processus de conception et de sélection (par exemple, Grundfos, Lorentz et Franklin proposent chacun des outils pour aider à la sélection de leurs produits respectifs). Les utilisateurs entrent des critères de conception tels que la demande en eau, le rendement de la source d'eau, le type de source d'eau, les informations sur le système d'eau, l'emplacement du site et les conditions d'irradiation. Les outils renvoient alors plusieurs configurations d'équipement qui peuvent atteindre les critères de conception pouvant ensuite être évalués par l'utilisateur.

Avec un utilisateur compétent, ces outils peuvent conduire à une sélection efficace et efficiente de l'équipement et de la conception du système. Cependant, sans données de conception précises et sans connaissance adéquate des principes sous-jacents, ces outils peuvent aboutir à un équipement de taille inadéquate. L'utilisateur doit comprendre les données des critères de conception afin d'utiliser les outils avec précision. Les propriétaires ne sont pas en mesure d'évaluer la pertinence de certaines sélections d'équipements au-delà des critères d'entrée ou au-delà des offres de produits du fabricant. L'utilisateur doit donc être en mesure de fournir cette évaluation. L'ingénieur en charge doit néanmoins s'assurer que les exigences de la norme CEI 62253 sont respectées par la conception.

3.3. Puissance requise

Il est essentiel de fournir la bonne quantité de puissance (puissance en watts) pour que la pompe (et l'onduleur, le cas échéant) fonctionne au débit de conception et aux exigences de la HMT.

3.3.1. Puissance requise par le moteur de la pompe

L'énergie que la pompe peut finalement ajouter à l'eau dépendra de la puissance fournie au moteur de la pompe. La puissance requise par un moteur de pompe peut être rapidement identifiée par la courbe de pompe fournie par le fabricant et les informations qui l'accompagnent.

3.3.2. Puissance requise par l'onduleur

Si un onduleur est utilisé (voir **3.5.2. Onduleurs**), il est

important de prendre en compte le fait que l'onduleur aura également des pertes de puissance. Ainsi, la puissance d'entrée requise par l'onduleur sera supérieure à la puissance du moteur (voir **4.1.3. Pertes de puissance**).

4. Spécifications du fabricant

1. Le moteur

Une fois la puissance du moteur identifiée, il est important d'identifier également la plage de tension d'entrée et la consommation maximale de courant du moteur. La tension fournie par le panneau solaire devra dépasser la tension minimale requise par le moteur de la pompe, sinon la pompe ne démarrera pas. De plus, la tension du panneau solaire ne doit pas dépasser la tension maximale acceptable pour le moteur de la pompe, sinon elle endommagera le moteur. La plupart des moteurs de pompe sont équipés d'une protection contre les surtensions (et sous-tensions), ce qui signifie que le moteur et la pompe s'arrêteront automatiquement si la tension fournie tombe en dehors de la plage acceptée.

En ce qui concerne le courant, le moteur de la pompe ne consommera que jusqu'à un certain nombre d'ampères identifié dans les spécifications du moteur de la pompe. Si le panneau solaire fournit un courant supérieur à l'ampérage maximum du moteur de la pompe, la puissance réelle utilisée par le moteur sera basée sur l'ampérage maximum du moteur et non sur l'ampérage fourni par le panneau solaire.

3.4.2. L'onduleur

Si un onduleur est utilisé, l'onduleur lui-même aura une plage de tension d'entrée acceptable (VCC). Si la tension fournie par le panneau solaire ne se situe pas dans la plage de tension acceptable pour l'onduleur, l'onduleur ne fonctionnera pas.

Concernant le courant, un onduleur ne pourra fournir qu'un certain nombre d'ampères au moteur de la pompe. Si le panneau solaire fournit un ampérage à l'onduleur qui dépasse la quantité que l'onduleur fournira au moteur de la pompe, la puissance utilisable sera basée sur l'ampérage maximum que l'onduleur peut fournir au moteur de la pompe et non sur l'ampérage fourni par le panneau solaire.

La conception et l'utilisation d'un onduleur doivent être conformes aux normes CEI 62109-1 et CEI 62109-2.

3.5. Équipement de la pompe auxiliaire et du moteur

En fonction de la marque et du modèle de la pompe et du moteur, il s'agit d'identifier tous les équipements auxiliaires nécessaires au bon fonctionnement de la pompe et du moteur. Ceux-ci peuvent inclure, mais sans s'y limiter,



Équipement de la pompe auxiliaire et du moteur

Lors de la sélection de tous les équipements auxiliaires, il est essentiel que les équipements soient adaptés à la forme de puissance qu'ils transmettront.



des unités de commande, des onduleurs, des interrupteurs ou des coffrets de disjoncteurs, des interrupteurs à flotteur et des capteurs / interrupteurs de marche à sec. Il est essentiel dans le choix de tous les équipements auxiliaires que les composants choisis soient adaptés à la catégorie de courant d'emploi (AC ou CC).

La conception et l'utilisation d'un onduleur ou d'une autre unité de conditionnement de puissance doivent être conformes aux normes CEI 62109-1 et CEI 62109-2.

1. Unités de contrôle

Certains fabricants de pompes ont recommandé des unités de commande qui accompagnent certains modèles de pompes. Ceux-ci sont généralement recommandés pour un contrôle approprié de la pompe et du moteur.

2. Onduleurs

Un onduleur convertit la sortie de courant CC des panneaux solaires en courant AC. Ainsi, avec le bon onduleur, la plupart des pompes AC peuvent être alimentées par un panneau solaire. Les onduleurs sont généralement utilisés dans un système d'eau alimenté à l'énergie solaire lorsque la capacité de la pompe nécessaire dépasse la capacité des combinaisons pompe et moteur (ou les ensembles de pompe photovoltaïque) qui peuvent recevoir une entrée CC. Les combinaisons de pompe et de moteur qui nécessitent une entrée AC ont généralement des capacités beaucoup plus élevées.

L'onduleur approprié doit être sélectionné pour alimenter la pompe requise pour le projet. Les paramètres critiques pour déterminer la compatibilité et la capacité d'un onduleur à alimenter une pompe spécifique sont:

- puissance nominale de l'onduleur (kW AC),
- phase de sortie de l'onduleur,
- tension de sortie de l'onduleur (volts AC),
- courant de sortie maximal de l'onduleur (ampères AC),
- tension d'entrée minimale (VCC) de l'onduleur, et
- tension d'entrée maximale de l'onduleur (VCC).

Si ces valeurs sont en conflit avec celles de la pompe sélectionnée, l'onduleur n'est pas compatible avec la pompe. En règle générale, la collecte d'informations et le processus de prise de décision peuvent être accélérés en utilisant l'onduleur recommandé par le fabricant de la pompe spécifique à un projet. Une fois l'onduleur sélectionné, les tensions CC d'entrée minimale et maximale acceptables pour l'onduleur seront nécessaires pendant la conception du champ solaire (voir **4. Conception du système photovoltaïque**).

3.5.3. Interrupteurs à flotteur

Les interrupteurs à flotteur sont utilisés pour activer ou désactiver une pompe en fonction du niveau d'eau dans un réservoir de stockage. Pour les réservoirs de stockage d'eau après la pompe, l'interrupteur à flotteur est installé de manière à éteindre la pompe lorsque le réservoir est plein. Par conséquent, l'interrupteur à flotteur est installé de sorte qu'il flotte horizontalement sur la surface de l'eau lorsque le réservoir est plein. En position horizontale, un contact électrique à l'intérieur du flotteur se ferme, ce qui envoie un signal à l'unité de commande de la pompe. Ce signal arrête la pompe. Lorsque l'eau sort du réservoir, le niveau d'eau baisse et le flotteur se déplace vers une position verticale. Cela rouvre le contact et reprend le fonctionnement de la pompe jusqu'à ce que le réservoir soit rempli. Il existe également des interrupteurs à flotteur qui peuvent être utilisés pour vidanger les réservoirs. Ces interrupteurs à flotteur mettent la pompe en marche lorsque le réservoir est plein, puis éteignent la pompe une fois que le réservoir atteint un point bas défini (sans laisser la pompe fonctionner à sec). Ils sont généralement utilisés dans les systèmes d'eau où l'eau doit être stockée avant la pompe.

On devrait également noter que tout le câblage de l'interrupteur à flotteur aura une distance maximale pouvant être admise entre l'interrupteur et l'unité de commande de la pompe. Les interrupteurs à flotteur sont généralement disponibles pour tout système de pompe mécanisé. Ils sont particulièrement avantageux dans un système à énergie solaire où toute la puissance du soleil des heures de pointe d'ensoleillement est utilisée pour pomper de l'eau pour remplir des réservoirs de stockage qui seront vidangés pendant les heures de la journée où le soleil sera couché (voir **5. Stockage d'eau**).

3.5.4. Interrupteur / capteur de marche à sec

Un capteur ou un interrupteur de fonctionnement à sec est un accessoire qui empêche la pompe de fonctionner en l'absence d'eau. Le fonctionnement d'une pompe dans des conditions sèches augmente la chaleur et le frottement à l'intérieur de la pompe, causant des dommages, voire une défaillance, de la pompe. De plus, le fonctionnement d'une pompe à sec dans un trou de forage peut provoquer un encrassement biologique dans la source d'eau. Par conséquent, l'utilisation d'une protection contre la marche à sec est essentielle au succès continu de tout système d'eau utilisant une pompe mécanisée, y compris les systèmes à énergie solaire.

Certaines pompes sont équipées d'un capteur intégré dans le câble du moteur qui transmet des signaux directement à l'unité de commande de la pompe pour arrêter la pompe lorsque le capteur est exposé à l'air au lieu de l'eau. Si une pompe n'est pas équipée, le capteur de marche à sec peut généralement être fourni en tant qu'équipement auxiliaire. Le capteur est normalement placé à environ 0,5 m au-dessus de la pompe.

3.6. Conception de l'installation de la pompe et du moteur

Les exigences de placement et d'installation de la pompe et du moteur doivent être déterminées lors de la conception. Celles-ci incluent, mais sans s'y limiter: l'emplacement de la pompe par rapport au niveau d'eau (ou niveau d'eau dynamique); les exigences de la hauteur d'aspiration positive nette de la pompe (si une pompe de surface est utilisée); les exigences de câblage (y compris la mise à la terre); toute exigence d'amorçage de la pompe; et toute exigence relative à l'installation d'équipement auxiliaire.

De plus, la conception de l'installation doit fournir une protection adéquate à la pompe et au moteur pour garantir de bonnes performances tout au long de la durée de vie prévue. Ainsi donc, des mesures doivent être conçues pour protéger la pompe et le moteur des dangers environnementaux, animaux ou humains. Ceux-ci incluent, mais sans s'y limiter, une exposition prolongée à la lumière directe du soleil ; toute possibilité d'impacts négatifs sur la qualité de l'eau pompée ; l'exposition à des événements météorologiques dangereux communs à l'emplacement ; et l'altération ou le vandalisme par des animaux ou des humains. Dans le cas d'une pompe submersible dans un trou de forage, le puits doit être correctement scellé et tubé, et a un bouchon de puits de haute qualité avec joint sanitaire. Pour les installations de pompage utilisant des sources d'eau de surface, une protection adéquate comprend un grillage filtrant, conformément aux exigences du fabricant de la pompe.

Pour les pompes submersibles installées dans les forages, la conception de l'installation doit également inclure une ligne de sécurité, ainsi que des moyens pour retirer la pompe pour une maintenance ultérieure. Un câble en polypropylène ou un câble tressé en acier inoxydable est recommandé pour une utilisation comme ligne de sécurité

4. Conception du système photovoltaïque

1. Conception du champ solaire

La configuration du champ solaire ou du tableau solaire sélectionné doit fournir la puissance requise par la pompe et le moteur sélectionnés, ou l'onduleur, le cas échéant (voir **3.3. Puissance requise**), et doit satisfaire à toutes les spécifications du fabricant de la pompe et du moteur (voir **3.4. Spécifications du fabricant**). Ainsi, la puissance à fournir par un champ solaire doit être estimée pour vérifier si la conception du champ solaire est appropriée pour la pompe et le moteur requis par le système d'eau. L'estimation de la puissance de sortie d'une conception de panneaux solaires implique:

- De calculer la puissance de sortie des panneaux solaires correspondant aux conditions d'irradiation et de température ambiante de l'emplacement du projet (voir **4.1.1. Sélection des panneaux solaires**);
- De calculer la puissance de sortie du champ solaire en raison de la configuration des panneaux (voir **4.1.2. Configuration du champ solaire**);
- Puis d'ajuster la puissance de sortie du champ solaire calculée en fonction des pertes de puissance du système (voir **4.1.3. Pertes de puissance**).

Toutes les conceptions et installations de panneaux solaires doivent être conformes aux exigences de conception CEI 62548 pour les groupes photovoltaïques (PV).



Conception d'installation de la pompe et du moteur

Sélection du panneau solaire



Photo avec autorisation de l'UNICEF (en haut) et de Water Mission (en bas).

1. Sélection du panneau solaire

La quantité d'énergie convertie par les panneaux solaires dépendra de leur conception et de leurs spécifications. Les panneaux solaires ont plusieurs caractéristiques qui sont importantes dans l'estimation de leur puissance. Ces caractéristiques sont fournies sur les spécifications du panneau solaire et les fiches techniques du fabricant (bien que les informations fournies et la terminologie puissent différer selon les fabricants).

Le point de puissance maximale (P_{max}) est la puissance de sortie maximale du panneau (cela peut également être appelé puissance de crête ou puissance nominale par des fabricants différents).

La tension maximale du point de puissance (V_{ppm}) est la tension qui correspond au point de puissance maximum.

Le courant de point de puissance maximum (I_{ppm}) est le courant qui correspond au point de puissance maximum

La tension de circuit ouvert (V_{oc}) est la tension qui se produit lorsqu'il n'y a pas de charge sur les panneaux solaires.

Le courant de court-circuit (I_{sc}) est le courant maximum que le panneau solaire peut gérer dans des conditions de court-circuit.

Le coefficient thermique (TCV_{oc}) est utilisé pour estimer la tension en circuit ouvert d'un panneau solaire lorsque la température de la cellule augmente. TCV_{oc} est mesuré en V / °C.

La température nominale d'utilisation des cellules (NOCT) est la température de fonctionnement attendue d'une cellule mesurée à une irradiation de 800 W / m² et une température ambiante de 20 °C.

Les valeurs de ces caractéristiques varieront pour chaque modèle de panneau solaire. Tous les panneaux solaires utilisés dans un réseau devrait avoir les mêmes caractéristiques. (Pour connaître l'effet de la connexion de panneaux solaires de tension et / ou de courant nominal différents, voir **4.1.2. Configuration du champ solaire.**) De plus, il est préférable pour la construction les panneaux solaires soient de la même longueur et largeur.

Le point de puissance maximale, la tension de point de puissance maximale, le courant de point de puissance maximal, la tension de circuit ouvert, le courant de court-circuit et le coefficient de température sont les principales caractéristiques des panneaux et sont fournis par les fabricants dans des conditions de test standard (STC) de 1000 W / m², avec une masse d'air de 1,5 et une température de cellule de 25 °C. Cependant, ces conditions standards sont en réalité rarement, voire jamais, réunies. Par conséquent, la plupart des panneaux solaires ne produiront pas la puissance nominale maximale lorsqu'ils sont installés sur le terrain.

Le calcul des performances estimées d'un panneau solaire dans les conditions de terrain est présenté dans **4.1.1.1. Calcul des performances estimées d'un panneau pour l'emplacement du projet**. Tout panneau solaire sélectionné doit être conforme aux normes internationales CEI:

- CEI 61215-1 Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 1: Exigences d'essai.
- CEI 61215-1-1 Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 1-1: Exigences particulières d'essai des modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin
- CEI 61215-1-2 Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 1-2: Exigences particulières d'essai des modules photovoltaïques (PV) au tellure de cadmium (CdTe) à couches minces
- CEI 61215-1-3 Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 1-3: Exigences particulières d'essai des modules photovoltaïques (PV) au silicium amorphe à couches minces
- CEI 61215-1-4 Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 1-4: Exigences particulières d'essai des modules photovoltaïques (PV) au Cu(In,Ga)(S,Se)2 à couches minces

- CEI 61215-2 Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 2: Procédures d'essai

4.1.1.1. Calcul des performances estimées d'un panneau pour l'emplacement du projet

(Référence CEI 62253 – 6.3. Caractéristiques du système)

La puissance (en watts) estimée de sortie du panneau solaire doit être calculée en fonction de la température ambiante et de l'irradiation solaire de l'emplacement du projet (Voir 2.5.3. Données mensuelles pour déterminer quel ensemble de données mensuelles de température ambiante et d'irradiance utiliser pour ces calculs).

Comme mentionné précédemment, les spécifications des panneaux solaires sont fournies dans des conditions de test standard. Cependant, ces conditions sont rares sur le terrain. Généralement, l'irradiation passera de zéro au lever du soleil au maximum quotidien au midi solaire, puis redescendra à zéro au coucher du soleil. La température fluctuera également au cours de la journée. En raison de ces variations de température ambiante et d'irradiation, les panneaux solaires ne fonctionnent généralement pas selon leurs spécifications STC. La puissance réelle d'un panneau solaire donné peut être calculée si la température ambiante et l'irradiation sont connues. Pour calculer la puissance (puissance en watts) d'un panneau solaire, suivez les étapes ci-dessous.

Étape 1: Calculer la température de la cellule. Il s'agit de la température des cellules du panneau solaire en fonction de l'irradiation et de la température ambiante à l'emplacement spécifique du projet.

$$\text{Temp cellule } (\text{°C}) = \text{Temp Ambiante } (\text{°C}) + (\text{NOCT} - 20\text{°C}) \times \frac{\text{Irradiance } (\frac{\text{W}}{\text{m}^2})}{800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$$

Étape 2: Calculer la tension en circuit ouvert à la température de la cellule. La tension en circuit ouvert variera en fonction de la température de la cellule conformément à la valeur TC V_{oc}.

$$V_{\text{oc}} = \text{STC } V_{\text{oc}} + (\text{Temp cellule} - 25\text{°C}) \times \text{STC } V_{\text{oc}} \times \text{TC } V_{\text{oc}}$$

Étape 3: Calculer le courant de court-circuit à l'irradiation incidente donnée. Ceci ajuste le courant de court-circuit standard à l'irradiation réelle de l'emplacement du projet.

$$I_{\text{cc}} = \text{STC } I_{\text{cc}} \times \frac{\text{Irradiation } (\frac{\text{W}}{\text{m}^2})}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$$

Étape 4: Calculer le courant de point de puissance maximal à l'irradiation donnée. Ceci ajuste le courant de point de puissance maximum standard à l'irradiation réelle de l'emplacement du projet.

$$I_{\text{ppm}} = \text{STC } I_{\text{ppm}} \times \frac{\text{Irradiation } (\frac{\text{W}}{\text{m}^2})}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$$

Étape 5: Calculer la puissance du panneau solaire dans les conditions données. Ceci ajuste le point de puissance maximum standard à la température ambiante et l'irradiation réelles sur le site du projet.

$$P_{\text{max}} (\text{W}) = V_{\text{oc}} \times I_{\text{cc}} \times \frac{\text{STC } I_{\text{ppm}} \times \text{STC } V_{\text{ppm}}}{\text{STC } I_{\text{cc}} \times \text{STC } V_{\text{oc}}}$$

Étape 6: Calculer la tension maximale du point de puissance du panneau. Cela ajuste la tension de point de puissance maximale standard à la température ambiante et l'irradiation réelles sur le site du projet.

$$V_{ppm} = \frac{P_{max}}{I_{ppm}}$$

CEI 62253 – 6.3. Caractéristiques du système, exige que la puissance de sortie du champ solaire soit évaluée pour un minimum de quatre ensembles de données de température et d'irradiation différents à l'emplacement du projet, en particulier 100%, 80%, 60% et 40% des conditions de puissance maximale. Cela signifie qu'on doit effectuer les calculs ci-dessus pour évaluer les performances d'un panneau solaire individuel en termes de puissance de sortie pour ces quatre conditions au minimum.

4.1.2. Configuration du champ solaire

Un panneau solaire aura une production photovoltaïque limitée en fonction de sa conception. Dans la plupart des situations, un seul panneau ne fournira pas assez d'énergie pour un projet d'eau. Par conséquent, plusieurs panneaux sont réunis pour former un groupe afin d'augmenter la puissance de sortie globale (puissance en watts).

La puissance peut être augmentée de deux manières: par une augmentation de la tension ou par une augmentation du courant. La configuration du câblage du champ solaire a un impact direct sur l'augmentation de la tension ou du courant. Il existe deux configurations de câblage possibles, en série ou en parallèle, illustrées par la figure 4.1.2. ci-dessous.

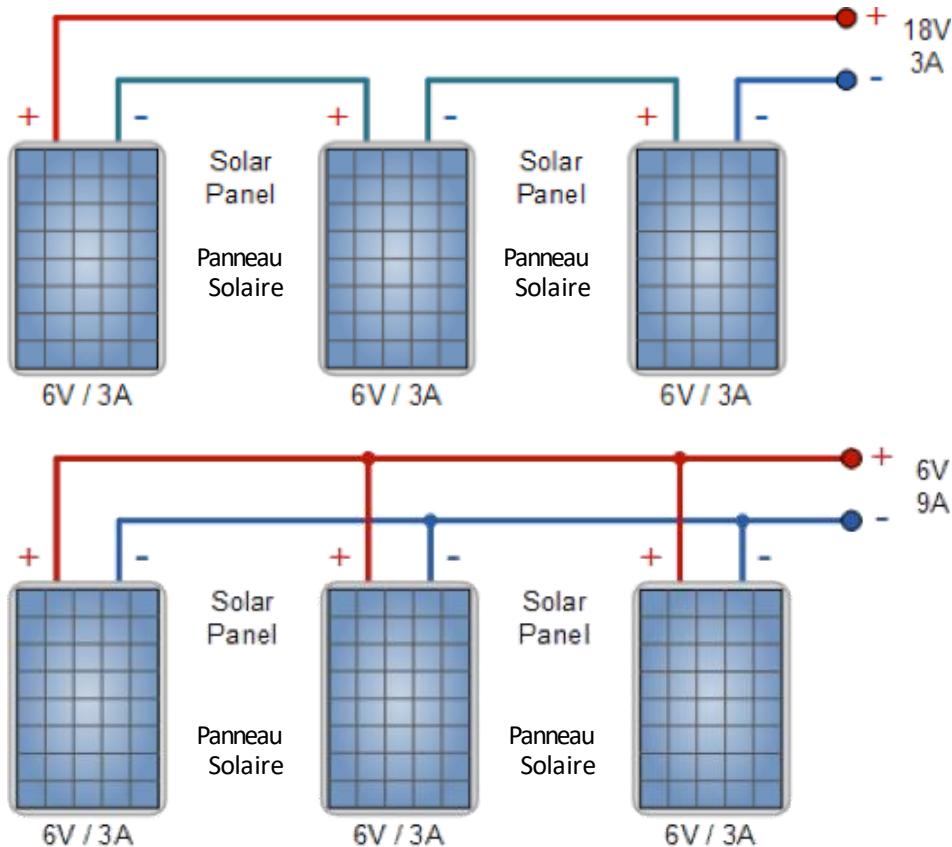


Figure 4.1.2.– Comparaison des panneaux solaires câblés en série (en haut) et en parallèle (en bas)

Le câblage des panneaux solaires en série augmente la tension, tandis que le courant reste le même. S'il est câblé en série, la tension totale (V_T) du tableau sera égale à la somme de la tension individuelle de chaque panneau (V_i). Ceci est représenté par l'équation suivante, où n est le nombre total de panneaux.

$$V_T = n \times V_i$$

Cette équation n'est valable que si tous les panneaux ont la même tension. Il est également possible d'utiliser des panneaux avec des tensions différentes, mais les panneaux câblés en série doivent avoir le même courant (AET, 2017). Si les panneaux n'ont pas le même courant, la chaîne de panneaux sera limité par le courant du panneau solaire ayant le plus faible courant.

Alternativement, le câblage des panneaux en parallèle augmente le courant plutôt que la tension. En parallèle, le courant total (I_T) d'un champ solaire sera égal à la somme du courant individuel de chaque panneau (i_i), comme représenté dans l'équation suivante, où n est le nombre total de panneaux.

$$I_T = n \times i_i$$

Cette équation n'est valable que si tous les panneaux ont le même courant. Il est également possible de câbler des panneaux avec différents courants, ensemble, en parallèle. Cependant, si les panneaux n'ont pas la même tension, le tableau sera limité à la valeur de tension du panneau ayant la plus faible tension.

Alors qu'un champ solaire est défini comme un groupe de panneaux solaires câblés ensemble en série ou en parallèle, les panneaux sont généralement câblés ensemble pour augmenter la tension et atteindre la puissance maximale avec le moins de panneaux solaires. Cependant, il convient de noter qu'un tableau solaire peut également être constitué de plusieurs chaînes de panneaux solaires. Chaque chaîne est composée d'un certain nombre de panneaux solaires connectés en série, et chaque chaîne est connectée en parallèle. L'utilisation de plusieurs chaînes est typique pour les moteurs de pompe qui nécessitent une puissance élevée.

La puissance connue des panneaux solaires individuels et la configuration du tableau peuvent être utilisées pour estimer la puissance du tableau solaire à l'aide des équations suivantes:

$$\text{Tableau solaire } V_{oc} = V_{oc} \text{ par panneau} \times \text{nombre de panneau} \times \text{en série}$$

$$\text{Tableau solaire } V_{ppm} = V_{ppm} \text{ par panneau} \times \text{nombre de panneau} \times \text{en série}$$

$$\text{Tableau solaire } I_{ppm} = I_{ppm} \text{ par panneau} \times \text{nombre de chaines parallèles}$$

Tableau solaire P_{max} (W) = Tableau solaire

$$I_{ppm} \times \text{Tableau solaire } V_{ppm}$$

Il est important de noter que ce sont les V_{oc} par panneau, V_{ppm} par panneau et I_{ppm} par panneau utilisés dans les équations ci-dessus qui doivent être ajustées pour les conditions de température et d'irradiation de l'emplacement et non les valeurs STC tirées des spécifications du fabricant du panneau solaire. L'ajustement de ces valeurs pour les conditions de température et d'irradiation est détaillé dans la section **4.1.1.1. Calcul de la performance estimée d'un panneau pour l'emplacement du projet**.

La puissance de sortie totale (puissance en watts) d'un groupe de panneau solaire doit être calculée pour toute une gamme de températures ambiantes et d'irradiations afin de confirmer que le panneau répondra aux besoins du projet dans diverses conditions. Plus précisément, les données mensuelles de température et d'irradiation que le concepteur a décidé comme étant les « pires conditions » doivent être évaluées pour confirmer qu'une quantité d'eau acceptable sera fournie par la pompe et le réseau sélectionnés dans ces conditions (voir **2.5.3. Température mensuelle et Données d'irradiation**).

CEI 62253 – 6.3. Caractéristiques du système, exige que la puissance de sortie du panneau solaire soit évaluée pour un minimum de quatre ensembles de données de température et d'irradiation différents à l'emplacement du projet, en particulier 100%, 80%, 60% et 40% du conditions de puissance maximale.

4.1.3. Pertes de puissance

(référence **CEI 62548**)

De plus, lors de la phase d'évaluation du panneau solaire, il est important de prendre en compte les pertes de puissance du système. Un facteur de déclassement doit être appliqué à la puissance de sortie estimée d'un panneau solaire pour prendre en compte toute source de perte de puissance prévue dans le système.

De nombreuses raisons peuvent expliquer les pertes du système:

Classification de la plaque signalétique: Tous les panneaux solaires ne sont pas évalués avec précision, ce qui signifie que la mesure réelle des caractéristiques électriques d'un panneau individuel peut différer de la valeur nominale de la plaque signalétique. Les performances réelles d'un panneau individuel peuvent être inférieures, ou parfois même supérieures, à la note du panneau. La tolérance de puissance se trouve entre 0,80 à 1,05. Si des informations spécifiques sur le panneau ne sont pas disponibles, la valeur recommandée est 0,99.



Lors de l'évaluation de l'installation solaire, il est important de prendre en compte les pertes de puissance du système. Un facteur de déclassement doit être appliqué à la puissance de sortie estimée d'un panneau solaire pour tenir compte de toute source de perte de puissance dans le système.



Décalage: Les imperfections de fabrication entre les panneaux individuels d'un champ solaire peuvent entraîner de légères différences dans les caractéristiques de courant et de tension des panneaux. La tolérance de puissance se trouve entre 0,97 à 1,0. Si les informations spécifiques du panneau ne sont pas disponibles, la valeur recommandée est 0,98.

Connexions: Les connecteurs utilisés dans un système ont des pertes de résistance. Les valeurs de facteur de déclassement qui peuvent être acceptées vont de 0,99 à 0,997. Si les informations de connecteur spécifiques ne sont pas disponibles, la valeur recommandée est 0,995.

Câblage: Le câblage utilisé pour le réseau de panneaux présente également des pertes de résistance. Les valeurs de facteurs de déclassement qui peuvent être acceptées vont de 0,97 à 0,99. Si des informations de fil spécifiques ne sont pas disponibles, la valeur recommandée est 0,98. (voir **4.3.1. Des panneaux solaires à la pompe pour une discussion sur la chute de tension dans le câblage.**)

Encrassement: Toute accumulation de saleté et de débris à la surface des panneaux solaires peut empêcher le rayonnement solaire d'atteindre les cellules du panneau et entraîner une diminution de la production d'électricité. Cette accumulation dépend des conditions d'emplacement du panneau solaire et du protocole de maintenance, ainsi que des conditions météorologiques locales. Les zones à fort trafic et à forte pollution connaîtront le plus grand potentiel de pertes dues aux salissures. La fréquence de la pluie et du lavage des panneaux influencera l'impact des salissures sur la production d'électricité. À des fins de conception, la valeur du facteur de déclassement recommandée est de 0,98, avec une bonne planification et une maintenance responsable.

Disponibilité du système: Les arrêts système programmés et non programmés (c'est-à-dire pour la maintenance ou à cause de pannes) entraîneront une réduction de la puissance de sortie du système. À des fins de conception, la valeur recommandée du facteur de déclassement est de 0,97.

Ombrage: Lorsque des arbres, des bâtiments ou d'autres obstacles à proximité créent des ombres sur la surface des panneaux, la puissance de sortie n'atteindra pas sa capacité maximale. Ainsi, toutes les mesures doivent être prises pour s'assurer que l'ombrage ne sera ressenti à aucun moment de l'année où le panneau sera censé produire de l'énergie (voir **4.6. Emplacement du champ solaire**). Il convient également de noter que si un panneau est organisé en plusieurs rangées de modules, il est important que les rangées individuelles elles-mêmes ne créent pas d'ombres sur les panneaux. De plus, à mesure que la végétation environnante se développe, une partie de l'entretien du panneau solaire devrait inclure la gestion de cette croissance pour éviter l'ombrage futur. À des fins de conception, la valeur recommandée du facteur de déclassement est de 0,97.

Age: Le vieillissement des panneaux solaires affectera à terme les performances du réseau. Un facteur de déclassement n'a pas besoin d'être utilisé pour cette considération, à moins que des panneaux déjà vieillis ne soient utilisés pour construire le tableau (ce qui n'est pas recommandé dans ce guide).

Dégénération induite par la lumière: Au cours des premiers mois de fonctionnement, certains panneaux solaires subiront une baisse de performance en raison de la dégradation induite par la lumière. À des fins de conception, la valeur du facteur de déclassement recommandée pour cette considération est de 0,985.

Pertes de l'onduleur: Si le système solaire utilise un onduleur (voir **3.3.2. Puissance requise par l'onduleur**), le rendement de l'onduleur devra également être pris en compte. Si des informations spécifiques sur l'efficacité de l'onduleur ne sont pas disponibles, la valeur de facteur de déclassement recommandée pour cette considération est de 0,96.

En réunissant toutes les pertes de puissance potentielles, la recommandation de ce guide est d'appliquer un facteur de déclassement global entre 0,85 et 0,90 pour un système sans onduleur ou entre 0,82 et 0,85 pour un système avec onduleur.

$$\text{Tableau solaire } P_{\text{déclassée}} \text{ (W)} = \text{Tableau solaire } P_{\text{max}} \text{ (W)} \times \text{Facteur de déclassement}$$

4. Vérification de la puissance fournie

L'estimation finale de la puissance du panneau solaire (puissance) fournie au moteur de la pompe doit correspondre à la puissance requise par le moteur de la pompe (et / ou l'onduleur, le cas échéant) pour que la pompe fonctionne selon les conditions de débit et de HMT. De plus, il est important de se rappeler que l'irradiation varie au cours de la journée (voir **2.5. Emplacement du projet**). Cela signifie que la quantité d'énergie fournie par le panneau solaire à la pompe changera au cours de la journée.

Si les calculs ci-dessus pour le tableau solaire ne fournissent pas suffisamment de puissance à la pompe et au moteur pendant une durée suffisante chaque jour pour produire la quantité d'eau souhaitée, le champ photovoltaïque devra être repensé.

5. Vérification de la tension et de l'ampérage fournis

La tension fournie par le panneau solaire devra dépasser la tension minimale requise par le moteur de la pompe, sinon la pompe ne démarrera pas. De plus, la V_{oc} du panneau solaire calculée doit être inférieure à la tension maximale acceptée par le moteur de la pompe. La plupart des moteurs de pompe sont équipés d'une protection contre les surtensions (et sous-tensions), ce qui signifie que le moteur et la pompe s'arrêteront si la tension fournie se situe en dehors de la fourchette acceptée.

En ce qui concerne le courant, le moteur de la pompe ne consommera que jusqu'à un certain ampérage, identifié dans les spécifications du moteur de la pompe. Si le panneau solaire fournit un courant supérieur à l'ampérage maximum du moteur de la pompe, la puissance réelle utilisée par le moteur sera basée sur l'ampérage maximum du moteur et non sur l'ampérage fourni par le panneau solaire.

De plus, si un onduleur est utilisé, l'onduleur lui-même aura également sa propre plage de tensions d'entrée acceptables. Si la tension fournie par le panneau solaire ne se situe pas dans la plage de tension acceptable pour l'onduleur, ce dernier ne fonctionnera pas.

Concernant le courant, un onduleur ne pourra fournir qu'un certain ampérage au moteur de la pompe. Si le panneau solaire fournit un ampérage à l'onduleur qui dépasse la quantité que l'onduleur peut fournir au moteur de la pompe, la puissance utilisable sera basée sur l'ampérage maximum que l'onduleur peut fournir au moteur de la pompe et non sur l'ampérage fourni par le panneau solaire.

2. Autres exigences d'installation

1. Angle d'inclinaison du champ solaire

Les panneaux solaires ne doivent jamais être installés à un angle d'inclinaison de 0° , car cela encouragerait la collecte de poussière, de terre et de débris, qui auraient un effet négatif sur la production d'énergie du panneau. De plus, l'angle d'inclinaison optimal pour que le panneau reçoive la quantité maximale d'irradiation incidente sera généralement supérieur à 0° . En règle générale, il est préférable de régler l'angle d'inclinaison de tous les panneaux solaires du réseau afin qu'il corresponde à la latitude de l'emplacement du projet, pour une irradiation optimale tout au long de l'année. Par exemple, un panneau installé à 20° nord (ou sud) doit être installé avec un angle d'inclinaison de 20° .

Cependant, certains écarts pourraient être envisagés. Si la latitude de l'emplacement du projet est inférieure à 15° , alors la recommandation de ce manuel est de régler l'angle d'inclinaison à 15° . En effet, 15° est un angle d'inclinaison minimum pour favoriser le lavage par pluie ou eau de lavage, permettant à l'eau de tomber sur le panneau pour enlever la poussière, la terre et les débris de la surface du panneau (Solar World Technical Bulletin, 2016). De plus, si le système de pompage solaire n'est pas conçu pour fonctionner toute l'année, mais seulement pendant certains mois, il peut être approprié d'incliner les panneaux solaires à un angle qui maximisera l'irradiation incidente reçue par le panneau seulement pendant les mois de fonctionnement.

L'angle d'inclinaison doit être établi lors de la conception du tableau photovoltaïque et la construction du champ solaire doit correspondre à l'angle d'inclinaison conçu.



L'angle d'inclinaison du champ solaire

Un angle d'inclinaison optimal permettra à l'installation solaire de recevoir la quantité maximale d'irradiation incidente.



4.2.2. Orientation du champ solaire

Si le projet est dans l'hémisphère nord, les panneaux doivent faire face plein sud. Si le projet est dans l'hémisphère sud, les panneaux doivent être orientés plein nord. En général, ces orientations basées sur l'emplacement maximiseront l'irradiation incidente reçue par les panneaux solaires. Cependant, si le système de pompage à énergie solaire n'est pas conçu pour fonctionner toute l'année, mais uniquement pendant certains mois, il peut être approprié d'orienter les panneaux solaires dans une direction légèrement différente pour maximiser l'irradiation incidente reçue par le panneau seulement pendant les mois de fonctionnement. En outre, certains tableaux solaires sont conçus pour utiliser des panneaux orientés à l'est et à l'ouest afin de maximiser la production d'énergie solaire lorsque le soleil se lève et se couche. Il s'agit simplement d'une configuration optionnelle et atypique.

La direction dans laquelle le tableau sera orienté doit être établie lors de la conception du générateur photovoltaïque, et la construction du champ solaire doit correspondre à la direction conçue.

3. Exigences relatives aux câbles électriques

1. Des panneaux solaires à la pompe

L'intensité admissible du type de matériau et la taille du fil utilisé doivent être appropriées pour que le courant soit transmis, y compris tout facteur appliqué en raison du respect requis des codes électriques applicables à l'emplacement du projet (tels que CEI 60947-1, 62253 et 62548, ainsi que les codes NEC applicables). Le câblage inclut, mais sans s'y limiter, le câblage entre les panneaux solaires, le câblage des panneaux solaires combinés au contrôleur de pompe et le câblage au moteur de la pompe. De plus, si des sources secondaires d'alimentation sont utilisées, tout le câblage de ces sources d'alimentation au moteur de la pompe doit être correctement dimensionné pour que le courant soit transmis.

L'ensemble des câbles à utiliser dans le système et le cheminement de chaque longueur de fil doivent être identifiés lors de la conception. La construction du système doit respecter la conception de tout le câblage. De plus, il est recommandé que la chute de tension continue (VD) due à la longueur, au type de matériau et à la taille du fil ne dépasse pas les 5%.

Le calcul de la chute de tension CC sur les fils est une étape importante dans la conception de tableaux solaires. La chute de tension est la réduction du potentiel électrique qui se produit lorsque l'électricité se déplace à travers des matériaux résistifs comme les fils. Pour le câblage CC, le VD est calculé à l'aide de l'équation suivante, où L est la longueur du fil (en mètres ou pieds) et R est la résistance du fil (en Ω / km ou Ω / kft):

$$VD = 2 \times L \times R \times \frac{I}{1000}$$

La résistance est déterminée par le matériau et la section transversale (ST) du fil. La résistance pour différentes tailles de fil revêtu de cuivre est indiquée dans le tableau ci-dessous. Résistance des fils de cuivre à 75 ° C (de NEMA)

| TAILLE DE FIL | CSA | | RÉSISTANCE | |
|---------------|------------------|-----------------|------------|-------|
| | Mils Circulaires | mm ² | Ω/KM | Ω/kft |
| 18 AWG | 1620 | 0,823 | 27,700 | 8,450 |
| 16 AWG | 2580 | 1,31 | 17,300 | 5,290 |
| 14 AWG | 4110 | 2,08 | 10,700 | 3,260 |
| 12 AWG | 6530 | 3,31 | 6,730 | 2,050 |
| 10 AWG | 10380 | 5,261 | 4,226 | 1,290 |
| 8 AWG | 16510 | 3,867 | 2,653 | 0,809 |
| 6 AWG | 26240 | 13,3 | 1,671 | 0,510 |
| 4 AWG | 41740 | 21,15 | 1,053 | 0,321 |
| 2 AWG | 66360 | 33,62 | 0,661 | 0,201 |

La résistance dépend également de la température, donc les chiffres du tableau ci-dessus doivent être ajustés pour des températures autres que 75 ° C. Ces ajustements peuvent être effectués à l'aide de l'équation ci-dessous, où T2 est la température du conducteur, R2 est la résistance à T2 et R1 est la résistance à 75 ° C.

$$R2 = R1 [1 + 0,00323 (T2 - 75)]$$

Une fois que la chute de tension continue est connue, elle peut être utilisée pour calculer la tension et la puissance finales du panneau solaire. Pour déterminer la tension finale, il s'agit de faire la soustraction de la chute de tension de la V_{ppm} du tableau (c'est-à-dire la tension au début du fil). La multiplication de la tension finale par l' I_{ppm} du panneau solaire donnera la puissance finale.

4.3.2. Mise à la terre

(Référence CEI 60347-7-712 et 62548)

Chaque système de pompage solaire doit être mis à la terre de manière appropriée. En règle générale, le fabricant de chaque composant du système publiera des exigences et des recommandations pour une mise à la terre appropriée. Ceux-ci incluent, mais sans s'y limiter, les cadres et le support des panneaux solaires, le moteur de la pompe et l'unité de commande, et l'onduleur (le cas échéant).

4. L'identification des composants supplémentaires du champ solaire

1. Les disjoncteurs et les sectionneurs

Les disjoncteurs et les sectionneurs doivent être utilisés conformément aux codes électriques applicables à l'emplacement du projet (tels que les codes CEI ou NEC). De plus, ils doivent être utilisés conformément aux exigences et recommandations des fabricants de panneaux solaires et de moteurs. Tous les interrupteurs utilisés doivent être dimensionnés de manière appropriée, en fonction de la puissance qu'ils sont censés véhiculer. Ainsi, les disjoncteurs et les sectionneurs acheminant le courant continu doivent être conçus pour le courant continu, et les disjoncteurs et les sectionneurs acheminant le courant alternatif doivent être conçus pour le courant alternatif. Le fait de ne pas utiliser l'interrupteur approprié peut entraîner une surchauffe et une défaillance de l'interrupteur et peut potentiellement provoquer un incendie.

De plus, chaque interrupteur doit avoir un ampérage maximal qui dépasse l'ampérage qu'il véhiculera, y compris tout facteur appliqué en raison du respect requis des codes électriques applicables à l'emplacement du projet (tels que les codes CEI ou NEC). Il faut noter que les unités de contrôle de certains fabricants de pompes servent également d'interrupteur.

2. Boite de jonction

Une boîte de jonction est utilisée pour connecter les chaînes d'un tableau solaire. Comme indiqué précédemment, chaque chaîne sera constituée d'un certain nombre de panneaux solaires connectés en série, puis chaque chaîne sera connectée en parallèle. De nombreuses pompes à énergie solaire ne nécessiteront qu'une seule chaîne de panneaux solaires connectés en série, ce qui signifie qu'une boîte de jonction ne sera pas nécessaire. Cependant, certains moteurs de pompe qui nécessitent une puissance élevée (par exemple, la plupart des systèmes nécessitant un onduleur) auront besoin de plusieurs chaînes de panneaux solaires combinées en parallèle. En règle générale, une boîte de jonction est nécessaire lorsque quatre chaînes ou plus doivent être combinées.

Les boîtes de jonction doivent être conformément utilisées aux codes électriques applicables au site du projet (tels que les codes CEI ou NEC). En outre, elles doivent être utilisées conformément aux exigences et recommandations des fabricants de panneaux solaires et de moteurs. Toutes les boîtes de jonction utilisées doivent être évaluées de manière appropriée pour la forme de puissance et la quantité d'ampérage qu'elles sont censées transmettre.

4.5. Conception du système de montage photovoltaïque

(Référence CEI 60347-7-712 et 62548)



*Photo avec autorisation
de Water Mission*

La conception du support structurel

La plupart des racks solaires sont construits en acier (ou en aluminium, ou en un autre métal de construction) avec une fondation en béton armé.



4.5.1. Conception du support structurel (rack solaire)

Les supports doivent être conçus conformément aux codes du bâtiment locaux. Au minimum, le rack doit être conçu pour supporter le poids du tableau solaire et pour résister aux charges de vent, sismiques et de neige qui sont communes à l'emplacement du panneau solaire. De plus, l'angle d'inclinaison (voir **4.2.1. Angle d'inclinaison du champ solaire**), l'orientation du champ solaire (voir **4.2.2. Orientation du champ solaire**) et la hauteur souhaitée du tableau au-dessus du sol doivent être pris en compte et clairement notés dans la conception du rack structurel.

La plupart des racks solaires sont construits en acier de construction (ou en aluminium, ou en un autre métal de construction) avec une fondation en béton armé. De plus, l'utilisation d'acier de construction pour encadrer et maintenir les panneaux solaires entre eux est courante. Si tel est le cas, il ne faut pas laisser la conception finale du cadre en acier obstruer ou projeter une ombre sur les cellules des panneaux solaires. Cela affectera négativement la production d'énergie à partir du panneau solaire.

4.5.2. Autres considérations relatives à la conception du rack solaire

Comme mentionné ci-dessus, la hauteur du rack solaire au-dessus du sol doit être prise en compte dans la conception du rack solaire. Les grands champs de panneaux solaires qui sont construits uniquement pour la production d'électricité sont généralement à moins d'un mètre au-dessus du sol (en partant du bord inférieur des panneaux). Cependant, dans les zones rurales d'approvisionnement en eau, il est plus courant d'élever les panneaux de 1,5 m ou plus (en partant du bord le plus bas). Il existe plusieurs raisons différentes pour éléver la hauteur du rack solaire à 1,5 m ou plus. Un support solaire surélevé évitera la prolifération de toute végétation au sol. Cela réduira parfois l'accumulation de poussière, de sol et de débris sur les panneaux solaires. Cela peut dissuader les animaux et les enfants (et parfois les adultes) de grimper sur les panneaux solaires. Appliquer une pression, comme marcher sur la surface des panneaux peut causer des dommages et doit toujours être évité. Enfin, l'élévation peut également décourager le vol des panneaux. (D'autres mesures de prévention du vol sont abordées dans **4.5.3. Sécurité des panneaux solaires**.)

Comme pour toute structure extérieure, les racks solaires doivent être protégés de la corrosion et des intempéries et / ou être fabriqués à partir de matériaux résistant à la corrosion. Dans le cas de l'acier de construction, toutes les surfaces en acier exposées doivent être traitées de manière appropriée pour résister à la corrosion, que ce soit par galvanisation, peinture ou autres traitements de surface appropriés. Le fait de ne pas protéger tous les éléments structurels de la corrosion et des intempéries affectera l'intégrité structurelle du rack solaire.

De plus, si de l'acier est utilisé pour encadrer les panneaux solaires, et si cet acier n'est pas protégé de la corrosion, la corrosion peut provoquer une obstruction ou jeter une ombre sur les cellules des panneaux solaires. Cela affectera négativement la production d'énergie à partir du panneau solaire et ne devrait pas être autorisé.

4.5.3. Sécurité des panneaux solaires

Il est conseillé de prévoir un moyen de sécuriser les panneaux solaires contre le vol ou le vandalisme. Comme indiqué ci-dessus, la hauteur du rack solaire au-dessus du sol peut offrir un effet dissuasif. De l'acier de construction peut être utilisé pour construire un cadre autour des panneaux solaires afin de sécuriser les panneaux. Un autre moyen courant de sécuriser les panneaux est d'utiliser des boulons de sécurité qui ne peuvent pas être retirés sans outils spéciaux. Les boulons peuvent également être soudés en place ou protégés contre les altérations en soudant un petit morceau d'acier sur le boulon pour restreindre l'accès. Enfin, dans certains cas, une clôture périphérique autour de l'ensemble du panneau solaire peut être utilisée comme mesure de sécurité et / ou utilisée conjointement avec d'autres méthodes.

De plus, il est courant d'envisager l'utilisation d'un paratonnerre ou d'un parafoudre à proximité d'un tableau solaire pour protéger le panneau contre d'éventuels dommages. Il est conseillé de comparer le coût des dommages potentiels dus à la foudre au coût de l'équipement de protection contre la foudre avant de procéder à l'achat et à l'installation de l'équipement.

Si des mesures de sécurité sont souhaitables, elles doivent être identifiées lors de la conception du rack de panneaux solaires.

6. Emplacement du champ solaire

(Référence CEI 62253 – 6.2. Données client, e. Description du projet)

L'emplacement du champ solaire doit être choisi pour éviter l'ombre des arbres, bâtiments et autres obstacles sur les panneaux solaires. Comme discuté dans **4.1.3. Pertes de puissance**, l'ombrage sur le champ solaire empêche la puissance de sortie d'atteindre sa capacité maximale.

Il est également recommandé d'installer le champ solaire aussi près que possible de la pompe et du moteur. Cela maintiendra la chute de tension au minimum (voir **4.3.1. Des panneaux solaires à la pompe**). Cependant, cette recommandation doit également être mise en balance avec l'exigence d'éviter tout ombrage potentiel ainsi que tout problème de sécurité.

7. L'entretien de champ solaire

Dans le cadre de la conception du tableau solaire, des moyens doivent être prévus dans les plans de maintenance pour soutenir la production continue d'énergie. Les plans de maintenance des champs solaires consistent généralement à laver régulièrement les panneaux solaires pour éliminer toute poussière, terre et débris ; inspecter régulièrement tous les fils et connexions de fils ; et réappliquer de la peinture ou d'autres matériaux résistants à la corrosion sur l'acier de construction du support structurel. Les conceptions de rack solaire qui rendent l'entretien de routine trop difficile doivent être évitées. Les racks solaires dont l'entretien régulier est trop lourd courrent le risque d'être peu, ou pas entretenus.

Comme indiqué dans **4.5.2. Autres considérations relatives à la conception du rack solaire** et **4.5.3. Sécurité des panneaux solaires**, le fait de soulever les panneaux de 1,5 m ou plus peut dissuader les animaux et les personnes de grimper sur les panneaux et peut également aider à se prémunir contre le vol. Cependant, lorsqu'on étudie la conception de la structure, ces avantages doivent être mis en balance avec les conséquences d'un placement de panneaux à une hauteur qui alourdirait la maintenance. Élever les panneaux à une hauteur difficile d'accès découragera probablement le lavage.

Comme mentionné précédemment, un tableau solaire avec un angle d'inclinaison minimum de 15 ° connaîtra un certain lavage naturel des panneaux lors d'un épisode pluvieux. Cependant, à certains moments et à certains endroits, il sera nécessaire de laver la surface des panneaux solaires pour s'assurer qu'ils continuent à produire la quantité d'énergie souhaitée.

Voir 4.1.3. **Perthes de puissance** pour une discussion des effets de la perte de puissance dû à la poussière, la terre et les débris sur les panneaux solaires. Le lavage des panneaux solaires s'effectue généralement avec beaucoup d'eau et un dispositif de nettoyage doux. L'utilisation d'un agent de nettoyage est déconseillée, de même que l'utilisation de tout appareil de nettoyage abrasif. Toute procédure de nettoyage susceptible de gratter, de rayer ou d'endommager les panneaux solaires ne doit pas être autorisée. De plus, il est conseillé de nettoyer les panneaux solaires le matin ou en fin de journée, mais pas pendant les heures du milieu de la journée où la température des panneaux solaires sera la plus élevée. Le lavage au milieu de la journée peut provoquer des fissures. Cependant, à aucun moment au cours d'un processus de nettoyage, une pression ne doit être appliquée à la surface des panneaux, par exemple en marchant sur les panneaux ou en utilisant un nettoyeur haute pression.

4.8. Vérification de la conception du système par rapport à la demande quotidienne en eau du projet

(référence CEI 62253 – 6.3. Caractéristiques du système, 6.6. Contrôle de conception du système de pompage PV par rapport au volume d'eau journalier)

Avant que la conception du champ solaire puisse être considérée comme terminée, la production d'eau prévue doit être comparée à la demande quotidienne en eau du projet. La puissance fournie par le réseau au moteur de la pompe permettra à la pompe de produire une certaine quantité d'eau. CEI 62253 – 6.4. La vérification de la conception du système de pompage PV à l'égard du volume d'eau quotidien, exige que le débit volumique soit évalué pour un minimum de quatre ensembles de données de condition d'énergie solaire différents à l'emplacement du projet, en particulier 100%, 80%, 60% et 40% des conditions de puissance maximale.

Pour les combinaisons de pompe et de moteur (ou les ensembles de pompe photovoltaïque) qui peuvent prendre une alimentation CC, la quantité d'eau produite peut être estimée en se référant à la courbe de pompe fournie par le fabricant (pour un exemple, voir la figure 4.8.a ci-dessous). La puissance requise par le moteur de la pompe est déterminée en localisant le point sur la courbe de la pompe où le débit souhaité correspond à la HMT calculé, puis en lisant la puissance requise à ce stade. En inversant le processus, un débit peut être estimé pour la puissance fournie par le réseau à chaque heure de la journée. Pour ce faire, on fait l'hypothèse que la HMT restera à peu près constante, ou que la HMT pourra être recalculé à chaque débit pour une plus grande précision (ou pour confirmer l'hypothèse)

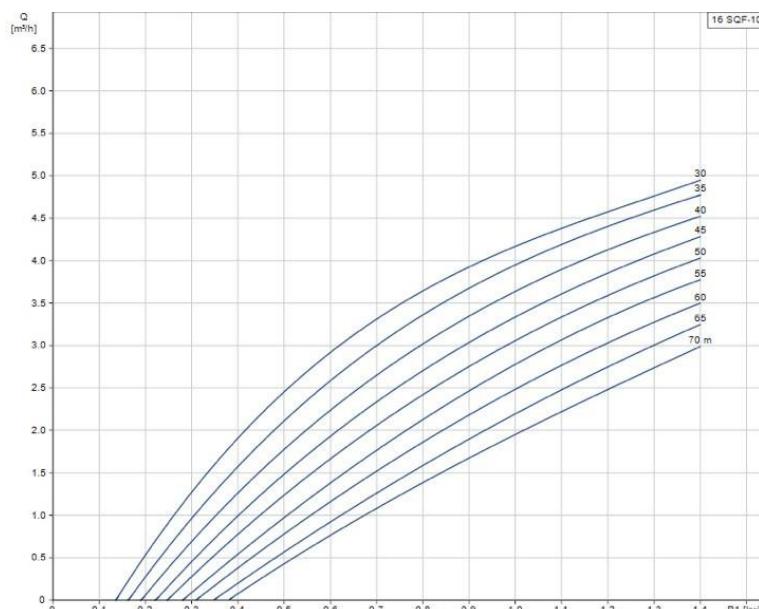


Figure 4.8.a — Courbe de performance de la pompe solaire pour Grundfos 16 SQF-10



La vérification de la conception du système en fonction de la demande quotidienne en eau du projet

Avant que la conception du champ solaire puisse être considérée comme terminée, la production d'eau prévue doit être comparée à la demande quotidienne en eau du projet. La puissance fournie par le réseau au moteur de la pompe permettra à la pompe de produire une certaine quantité d'eau.



Cependant, dans une conception utilisant une pompe et un onduleur alimentés en courant alternatif, la HMT n'est généralement pas constante. En effet, la fluctuation horaire de la puissance pour ces types de systèmes est beaucoup plus grande. Au lieu de cela, nous pouvons utiliser les lois de l'affinité, qui sont applicables aux pompes centrifuges standard, pour calculer le fonctionnement de la pompe en fonction de la quantité d'énergie fournie par le panneau solaire. Les lois de l'affinité sont exprimées comme suit:

$$\frac{PP_1}{PP_2} = \left(\frac{NN_1}{NN_2} \right)^3$$

$$\frac{QQ_1}{QQ_2} = \frac{NN_1}{NN_2}$$

$$\frac{HH_1}{HH_2} = \left(\frac{NN_1}{NN_2} \right)^3$$

P = Puissance; N = Vitesse; Q = Débit; H = Hauteur de l'eau

Dans les pompes submersibles, les changements de vitesse sont généralement effectués au moyen d'un variateur de fréquence. La plupart des onduleurs utilisés dans les applications de pompage alimentent le moteur de la pompe à l'aide d'un variateur de fréquence. Puisque la fréquence (Hz) et la vitesse peuvent être interverties entre elles, la fréquence peut être utilisée à la place de la vitesse dans les lois d'affinité indiquées ci-dessus. Ainsi, ces lois peuvent être utilisées pour calculer comment la puissance horaire fournie traduit la performance de la pompe. Ceci est affiché sous forme de courbes de performances multiples pour la pompe (voir la Figure 4.8.b ci-dessous comme exemple).

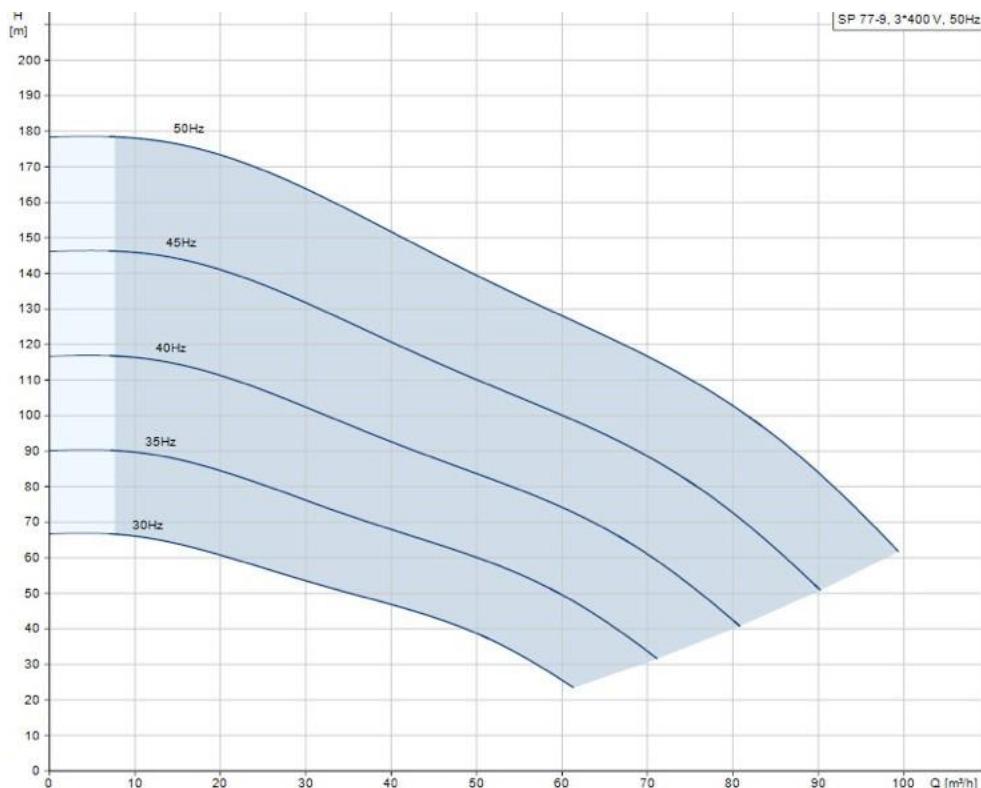


Figure 4.8.b — Courbe de performance de la pompe pour la Grundfos SP 77-9 à différentes fréquences

Ces courbes de performance peuvent ensuite être utilisées pour montrer comment la pompe avec un variateur de fréquence fonctionnera (débit et HMT) pour le système en question. Ce processus est détaillé dans un exemple de conception qui suit cette section (et dans l'annexe g.). La quantité totale approximative d'eau à produire quotidiennement, obtenue en additionnant la quantité approximative produite chaque heure, est comparée à la demande quotidienne

en eau du projet (voir **2.2. Demande quotidienne en eau du projet**). Si le total est nettement supérieur ou inférieur à la demande quotidienne en eau du projet, le tableau solaire doit être repensé. La CEI 62253 stipule que le total fourni doit être compris dans une tolérance de -5% à + 20% de la demande quotidienne en eau du projet. Si le total fourni est en dehors de cette tolérance, alors une restructuration est nécessaire en utilisant soit un panneau solaire de taille différente, un nombre différent de panneaux, ou une configuration de panneau différente. Si le total fourni se situe dans la tolérance, la conception pourrait être plus sereine en analysant les mêmes options de restructuration.

Cependant, dans certaines conditions du projet, il est possible que la tolérance de -5% à + 20% ne puisse pas être atteinte, et ce, pour de nombreuses raisons, par exemple lorsque la zone pour l'installation du panneau solaire est restreinte, lorsque la taille ou la quantité des panneaux solaires n'est pas optimale, ou lorsque la taille de pompe et du moteur n'est pas optimale. Dans de tels cas, un accord doit être conclu entre le propriétaire et le concepteur du système d'eau pour modifier la demande quotidienne du projet d'eau afin qu'elle corresponde à la quantité d'eau que le système le plus optimal pourra produire. Le non-respect de cette consigne conduira à une installation de système d'alimentation en eau solaire qui ne pourra jamais répondre aux demandes attendues des utilisateurs.



Photo avec autorisation de l'UNICEF

Exemple: Conception du système PV pour une pompe solaire

(Référence CEI 62253 - 6.3. Caractéristiques du système, 6.6. Contrôle de conception du système de pompage PV par rapport au volume d'eau quotidien)

Dans un exemple précédent, nous avons déterminé que la demande quotidienne en eau du projet pour une communauté rurale du Kenya était de 13 120 litres par jour. Dans un autre exemple, nous avons sélectionné une pompe capable de fournir un débit souhaité d'environ 2m³ / heure à une HMT de 60 mètres (une pompe Grundfos 11 SQF-2 avait été sélectionnée). Après avoir consulté les courbes de pompe de cette pompe, il a été établi que le moteur de la pompe nécessiterait environ 550 W de puissance pour atteindre les performances souhaitées. Lors d'une étude plus approfondie des spécifications du fabricant, il a été remarqué que le moteur avait une plage de tension d'entrée de 30 à 300 VCC et une consommation de courant maximale de 8,4 A.

Étape 1: Déterminer la température ambiante et les conditions d'irradiation solaire pour le site du projet (voir section 2.5.2.).

Comme indiqué dans **2.5.3. Données mensuelles**, la température ambiante et l'irradiation solaire varient tout au long de l'année. Afin de garantir que ce système d'eau satisfera la demande en eau chaque mois de l'année, le système PV sera conçu en utilisant les données du mois avec les valeurs d'irradiation les plus basses. Après avoir examiné les données disponibles en ligne de la National Aeronautics and Space Administration (NASA), nous voyons que pendant le mois le plus bas d'irradiation, la température ambiante à l'emplacement du projet est d'une moyenne de 20,9 ° C durant la journée et le profil d'irradiation quotidien est le suivant:

| HEURE | IRRADIATION (W/m ²) |
|-------|------------------------------------|
| 8 | 327 |
| 9 | 430 |
| 10 | 503 |
| 11 | 551 |
| 12 | 565 |
| 13 | 551 |
| 14 | 503 |
| 15 | 430 |
| 16 | 327 |

Étape 2: Calculer la performance estimée du panneau pour l'emplacement du projet.

Les panneaux solaires les plus facilement disponibles pour le projet ont les performances suivantes dans des conditions de test standard (STC):

- Point de puissance maximale (P_{max}): 290 W
- Tension de point de puissance maximale (V_{ppm}): 31,9 V
- Courant de point de puissance maximale (I_{ppm}): 9,2 A
- Tension à circuit ouvert (V_{oc}): 39,6 V
- Courant de court-circuit (I_{cc}): 9,75 A
- Coefficient thermique (TC V_{oc}): -0,29%/C
- Température normale d'utilisation des cellules (NOCT): 46°C

Le calcul des performances estimées du panneau pour l'emplacement du projet est effectué en utilisant les équations de **4.1.1.1. Calcul des performances estimées d'un panneau pour l'emplacement du projet** pour chaque heure de la journée. Ci-dessous, nous montons les calculs détaillés des conditions d'irradiation à 12 heures.

Étape 2a: Calculer la température de la cellule.

$$\text{Temp cellule (°C)} = \text{Temp Ambiante (°C)} + (\text{NOCT} - 20°C) \times \frac{\text{Irradiation} (\frac{W}{m^2})}{800 \frac{W}{m^2}}$$

$$39,3°C = 20,9°C + (46°C - 20°C) \times \frac{565 \frac{W}{m^2}}{800 \frac{W}{m^2}}$$

Étape 2b: Calculer la tension en circuit ouvert à la température de la cellule.

$$V_{oc} = \text{STC } V_{oc} + (\text{Temp cellule} - 25°C) \times \text{STC } V_{oc} \times \text{TC } V_{oc}$$

$$38,0 \text{ V} = 39,6 \text{ V} + (39,3°C - 25°C) \times 39,6 \text{ V} \times -0,29\%/\text{C}$$

Étape 2c: Calculer le courant de court-circuit à l'irradiation incidente donnée.

$$I_{!!} = \text{STC } I_{!!} \times \frac{\text{Irradiation} (\frac{W}{m^2})}{1000 \frac{W}{m^2}} \quad 5,51 \text{ A} = 9,75 \text{ A} \times \frac{565 \frac{W}{m^2}}{1000 \frac{W}{m^2}}$$

Étape 2d: Calculer le courant de point de puissance maximal à l'irradiation donnée.

$$I_{ppm} = \text{STC } I_{ppm} \times \frac{\text{Irradiation} (\frac{W}{m^2})}{1000 \frac{W}{m^2}} \quad 5,2 \text{ A} = 9,2 \text{ A} \times \frac{565 \frac{W}{m^2}}{1000 \frac{W}{m^2}}$$

Étape 2e: Calculer la puissance du panneau solaire dans les conditions données.

$$P_{max} (\text{W}) = V_{oc} \times I_{!!} \times \frac{\text{STC } I_{ppm} \times \text{STC } V_{ppm}}{\text{STC } I_{cc} \times \text{STC } V_{oc}} \quad 159,2 \text{ W} = 38,0 \text{ V} \times 5,51 \text{ A} \times \frac{9,2 \text{ A} \times 31,9 \text{ V}}{9,75 \text{ A} \times 39,6 \text{ V}}$$

Étape 2f: Calculer la tension maximale du point de puissance du panneau.

$$V_{ppm} = \frac{P_{max}}{I_{ppm}} \quad 30,6 \text{ V} = \frac{159,2 \text{ W}}{5,2 \text{ A}}$$

En suivant les mêmes étapes, les conditions pour chaque heure de la journée peuvent être calculées. Les résultats de ces calculs sont présentés dans le tableau suivant:

| HEURE | IRRADIATION (W/M ²) | TEMPÉRATURE DE LA CELLULE (°C) | V _{OC} (V) | I _{CC} (A) | I _{PPM} (A) | P _{MAX} (W) | V _{PPM} (V) |
|-------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 8 | 327 | 31,5 | 38,9 | 3,19 | 3,0 | 94,3 | 31,4 |
| 9 | 430 | 34,9 | 38,5 | 4,19 | 4,0 | 122,6 | 30,7 |
| 10 | 503 | 37,2 | 38,2 | 4,90 | 4,6 | 142,3 | 30,9 |
| 11 | 551 | 38,8 | 38,0 | 5,37 | 5,1 | 155,1 | 30,4 |
| 12 | 565 | 39,3 | 38,0 | 5,51 | 5,2 | 159,2 | 30,6 |
| 13 | 551 | 38,8 | 38,0 | 5,37 | 5,1 | 155,1 | 30,4 |
| 14 | 503 | 37,2 | 38,2 | 4,90 | 4,6 | 142,3 | 30,9 |
| 15 | 430 | 34,9 | 38,5 | 4,19 | 4,0 | 122,6 | 30,7 |
| 16 | 327 | 31,5 | 38,9 | 3,19 | 3,0 | 94,3 | 31,4 |

Étape 3: Conception de la configuration du champ solaire

Maintenant que nous connaissons la puissance de sortie d'un seul module solaire à l'emplacement du projet, il est possible de parvenir à une estimation préliminaire du nombre de modules nécessaires pour le panneau solaire. Comme indiqué dans un exemple précédent, l'un des objectifs de la conception est de produire de l'eau pendant les sept heures du milieu de la journée au minimum (cela sera vérifié à la fin de l'exemple). Par conséquent, il est possible de diviser la quantité de puissance requise (550 W) par la quantité la plus faible de puissance par panneau observée pendant les sept heures du milieu de la journée (122,6 W). Ce faisant, on arrive à la conclusion que le tableau devra se composer d'environ quatre panneaux ($550 \text{ W} \div 122,6 \text{ W} \approx 4$).

Comme indiqué dans **4.1.2. Configuration du champ solaire**, le câblage des panneaux solaires en série augmentera la tension et le câblage en parallèle augmentera le courant. En outre, les panneaux sont généralement câblés en série pour atteindre la puissance maximale avec le moins de panneaux solaires. Ainsi, l'étape suivante consistera à vérifier la puissance de sortie du panneau solaire pendant chaque heure d'irradiation avec quatre modules câblés en série (en utilisant les équations données dans **4.1.2. Configuration du champ solaire**). Comme précédemment, les calculs sont détaillés pour des conditions d'irradiation à midi:

$$\text{Panneau solaire } V_{oc} = V_{oc} \text{ par module} \times \text{nombre de modules en série}$$

$$152 \text{ V} = 38,0 \text{ V} \times 4$$

$$\text{Panneau solaire } V_{ppm} = V_{ppm} \text{ par module} \times \text{nombre de modules en série}$$

$$122 \text{ V} = 30,6 \text{ V} \times 4$$

$$\text{Panneau solaire } I_{ppm} = I_{ppm} \text{ par module} \times \text{nombre de modules en parallèle}$$

$$5,2 \text{ A} = 5,2 \text{ A} \times 1$$

$$\text{Panneau solaire } P_{max} (\text{W}) = \text{Panneau solaire } I_{ppm} \times \text{Panneau solaire } V_{ppm}$$

$$634 \text{ W} = 5,2 \text{ A} \times 122 \text{ V}$$

Étape 4: Procéder au déclassement de la puissance de sortie du panneau solaire

a puissance de sortie calculée du panneau solaire doit être déclassée pour tenir compte des pertes de puissance (comme indiqué dans **4.1.3. Pertes de puissance**). Un facteur de déclassement de 0,90, comme recommandé pour un système sans onduleur, sera utilisé.

$$\text{Panneau solaire } P_{\text{déclassée}} \text{ (W)} = \text{Panneau solaire } P_{\text{max}} \text{ (W)} \times \text{facteur de déclassement}$$

$$571 \text{ W} = 634 \text{ W} \times 0,90$$

En utilisant les mêmes équations, les conditions pour chaque heure de la journée peuvent être calculées. Les résultats de ces calculs sont présentés dans le tableau suivant:

| HEURE | ANNEAU SOLAIRE V_{oc} (V) | PANNEAU SOLAIRE V_{ppm} (V) | PANNEAU SOLAIRE I_{ppm} (A) | PANNEAU SOLAIRE P_{max} (W) | PANNEAU SOLAIRE $P_{déclassée}$ (W) |
|-------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 8 | 156 | 126 | 3.0 | 378 | 340 |
| 9 | 154 | 123 | 4.0 | 492 | 443 |
| 10 | 153 | 124 | 4.6 | 570 | 513 |
| 11 | 152 | 122 | 5.1 | 622 | 560 |
| 12 | 152 | 122 | 5.2 | 634 | 571 |
| 13 | 152 | 122 | 5.1 | 622 | 560 |
| 14 | 153 | 124 | 4.6 | 570 | 513 |
| 15 | 154 | 123 | 4.0 | 492 | 443 |
| 16 | 156 | 126 | 3.0 | 378 | 340 |

Étape 5: Vérifier que la tension et l'ampérage du réseau sont conformes aux spécifications du moteur de la pompe.

La tension et l'ampérage fournis doivent être vérifiés par rapport aux spécifications du moteur de la pompe. Comme indiqué précédemment, le moteur de la pompe a une plage de tension d'entrée de 30 à 300 VCC et une consommation de courant maximale de 8,4 A. Comme on peut le voir dans le tableau ci-dessus, le tableau V_{oc} est supérieur à 30 mais inférieur à 300 V. De plus, comme les panneaux solaires doivent être connectés en série, le courant du panneau solaire sera équivalent au courant d'un seul panneau, qui est inférieur à la consommation maximale de courant de la pompe.

Étape 6: Vérifier que le réseau conçu permet à la pompe de répondre à la demande quotidienne en eau du projet.

La dernière vérification de la conception consiste à voir si la puissance fournie par le panneau solaire au moteur de la pompe permettra à la pompe de répondre à la demande quotidienne en eau du projet estimée 13120 litres par jour. Ceci peut être déterminé approximativement en se référant à la courbe de pompe fournie par le fabricant. Comme indiqué dans **3.2.2.2. Sélection d'une pompe à l'aide des courbes de performance de la pompe solaire**, la puissance requise par le moteur de la pompe se trouve en localisant le point sur la courbe de la pompe où le débit souhaité rencontre la ligne HMT, puis en lisant la puissance requise à ce niveau. En travaillant à l'envers, un débit peut être estimé pour la puissance fournie par le panneau solaire à chaque heure de la journée. (Pour ce faire, il faut supposer que la HMT restera à peu près constante, ou la HMT peut être recalculée à chaque débit pour une plus grande précision.) En utilisant les courbes de pompe pour le Grundfos 11 SQF-2, les conditions suivantes sont observées:

| HEURE | PANNEAU SOLAIRE (W) | DÉBIT APPROXIMATIF | PRODUCTION D'EAU HORAIRE (L) |
|--|------------------------|--|------------------------------------|
| | | TAUX À 60 M HMT (m ³ /HEURE) | |
| 8 | 340 | 1,2 | 1200 |
| 9 | 443 | 1,5 | 1500 |
| 10 | 513 | 1,8 | 1800 |
| 11 | 560 | 2,0 | 2000 |
| 12 | 571 | 2,1 | 2100 |
| 13 | 560 | 2,0 | 2000 |
| 14 | 513 | 1,8 | 1800 |
| 15 | 443 | 1,5 | 1500 |
| 16 | 340 | 1,2 | 1200 |
| PRODUCTION TOTALE D'EAU QUOTIDIENNE (L): | | | 15100 |

Ainsi, la production totale d'eau quotidienne est approximativement de 15100 litres par jour. Si ce nombre était significativement supérieur ou inférieur à la demande quotidienne en eau du projet (13 120 litres par jour), alors le réseau devrait être repensé. La CEI 62253 stipule que le total fourni doit se situer dans une tolérance de -5% à + 20% de la demande quotidienne en eau du projet. Dans le cas de ce projet, la production totale d'eau quotidienne (15000 litres) est environ 15% supérieure à la demande quotidienne en eau du projet (13120 litres). La conception répond donc aux exigences. Si le total fourni était en dehors de la tolérance, alors une nouvelle conception aurait été nécessaire en utilisant soit un panneau solaire de taille différente, soit un nombre différent de panneaux, soit une configuration de panneau différente.

Exemple: conception du système PV pour une pompe AC avec onduleur

(Référence CEI 62253 – 6.3. Caractéristiques du système, 6.6. Contrôle de conception du système de pompage PV par rapport au volume d'eau journalier)

Cet exemple utilise un emplacement similaire, avec les mêmes conditions de température et d'irradiation, et la même sélection de panneau solaire que l'exemple précédent. Cela montrera la différence dans la conception d'un système avec une pompe et un onduleur alimenté en courant alternatif, par opposition à une combinaison de pompe et de moteur pouvant recevoir une alimentation en courant continu.

Un test de rendement a été réalisé sur un forage dans une grande communauté rurale du Kenya. Les résultats des tests montrent que le rendement maximal du forage est de 39 m³ / heure avec un niveau d'eau dynamique de 94,5 mètres de profondeur. La communauté souhaite accéder à 90% du rendement maximum pour produire un volume d'eau quotidien de 295 000 litres par jour à partir du forage. En utilisant un débit de conception de 35 m³ / heure (90% du rendement de 39 m³ / heure), des calculs hydrauliques ont été effectués pour trouver que la HMT du système d'eau prévu sera de 102,2 mètres. Après avoir constaté que toutes les combinaisons de pompe et de moteur disponibles (ou les ensembles de pompe photovoltaïque) et pouvant recevoir une alimentation en courant continu ne pouvaient pas atteindre la capacité souhaitée, une pompe alimentée en courant alternatif avec un onduleur a été envisagée. On a sélectionné une pompe et un moteur alimentés en courant alternatif et pouvant fonctionner à un point de service de 34,9 m³ / heure et 102,1 mètres de hauteur sous pression, à une puissance de moteur requise de 14,3 kW. Le moteur est un moteur triphasé de 50 Hz, 380 V. La documentation du fabricant de la pompe et du moteur suggère d'utiliser un onduleur de 18,5 kW, qui correspond aux exigences de puissance du moteur (50 Hz, 380 V nominal). L'onduleur a une plage de tension d'entrée de 400 à 800 VCC et une sortie de courant maximum de 38,0 A et est équipé d'un variateur de fréquence. La pertinence de l'onduleur sera vérifiée lors de la conception.

En utilisant les mêmes panneaux solaires de 290 W que dans l'exemple précédent, les performances d'un panneau individuel pendant les heures d'ensoleillement à l'emplacement du projet sont les suivantes (pour les détails de calcul, voir l'exemple précédent):

| HEURE | IRRADIATION (W/M ²) | TEMPÉRATURE CELLULE (°C) | V _{OC} (V) | I _{CC} (A) | I _{PPM} (A) | P _{MAX} (W) | V _{PPM} (V) |
|-------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 8 | 327 | 31,5 | 38,9 | 3,19 | 3,0 | 94,3 | 31,4 |
| 9 | 430 | 34,9 | 38,5 | 4,19 | 4,0 | 122,6 | 30,7 |
| 10 | 503 | 37,2 | 38,2 | 4,90 | 4,6 | 142,3 | 30,9 |
| 11 | 551 | 38,8 | 38,0 | 5,37 | 5,1 | 155,1 | 30,4 |
| 12 | 565 | 39,3 | 38,0 | 5,51 | 5,2 | 159,2 | 30,6 |
| 13 | 551 | 38,8 | 38,0 | 5,37 | 5,1 | 155,1 | 30,4 |
| 14 | 503 | 37,2 | 38,2 | 4,90 | 4,6 | 142,3 | 30,9 |
| 15 | 430 | 34,9 | 38,5 | 4,19 | 4,0 | 122,6 | 30,7 |
| 16 | 327 | 31,5 | 38,9 | 3,19 | 3,0 | 94,3 | 31,4 |

Étape 1: Conception de la configuration du champ solaire

Lorsqu'il est évident que plusieurs chaînes de panneaux solaires seront utilisées, on doit prendre en compte les paramètres de tension et de courant du moteur ou de l'onduleur. Pour l'onduleur considéré, les panneaux

solaire devront être combinés de manière à ce que la tension soit supérieure à 400 V et inférieure à 800 V avec un courant ne dépassant pas 38,0 A. En utilisant ces paramètres, le tableau solaire aura entre 11 ($400 \text{ V} \div 38,0 \text{ V} = 11$) et 21 ($800 \text{ V} \div 38,0 \text{ V} = 21$) panneaux solaires en série et sept ($38,0 \text{ A} \div 5,51 \text{ A} = 7$) chaînes ou moins.

Une modélisation approfondie vérifiera différentes combinaisons pour obtenir l'alimentation électrique requise en utilisant le plus petit nombre de panneaux solaires. Le reste de cet exemple utilisera sept chaînes de 18 panneaux solaires pour un total de 126 panneaux.

Étape 2: Vérification de la puissance de sortie du panneau solaire

La sortie du panneau solaire doit être vérifiée pendant chaque heure d'irradiation (en utilisant les équations données dans **4.1.2. Configuration du champ solaire**). Nous montrons ci-dessous les calculs détaillés des conditions d'irradiation à midi.

$$\text{Panneau solaire } V_{oc} = V_{oc} \text{ par V panneau} \times \text{nombre de panneau en série}$$

$$684,0 \text{ V} = 38,0 \text{ V} \times 18$$

$$\text{Panneau solaire } V_{ppm} = V_{ppm} \text{ par panneau} \times \text{nombre de panneau en série}$$

$$550,8 \text{ V} = 30,6 \text{ V} \times 18$$

$$\text{Panneau solaire } I_{ppm} = I_{ppm} \text{ par panneau} \times \text{nombre de panneau en chaîne}$$

$$36,4 \text{ A} = 5,2 \text{ A} \times 7$$

$$\text{Panneau solaire } P_{max} (\text{W}) = \text{Panneau solaire } I_{ppm} \times \text{Panneau solaire } V_{ppm}$$

$$20,0 \text{ kW} = 36,4 \text{ A} \times 550,8 \text{ V}$$

Étape 3: Procéder au déclassement de la puissance de sortie du panneau solaire

Cette puissance de sortie calculée du panneau solaire doit être déclassée pour tenir compte des pertes de puissance (comme indiqué dans **4.1.3. Pertes de puissance**). Un facteur de déclassement de 0,85 sera utilisé conformément à la recommandation pour un système avec un onduleur.

$$\text{Panneau solaire } P_{déclassée} (\text{W}) = \text{Panneau solaire } P_{max} (\text{W}) \times \text{facteur de déclassement}$$

$$17,0 \text{ kW} = 20,0 \text{ kW} \times 0,85$$

En utilisant les mêmes équations, les conditions pour chaque heure de la journée peuvent être calculées. Les résultats de ces calculs sont présentés dans le tableau suivant:

| HEURE | PANNEAU SOLAIRE V_{oc} (V) | PANNEAU SOLAIRE V_{ppm} (V) | PANNEAU SOLAIRE I_{ppm} (A) | PANNEAU SOLAIRE P_{max} (kW) | PANNEAU SOLAIRE $P_{déclassée}$ (kW) |
|-------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 8 | 700,2 | 565,2 | 21,0 | 11,9 | 10,1 |
| 9 | 693,0 | 552,6 | 28,0 | 15,5 | 13,2 |
| 10 | 687,6 | 556,2 | 32,2 | 17,9 | 15,2 |
| 11 | 684,0 | 547,2 | 35,7 | 19,5 | 16,6 |
| 12 | 684,0 | 550,8 | 36,4 | 20,0 | 17,0 |
| 13 | 684,0 | 547,2 | 35,7 | 19,5 | 16,6 |
| 14 | 687,6 | 556,2 | 32,2 | 17,9 | 15,2 |
| 15 | 693,0 | 552,6 | 28,0 | 15,5 | 13,2 |
| 16 | 700,2 | 565,2 | 21,0 | 11,9 | 10,1 |

Étape 4: Vérifier que la tension et l'ampérage du panneau solaire correspondent à l'onduleur.

Avant d'estimer la quantité d'eau à produire dans ces conditions de puissance, le tableau ci-dessus peut être utilisé pour vérifier la pertinence de l'onduleur qui a été suggérée par le manuel du fabricant. L'onduleur suggéré est un onduleur de 18,5 kW, 50 Hz avec une plage de tension d'entrée de 400 à 800 VCC et une sortie de courant maximale de 38,0 A. Les résultats du calcul dans le tableau ci-dessus satisfont aux conditions de tension et de courant de l'onduleur, et la puissance qui doit être transportée est suffisamment proche de la puissance nominale de l'onduleur.

Étape 5: Confirmer que le panneau solaire conçu permet à la pompe de répondre à la demande quotidienne en eau du projet.

En utilisant les lois d'affinité et les courbes de performance de la pompe (voir 4.8. Vérification de la conception du système par rapport à la demande quotidienne en eau du projet), il est désormais possible de calculer la quantité prévue d'eau produite chaque heure. La première étape consiste à calculer la fréquence en utilisant la relation de loi d'affinité entre la puissance et la vitesse. Il faut noter que, comme indiqué dans la section 4.8. la fréquence peut être intervertie avec la vitesse. Le calcul des conditions à 8 heures est affiché ici.

$$\frac{PP_1}{PP_1} = \left(\frac{NN_1}{NN} \right)^{1/1}$$

$$NN_1 = \left(\frac{10.1kW}{14.3kW} \right)^{1/1} \times 50Hz = 45Hz$$

Cependant, comme indiqué précédemment, le moteur de la pompe et l'onduleur sont à 50 Hz. Ainsi, la fréquence ne dépassera jamais 50 Hz. La fréquence calculée pour chacun est présentée dans le tableau suivant:

| HEURE | PANNEAU SOLAIRE P <small>DÉCLASSE</small> E (KW) | FRÉQUENCE (Hz) |
|-------|--|----------------|
| 8 | 10,1 | 44,5 |
| 9 | 13,2 | 48,7 |
| 10 | 15,2 | 50 |
| 11 | 16,6 | 50 |
| 12 | 17,0 | 50 |
| 13 | 16,6 | 50 |
| 14 | 15,2 | 50 |
| 15 | 13,2 | 48,7 |
| 16 | 10,1 | 44,5 |

Ensuite, on détermine les courbes de performance pour chaque fréquence. Cela se fait en calculant plusieurs points le long de la courbe de performance en utilisant les lois d'affinité. En prenant chaque fréquence calculée et les relations de loi d'affinité entre le débit et la vitesse, et entre la hauteur et la vitesse, on peut déterminer, pour chaque fréquence calculée, des points le long de la courbe de performance de pompe. Voici les calculs pour un seul point le long de la courbe de performance qui correspond à une fréquence de 44,5 Hz.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$Q_2 = \frac{45HHH}{5HHH} \times 3,2 \text{ mm}^3/\text{hr} = 2,8 \text{ mm}^3/\text{hr}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = 3 \frac{N_1}{N_2}^4$$

$$H_2 = 3 \frac{45HHH}{5HHH}^4 \times 195,1 \text{ mm} = 154,5 \text{ mm}$$

$PP = \text{XXXXXXXXXX}$, $NN = \text{VWWWWWWW}$, $QQ = \text{DDHHVVHH} = \text{HHHHHHHH}$ et $ddP = \text{LPPPPPPP}$

Pour chaque fréquence, plusieurs points le long de la courbe de performance devront être calculés. Les résultats du calcul pour dix points le long de la courbe sont indiqués ci-dessous. Plus il y a de points, plus les résultats finaux seront précis. Dans le tableau ci-dessous, nous avons calculé dix points sur la courbe de performance correspondant à 44,5 Hz, en commençant par dix points le long de la courbe de performance pleine puissance, c'est-à-dire à 50 Hz.

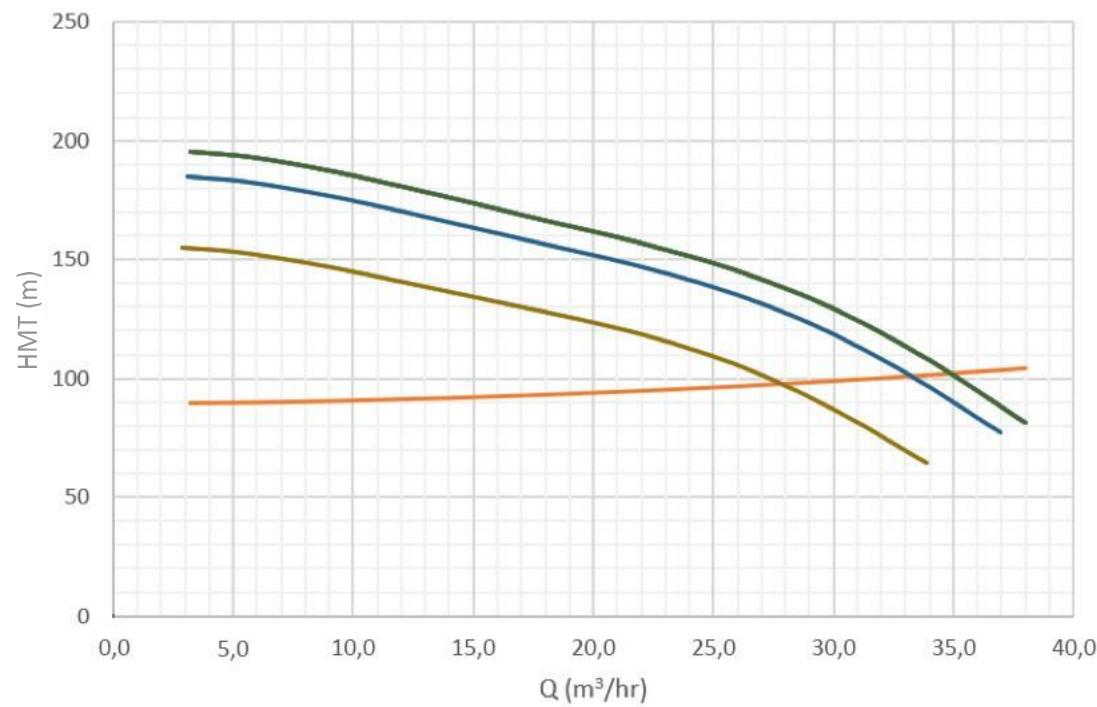
Les mêmes calculs devront être effectués pour la courbe de performance à 48,7 Hz.

| Points sur la courbe de performance pour 50 Hz | |
|--|-----------|
| Q_1 (m^3/h) | H_1 (m) |
| 3,2 | 195,1 |
| 6 | 192,4 |
| 10 | 185,0 |
| 18 | 166,2 |
| 22 | 156,7 |
| 26 | 145,1 |
| 30 | 129,3 |
| 34 | 107,7 |
| 34,9 | 102,1 |
| 38 | 81,5 |

| Points sur la courbe de performance pour 44,5 Hz | |
|--|-----------|
| Q_2 (m^3/h) | H_2 (m) |
| 2,8 | 154,5 |
| 5,3 | 152,4 |
| 8,9 | 146,5 |
| 16,0 | 131,6 |
| 19,6 | 124,1 |
| 23,1 | 114,9 |
| 26,7 | 102,4 |
| 30,3 | 85,3 |
| 31,1 | 80,9 |
| 33,8 | 64,6 |

Il est important de reconnaître que les points (Q_2 , H_2) dans le tableau ci-dessus représentent des points le long d'une courbe de performance pour la pompe, et non des points le long de la courbe du système pour le système d'eau proposé. Sur le graphique ci-dessous, les courbes verte et bleue sont les courbes de performance de la pompe à 50 Hz, 48,7 Hz et 44,5 Hz.

La courbe orange sur le graphique représente la courbe du système pour le système d'eau proposé. La courbe du système est déterminée en calculant la HMT pour plusieurs valeurs de débit (Comme



indiqué précédemment, ce guide de conception ne présente pas les méthodes de calcul de la HMT, car les méthodes de calcul de la HMT pour un système de pompage à énergie solaire ne changent pas des méthodes utilisées avec tout autre système de pompage mécanisé).

Les intersections de la courbe du système et de chaque courbe de performance représentent le débit du système à la fréquence correspondante pour chaque heure de la journée. La valeur de débit à chaque intersection peut être observée graphiquement et peut être calculée par la méthode suivante. Le tableau ci-dessous montre les valeurs de débit et de hauteur le long de la courbe de performance de 44,5 Hz et la HMT du système d'eau proposé pour chaque débit.

Il est important de noter que dans le graphique ci-dessus la courbe du système coupe la courbe de performance à 44,5 Hz entre 25 m^3/h et 30 m^3/h . De plus, le tableau ci-dessus montre que la HMT pour 26,7

| Q_2 (m^3/hr) | H_2 (m) | HMT (m) |
|--------------------|-----------|---------|
| 2,8 | 154,5 | 89,6 |
| 5,3 | 152,4 | 89,9 |
| 8,9 | 146,5 | 90,5 |
| 16,0 | 131,6 | 92,5 |
| 19,6 | 124,1 | 93,8 |
| 23,1 | 114,9 | 95,4 |
| 26,7 | 102,4 | 97,2 |
| 30,3 | 85,3 | 99,2 |
| 31,1 | 80,9 | 100,1 |
| 33,8 | 64,6 | 101,4 |

m^3/h est en dessous de la tête de la courbe de performance, mais que la HMT pour $30,3 m^3/h$ est au-dessus de la tête de la courbe de performance. En utilisant une méthode d'interpolation, il est possible d'utiliser ces débits et les valeurs de HMT et de hauteur de la courbe de performance correspondantes pour calculer le débit là où la HMT correspondant au système d'eau proposé et la tête de la courbe de performance sont égales.

$$\frac{(30,3 - 26,7)}{[(99,2 - 85,3) - (97,2 - 102,4)]} = \frac{(Q_{l''\#\$\%&\%\$'')\#} - 26,7)}{[0 - (97,2 - 102,4)]}$$

$$Q_{l''\#\$\%&\%\$'')\#} = 27,7 mm^3/h$$

A noter que ce débit pourrait être vérifié en calculant la HMT du système d'eau proposé pour ce débit et en vérifiant la tête de la courbe de performance de la pompe pour voir que les deux valeurs sont égales.

La quantité approximative d'eau produite au total au quotidien (296300 litres) est supérieure de moins de 1% à la demande quotidienne d'eau du projet (295000 litres), la conception répond donc à l'exigence de la CEI 62253: une tolérance de -5% à + 20% par rapport à la demande quotidienne en eau du projet.

| HEURE | PANNEAU SOLAIRE $P_{DECLASSEE}$ (KW) | FRÉQUENCE (HZ) | DÉBIT (M ³ /H) | PRODUCTION D'EAU HORRAIRE (L) |
|---|--|----------------|---------------------------|-------------------------------|
| 8 | 10,1 | 44,5 | 27,7 | 27700 |
| 9 | 13,2 | 48,7 | 33,2 | 33200 |
| 10 | 15,2 | 50 | 34,9 | 34900 |
| 11 | 16,6 | 50 | 34,9 | 34900 |
| 12 | 17,0 | 50 | 34,9 | 34900 |
| 13 | 16,6 | 50 | 34,9 | 34900 |
| 14 | 15,2 | 50 | 34,9 | 34900 |
| 15 | 13,2 | 48,7 | 33,2 | 33200 |
| 16 | 10,1 | 44,5 | 27,7 | 27700 |
| PRODUCTION TOTALE D'EAU QUOTIDIENNE (L): | | | | 296300 |

5. Stockage d'eau

1. Considérations relatives au stockage d'eau

La plupart des systèmes d'approvisionnement en eau ruraux, y compris les systèmes à énergie solaire, utilisent un réservoir de stockage d'eau pour équilibrer la production quotidienne d'eau du système avec la demande quotidienne en eau des utilisateurs. Pour cette raison, l'utilisation d'un réservoir de stockage d'eau est recommandée.



Le stockage d'eau

La plupart des systèmes d'approvisionnement en eau en milieu rural, y compris les systèmes solaires, utilisent un réservoir de stockage d'eau afin d'équilibrer la production quotidienne d'eau du système avec la demande quotidienne en eau des utilisateurs.



5.2. Volume du réservoir de stockage d'eau

(Référence CEI 62253 – 6.2. Données client, e. Description du projet)

Il est courant de stocker l'eau dans un réservoir avant de la distribuer aux consommateurs. Indépendamment de la conception de la distribution d'eau après le réservoir de stockage (un processus de conception qui n'est pas abordé dans le cadre de ce guide), la taille du réservoir de stockage d'eau est généralement basée sur le volume et la configuration de la demande quotidienne du système d'eau. Pour les systèmes solaires, la variation de la quantité d'eau produite tout au long de la journée doit également être prise en compte, car la production d'eau sera limitée aux heures d'ensoleillement et peut être limitée par un temps couvert. Par conséquent, les réservoirs de stockage d'eau peuvent être utilisés pour fournir de l'eau pendant les heures sans pompage ou bien les jours où les conditions météorologiques peuvent affecter la production d'eau salubre.

Bien que ce guide ne donne pas de méthode particulière pour déterminer la taille d'un réservoir de stockage d'eau, le choix final doit être fait en comparant le modèle de demande quotidienne en eau avec la production quotidienne d'eau du système. La recommandation minimale de ce guide est que le réservoir de stockage soit dimensionné de telle sorte que l'eau fournie aux utilisateurs ne soit pas perturbée par les fluctuations quotidiennes (et mensuelles) de l'eau produite par le système d'alimentation solaire. Cependant, il est également recommandé d'éviter le stockage excessif de l'eau. Les coûts d'investissement associés à la construction et à l'installation de réservoirs d'eau sont généralement élevés. Ainsi, l'inclusion d'un volume de stockage important et non nécessaire sur un projet entraînera des coûts importants, injustifiés et inutiles. De plus, le stockage excessif de l'eau doit être évité car un stockage prolongé de l'eau entraîne généralement une détérioration de la qualité de l'eau.

Des considérations supplémentaires pour déterminer la capacité d'un réservoir de stockage d'eau pourraient inclure:

Stockage d'urgence: les interruptions d'approvisionnement peuvent survenir pour plusieurs raisons, notamment la contamination d'une source, l'entretien du système d'eau et les événements météorologiques extrêmes. Pour ces interruptions de service, les communautés comptent sur le Stockage d'eau pendant l'interruption d'approvisionnement causée par l'urgence. La quantité de stockage d'eau d'urgence dépend de la probabilité et des conséquences potentielles d'une interruption de service.

Jours de pointe: le dimensionnement du réservoir doit tenir compte des jours anormaux qui peuvent nécessiter

des quantités d'eau particulièrement importantes. Bien qu'il ne soit pas pratique de concevoir un système complet pour une journée de pointe, un stockage supplémentaire peut fournir suffisamment d'eau pour un jour particulier ou des jours où la demande est accrue.

Pertes d'un système d'eau existant: Si un système existant est utilisé dans le cadre d'un système d'eau, les pertes existantes doivent être prises en compte. Une certaine quantité de perte doit être prise en compte dans le débit de conception de l'ensemble du système, y compris le réservoir de stockage d'eau. Le réservoir devra stocker cette eau même si elle est finalement perdue.

Si l'un des éléments ci-dessus constitue un problème réel dans un projet, la capacité de stockage doit être ajoutée au calcul de stockage minimum. La capacité ajoutée doit être fondée sur un jugement technique solide qui évalue la probabilité et la gravité de ces facteurs.

5.3. Conception du support de réservoir

Si un réservoir de stockage d'eau doit faire partie du système, un support de réservoir approprié doit être identifié et conçu dans le cadre de la conception du système d'eau complet.

Toute structure de support surélevée pour le réservoir doit être conçue pour supporter le poids du réservoir à pleine capacité de stockage et pour résister aux charges de vent, sismiques et de neige liées à l'emplacement du système d'eau. Étant donné que la HMT calculé du système d'eau dépend de la hauteur du réservoir de stockage d'eau, il est essentiel que la hauteur reste conforme au calcul original de la HMT du système.

6. Dossier de conception

(Référence CEI 62253 – Documentation 6.5)

Toutes les informations liées à la conception doivent être bien documentées pour fournir une référence à toutes les parties de la conception du projet. Chaque étape de la conception, y compris les données utilisées, les hypothèses formulées, le processus de conception et les calculs effectués, ainsi que les résultats complets doivent être inclus dans la documentation. Cette documentation est couramment utilisée aux fins suivantes:

- Vérifier auprès de toutes les autorités gouvernementales et des parties impliquées que la conception répond aux exigences et accords pertinents pour le système d'alimentation en eau à énergie solaire
- Informer les exigences de l'installation et de la construction du projet
- Servir de dossier durable pour toute future enquête sur la conception du système



INSTALLATION



C. INSTALLATION

7. Sécurité de l'installation et de la construction

L'entité affectée à la gestion de la construction du projet est responsable de la fourniture, du maintien et de l'application des normes de sécurité sur toutes les parties de la construction et de l'installation.

En plus de la sécurité des travailleurs du projet, il faut aborder et traiter l'ensemble des problèmes de sécurité auxquels les observateurs du projet pourraient être confrontés. La construction d'un système d'eau alimenté à l'énergie solaire peut susciter la curiosité des habitants d'une communauté rurale, en particulier celle des enfants. Il est de la responsabilité de l'entité de projet affectée à la gestion du projet de construction d'assurer la sécurité du grand public autour du projet.

1. Sécurité électrique

Travailler avec de l'électricité sans sécurité peut provoquer des brûlures, des chocs ou une électrocution (mort). C'est pareil lorsqu'on travaille avec de l'électricité solaire et des mesures doivent être prises pour assurer la sécurité des travailleurs. En outre, étant donné que le sujet de ce guide sont les systèmes d'alimentation en eau à énergie solaire, il convient de souligner que tous les composants électriques et tous les travaux sur ces composants doivent être protégés du contact avec l'eau. Tout équipement spécialement conçu pour être en contact avec l'eau (comme la pompe et le moteur de la pompe) fait exception à cette règle. Tous les composants doivent être manipulés conformément aux exigences et recommandations de tous les fabricants.

Voici d'autres règles générales lorsque vous travaillez avec l'électricité:

- Tous les travaux électriques doivent être manipulés par des électriciens qualifiés et autorisés.
- Tous les équipements électriques doivent être mis à la terre conformément aux exigences et recommandations du fabricant.
- Tout contact avec des circuits électriques sous tension doit être évité.
- Tous les appareils électriques doivent être considérés comme sous tension jusqu'à ce que la preuve de la déconnexion soit établie.
- L'alimentation doit être coupée avant d'installer ou de réparer tout composant du système électrique.
- S'il est nécessaire de manipuler un équipement sous tension, des mesures doivent être prises pour protéger le travailleur, comme n'utiliser que des outils avec des poignées non conductrices, garder les mains et la zone de travail au sec et à l'abri de l'eau, et porter des vêtements non conducteurs (par exemple, chaussures et gants).
- Si de l'eau est renversée sur un composant électrique, débrancher immédiatement l'alimentation du composant.
- Enfin, fermer tous les contacts électriques, conducteurs et composants pour protéger les autres.

2. Sécurité au travail en hauteur

Si la conception du rack de panneaux solaires comprend le placement des panneaux solaires à une hauteur de 1,5 m ou plus (à partie du bord du plus bas des panneaux), alors la sécurité de ceux qui installent les racks et les panneaux solaires doit être étudiée. Tout risque de chute de travailleurs doit être traité et atténué.

8. Supervision et inspection

Toutes les activités d'installation et de construction doivent être supervisées pour garantir une exécution de qualité. De plus, chaque composant du système doit être inspecté à la fin de l'installation ou de la construction du composant. Il s'agit de garantir que chaque composant du système d'eau à énergie solaire est installé conformément à la conception du système et aux spécifications du fabricant de l'équipement. Cela comprend, mais sans s'y limiter, la mobilisation initiale de chaque sous-traitant, la marque et le modèle de chaque composant du système, le cheminement et l'emplacement de chaque composant, les méthodes d'installation et de construction, la protection appropriée de chaque composant, l'organisation et la propreté du système, etc. La recommandation de ce document d'orientation est que l'ingénieur officiel, le propriétaire du réseau d'eau ou leur représentant désigné assure cette supervision et cette inspection.

9. Installation du système d'eau

1. Composants du système

Toutes les constructions et installations doivent être effectuées conformément à tous les codes et normes locaux (voir **2.1. Conformité du système d'eau**).

Chaque composant du système d'eau construit doit correspondre à la conception du système d'eau. Cela comprend, mais sans s'y limiter, la source d'eau, le système de canalisation, le système de traitement de l'eau (le cas échéant), la pompe, le réservoir de stockage d'eau et l'emplacement de chaque composant. La HMT de la pompe requise par le système d'eau construit doit correspondre à la HMT utilisée dans la sélection de la pompe et du moteur du projet lors de la conception. Ainsi, tous les routages, longueurs de tuyaux, diamètres de tuyaux, matériaux de tuyaux (et facteurs de rugosité), composants de tuyaux, systèmes de traitement, emplacements et élévations des éléments clés du système doivent correspondre à ceux dimensionnés lors de la conception du système d'eau.

Tout écart par rapport à la conception du système lors de son installation affectera la performance finale du système d'approvisionnement en eau. Par conséquent, ces écarts peuvent très bien conduire à une production quotidienne d'eau différente de celle que le système était censé fournir. C'est pourquoi toute déviation par rapport à la conception, pour quelque raison que ce soit, ne doit être faite qu'en consultation et avec l'approbation de l'ingénieur de conception responsable du projet.

Une fois l'installation complète du système d'eau terminée, le site doit être propre et exempt de toute terre et débris qui pourraient s'être accumulés pendant la construction. De plus, tout l'équipement de construction, les déblais de construction et les sous-produits doivent être retirés du site. Une accumulation au sol de débris laissés tels quels sur un site de système d'alimentation en eau solaire pourrait avoir un impact négatif sur le bon fonctionnement du système d'eau. Cela pourrait entraîner une détérioration de la qualité de la source d'eau (si de la terre et des débris pénètrent dans la source d'eau), une mauvaise production d'énergie à partir du panneau solaire (si la poussière et la terre s'accumulent sur les panneaux solaires) et des complications inutiles dans les routines de maintenance du système. Les documents du contrat de construction doivent attribuer la propriété et la responsabilité de l'enlèvement de l'équipement de construction et de l'enlèvement et / ou de l'élimination de toute souillure, des débris, des déblais de construction et des sous-produits.



Photo avec autorisation
de Water Mission

Les canalisations

*Toutes les canalisations
enterrées doit être
correctement remblayée
pour fournir un soutien
et une protection
adéquats aux tuyaux.*



9.2. Canalisations

Toutes les canalisations installées dans le cadre du système d'eau doivent être exempts de fuites à la fin de la construction. Pour garantir le respect de cette exigence, il est recommandé que tous les canalisations soient testées sous pression avant de remblayer la tranchée du pipeline pour vérifier les fuites. De plus, toutes les canalisations terminées doivent être désinfectées avec du chlore et rincées avant d'être mis en service.

Toutes les canalisations doivent être enterrées à au moins 1 mètre (3,3 pieds) en dessous du sol, sauf dans les endroits ou circonstances suivants:

- Transition depuis la prise d'eau
- Transition vers tous les composants de traitement de l'eau du système
- Transition vers un réservoir de stockage d'eau
- Transition vers tout autre composant au-dessus du niveau du sol nécessaire à la conception du système d'eau

De plus, si des roches ou d'autres obstacles sont rencontrés pendant la construction, causant des difficultés ou empêchant l'installation selon la conception et les spécifications, une description de l'obstacle rencontré et de la difficulté subséquente doit être soumise à l'ingénieur de conception officiel pour examen. Cela donne à l'ingénieur attitré la possibilité d'analyser comment une révision du routage des canalisations affecterait la conception du système. L'approbation de l'ingénieur attitré doit être accordée avant que le changement ne soit mis en œuvre par l'entrepreneur. Parallèlement à l'approbation de la révision, des mesures supplémentaires pour protéger le tuyau peuvent être jugées nécessaires, telles que l'enrobage du tuyau dans le béton ou l'utilisation d'un tuyau tubulaire.

Toute le canalisation enterrée doit être correctement remblayée pour fournir un soutien et une protection adéquats au tuyau. De plus, toutes les excavations de tranchées doivent être remblayées et compactées. Après l'enfouissement de la canalisation, si des fuites de canalisation sont mises en évidence par un sol mou et humide le long du tracé de la canalisation et / ou des accumulations d'eau au-dessus d'une canalisation (non dues à des précipitations), les fuites doivent être corrigées par l'entrepreneur responsable de l'installation du pipeline.

Toute le canalisation hors sol doit être installée d'aplomb et de niveau. Toute la tuyauterie au-dessus du niveau du sol doit être attachée et fixée aux composants structurels du réseau d'eau (Exemple: Éléments structurels, plates-formes ou bâtiments). En aucun cas, le canalisation ne doit supporter son propre poids ou le poids de l'eau qu'elle transporte. Des supports doivent être installés pour éviter tout affaissement ou mouvement de la canalisation pendant le fonctionnement du système d'eau.

10. Installation de la pompe et du moteur

1. Installation de la pompe et du moteur

La pompe et le moteur installés doivent correspondre à la sélection effectuée lors de la phase de conception. Le débit et la HMT requis doivent correspondre au débit et à la HMT utilisés lors de la conception. L'utilisation d'une pompe et d'un moteur de remplacement ne sera autorisée qu'avec l'approbation de l'ingénieur de conception responsable du projet.

2. Installation de la pompe

1. Source d'eau

La source d'eau utilisée dans la construction du système d'eau doit être la même que celle utilisée lors de la conception du système. L'utilisation d'une source d'eau différente modifierait la conception du système d'alimentation en eau à énergie solaire. Pour cette raison, l'utilisation d'une autre source d'eau pour quelque raison que ce soit ne sera pas autorisée sans un examen de la conception du système d'eau par l'ingénieur de conception responsable du projet.

1. Rendement à la source

Si un test de rendement sur la source d'eau n'a pas été effectué avant la sélection d'une pompe et d'un moteur, un test de rendement doit être effectué avant l'installation de la pompe et du moteur. Pour une présentation complète des tests

de rendement, voir **2.3.1. Rendement à la source**. Le rendement de la source doit être supérieur ou égal au débit de conception. Si le rendement de la source d'eau est inférieur au débit de conception, la conception du système d'eau doit être revue et peut-être repensée par l'ingénieur de conception responsable du projet avant que l'installation puisse se poursuivre.

10.2.1.2. Protection de la source

La source d'eau doit être sécurisée contre tout impact négatif potentiel sur la qualité de l'eau. Cela comprend la protection pendant la construction du système d'eau à énergie solaire, ainsi que des mesures pour protéger la qualité de l'eau à l'avenir. La dégradation de la qualité de l'eau pourrait avoir des effets négatifs sur la pompe et le moteur. (Il convient également de noter que la dégradation de la qualité de l'eau pourrait nécessiter un changement de méthode de traitement de l'eau, ce qui pourrait alors modifier le débit et la HMT du système. Cela peut nécessiter l'utilisation d'une pompe, d'un moteur et d'une configuration du champ solaire différents.)

Pendant la construction du système d'alimentation en eau à énergie solaire, le ruissellement des précipitations doit être contrôlé pour s'assurer qu'il ne coule pas sur le sol, sur les matériaux de construction perturbés, et dans la source d'eau. Cela pourrait introduire des sédiments, des produits chimiques, des matériaux de construction et d'autres contaminants dans la source d'eau. Au lieu de cela, les eaux de ruissellement doivent être acheminées au-delà de la source d'eau, et / ou la source d'eau doit être entièrement protégée contre l'entrée de tout écoulement d'eau du chantier de construction. Dans le cas d'une pompe submersible dans un forage, une protection adéquate comprend un bouchon de puits de haute qualité avec joint sanitaire.

Comme indiqué précédemment, à la fin de la construction du système, le site doit être propre et exempt de toute saleté et débris qui pourraient s'être accumulés en raison de la construction. De plus, tout l'équipement de construction, les déblais de construction et les sous-produits doivent être enlevés du site. Le sol accumulé et les débris laissés tels quels sur un site de système d'alimentation en eau solaire pourraient avoir un impact négatif sur la qualité de l'eau de la source d'eau s'ils venaient à pénétrer dans la source d'eau.

10.2.2. Exigences d'installation de la pompe et du moteur

La pompe et le moteur doivent être installés conformément aux exigences et recommandations du fabricant et conformément aux instructions de l'ingénieur de conception responsable du projet. Cela comprend, mais sans s'y limiter: l'emplacement de la pompe par rapport au niveau d'eau (ou niveau d'eau dynamique); les exigences en termes de hauteur d'aspiration positive nette de la pompe; toutes les exigences de câblage de la pompe; toute exigence en termes de capteur de fonctionnement à sec; toute exigence d'amorçage de la pompe; toute mesure de protection; et toute mesure de maintenance future.

Toutes les connexions de fils au moteur doivent être installées conformément aux exigences et recommandations du fabricant, y compris le type de câble et le(s) emplacement(s) de connexion des bornes.

10.3. Installation des équipements auxiliaires

Tous les composants auxiliaires installés avec la pompe et le moteur, y compris disjoncteurs et les sectionneurs, les unités de commande, les onduleurs, les interrupteurs à flotteur et les capteurs de marche à sec (ou interrupteurs), doivent correspondre aux sélections effectuées dans la conception du système. L'utilisation de solutions de remplacement ne sera autorisée qu'avec l'approbation de l'ingénieur de conception responsable du projet.

De plus, tous les équipements auxiliaires doivent être installés conformément aux exigences et aux recommandations du fabricant de composants et conformément aux instructions de l'ingénieur projet. Tous les composants supplémentaires doivent être solidement fixés à une surface structurelle (par exemple, le mur intérieur d'un bâtiment) dans le bon sens, conformément aux exigences et aux recommandations du fabricant. Toutes les connexions de câble à ces composants doivent être conformes aux exigences et recommandations du fabricant, y compris le type de câble et l'emplacement de connexion des bornes. Tous les presse-étoupes utilisés sur le câblage entrant ou sortant d'un boîtier électrique doivent être correctement serrés. Tous les composants électriques doivent être correctement mis à la terre conformément aux exigences du fabricant des composants.

10.4. Câblage des équipements auxiliaires

(Remarque: se rapporter à **7. Sécurité de l'installation et de la construction concernant la sécurité de toutes les tâches de construction électrique.**)

Tout le câblage électrique doit être installé en conformité avec tous les codes électriques applicables à l'emplacement du projet (tels que les codes CEI ou NEC). Tout le câblage utilisé conjointement avec la pompe et le moteur et l'équipement auxiliaire, y compris le câblage entre le moteur et l'unité de commande, le câblage associé à un interrupteur à flotteur ou à un capteur / interrupteur de marche à sec, et tout le câblage de mise à la terre, doit être conforme aux câblages identifiés dans la conception du système (voir **4.3. Exigences relatives aux câbles électriques**). L'utilisation de toute solution de rechange ne sera autorisée qu'avec l'approbation de l'ingénieur de conception responsable du projet.

Tout le câblage enterré doit être conçu pour un enfouissement direct et enterré à au moins 1 mètre (3,3 pieds) sous le sol. Tout le câblage enterré non conçu pour l'enfouissement direct doit être enfermé dans un conduit électrique conforme. De plus, toutes les excavations de tranchées doivent être remblayées et compactées. Si des rochers ou d'autres obstacles sont rencontrés, causant des difficultés ou empêchant l'installation conformément à la conception et aux spécifications, une description de l'obstacle rencontré et de la difficulté subséquente doit être soumise à l'ingénieur de conception officiel pour examen. L'approbation de l'ingénieur doit être accordée avant que tout écart par rapport à la conception (et aux spécifications de construction) ne soit promulgué par l'entrepreneur. Parallèlement à l'approbation de la révision, des mesures supplémentaires pour protéger le fil et / ou le conduit peuvent être jugées nécessaires, comme l'enrobage dans du béton ou l'utilisation d'un tube de gaine.

Tout le câblage non enterré doit être enfermé dans un conduit électrique (à l'exception de la section verticale du câble dans un trou de forage pour une pompe submersible décrite ci-dessus). Tous les conduits hors sol doivent être installés d'aplomb et de niveau. Tous les conduits doivent être fermement attachés et fixés aux composants structurels du système d'eau (par exemple : Éléments structurels, plates-formes ou surfaces des bâtiments). En aucun cas le conduit ne doit être installé de manière à supporter son propre poids ou le poids du câblage qu'il transporte. Des supports doivent être installés pour éviter tout affaissement ou mouvement du conduit. Toutes les extrémités de conduit non fermées doivent être protégées de l'intrusion d'eau, d'insectes ou d'autres matières indésirables.



Photo avec autorisation de Water Mission



L'installation et la construction du système PV

Le câblage du champ solaire



Photo avec autorisation de Water Mission

Tout le câblage doit être correctement connecté. En aucun cas, le câble nu ne doit rester exposé. En conséquence, les extrémités dénudées des fils doivent être réduites au minimum pour établir une connexion correcte. Les connexions effectuées à l'intérieur de l'équipement électrique ou des composants et boîtiers associés doivent réduire au minimum les longueurs dénudées de fil nu. Des épissures et des connecteurs de taille appropriée seront utilisés en fonction de la taille et du type de câble.

11. Installation et construction du système PV

(Référence CEI 60364-7-712)

1. Module solaire

Le module solaire utilisé dans la construction du tableau solaire doit correspondre à la puissance nominale et aux spécifications sélectionnées lors de la conception (voir **4.1.1. Sélection du panneau solaire**). L'utilisation d'un autre panneau solaire ne sera autorisée qu'avec l'approbation de l'ingénieur de conception responsable du projet. Tous les panneaux du champ solaire doivent respecter les mêmes spécifications, y compris la tension de point de puissance maximale (V_{ppm}), le courant de point de puissance maximal (I_{ppm}), la tension de circuit ouvert (V_{oc}), la courant de court-circuit (I_{cc}), le coefficient de température à V_{oc} ($TC V_{oc}$) et la température normale de la cellule de fonctionnement (NOCT). De plus, les dimensions des panneaux solaires installés doivent correspondre aux dimensions nécessaires pour se conformer à la conception du rack de panneaux solaires (voir **11.5. Rack de panneaux solaires**).

Tout panneau solaire sélectionné doit être conforme aux normes internationales CEI:

- CEI 61215 Modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation.
- CEI 61646 Modules photovoltaïques (PV) en couches minces pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation
- CEI 61730-1 Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) – Partie 1: Exigences pour la construction
- CEI 61730-2 Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) – Partie 2: Exigences pour les essais

11.2. Champ solaire

La configuration du champ solaire (c'est-à-dire le nombre de panneaux solaires en série et le nombre de chaînes parallèles) doit correspondre à la configuration de conception (voir **4.1.2. Configuration du champ solaire**). L'angle d'inclinaison ainsi que l'orientation du champ solaire doivent correspondre aux exigences de conception (voir **4.2. Autres exigences d'installation**). Tout écart dans la configuration, l'angle d'inclinaison des carreaux ou la direction cardinale du panneau solaire, pour quelque raison que ce soit, devra faire l'objet d'un examen et nécessitera une approbation par l'ingénieur de conception responsable du project.

Toutes les conceptions et installations de panneaux solaires doivent être conformes aux exigences de conception CEI 62548 pour les panneaux photovoltaïques (PV).

11.3. Câblage du champ solaire

(Référence CEI 60364-7-712)

L'ensemble du câblage utilisé dans la construction du panneau solaire, y compris le câblage entre les panneaux solaires individuels, le câblage du champ solaire à la pompe et au moteur, et tout le câblage de mise à la terre, doit être conforme au fil identifié dans la conception du système (voir **4.1. Conception du champ solaire**). L'utilisation d'une solution de recharge ne sera autorisée qu'avec l'approbation de l'ingénieur de conception responsable du project.

Tout le câblage enterré doit être conçu pour un enfouissement direct et enterré à au moins 1 mètre (3,3 pieds) sous le sol. Tout le câblage enterré non conçu pour l'enfouissement direct doit être enfermé dans un conduit électrique conforme.

De plus, toutes les excavations de tranchées doivent être remblayées et compactées. Si des roches ou d'autres obstacles sont rencontrés, causant des difficultés ou empêchant l'installation selon la conception et les spécifications, une description de l'obstacle rencontré et de la difficulté engendrée doit être soumise à l'ingénieur attitré pour examen. L'approbation de l'ingénieur doit être accordée avant que l'entrepreneur ne promulgue un écart par rapport à la conception (et aux spécifications de construction). Parallèlement à l'approbation de la révision, des mesures supplémentaires pour protéger le fil et / ou le conduit peuvent être jugées nécessaires, comme l'enrobage dans du béton ou l'utilisation d'un tube de gaine.

Tout le câblage non enterré doit être enfermé dans un conduit électrique (sauf pour les sections de panneaux solaires individuels décrites ci-dessous). Tous les conduits hors sol doivent être installés d'aplomb et de niveau. Tous les conduits doivent être fermement attachés et fixés aux composants structurels du système d'eau (par exemple, les éléments de support solaire ou les surfaces des bâtiments). En aucun cas, le conduit ne doit être installé de manière à supporter son propre poids ou le poids du câblage qu'il transporte. Des supports doivent être installés pour éviter tout affaissement ou mouvement du conduit. Toutes les extrémités de conduit non fermées doivent être protégées de l'intrusion d'eau, d'insectes ou d'autres matières indésirables.

Les sections horizontales jusqu'aux conducteurs des panneaux solaires individuels sont les seuls endroits où le fil n'est pas enterré et est dépourvu de conduit. Ce câblage doit être conservé directement sous les panneaux solaires et solidement fixé aux cadres des panneaux solaires et au rack du champ solaire. Les sections verticales de fil allant du rack du champ solaire au sol doivent être enfermées dans un conduit électrique.

Toutes les sections de câblage doivent être correctement connectées. En aucun cas, le fil nu ne doit rester exposé. Par conséquent, afin d'établir une connexion correcte, les extrémités de fil dénudées doivent être réduites au minimum. Les connexions effectuées à l'intérieur de l'équipement électrique ou des composants et boîtiers associés doivent réduire au minimum les longueurs dénudées de câble nu.

Les connecteurs utilisés en bout de chaînes et effectuant les rallonges jusqu'aux boîtiers de connexion doivent être de la même marque et du même modèle que les connecteurs qui sont installés sur le panneau solaire par le fabricant du panneau solaire. L'utilisation de solutions de remplacement ne sera autorisée qu'avec l'approbation de l'ingénieur de conception responsable du projet. L'installation d'un connecteur sur un fil doit toujours être effectuée conformément aux exigences et recommandations du fabricant du connecteur.

Le champ solaire doit être correctement mis à la terre conformément aux exigences de conception et aux recommandations du fabricant du panneau solaire.

Tout câblage doit être conforme aux normes CEI 60364-7-712, 60947-1 et 62253.

11.4. Composants supplémentaires du champ solaire

Tous les composants auxiliaires utilisés dans la construction du champ solaire, y compris tous les disjoncteurs et les sectionneurs, les boîtiers de combinaison et les autres éléments qui conduisent l'alimentation, doivent être conformes aux composants identifiés dans la conception du système (voir **4.4. Composants du champ solaire**). L'utilisation de solutions de remplacement ne sera autorisée qu'avec l'approbation de l'ingénieur de conception responsable du projet.

Tous les composants auxiliaires doivent être correctement orientés et solidement fixés à une surface structurelle (par exemple, le mur intérieur d'un bâtiment) conformément aux exigences et aux recommandations des fabricants. Toutes les connexions de fils à ces composants doivent être conformes aux exigences de conception et aux recommandations des fabricants. Tous les serre-fils utilisés sur le câblage entrant ou sortant d'un composant doivent être correctement serrés pour se protéger des ouvertures non protégées dans le composant. Tous les composants électriques doivent être correctement mis à la terre conformément aux exigences de conception et aux recommandations du fabricant des composants.

11.5. Support structurel (rack solaire)

Les structures doivent correspondre aux exigences énoncées dans **4.5. Conception du système de montage photovoltaïque** (y compris la configuration, l'angle d'inclinaison et la direction cardinale). Les structures doivent être construites selon la conception du système photovoltaïque (voir **4. Conception du système PV**). Cette dernière comprend

l'emplacement, la hauteur des panneaux solaires au-dessus du sol, les mesures pour prévenir ou résister à la corrosion, toutes les mesures de sécurité pour dissuader le vol et le vandalisme des panneaux solaires, et tout plan d'entretien future. Tout écart dans la conception ne sera autorisé qu'avec l'approbation de l'ingénieur de conception responsable du projet.

Comme indiqué dans **4.5.2. Autres considérations relatives à la conception du rack solaire**, les éléments structurels du rack doivent être peints, galvanisés ou faits d'un matériau qui résiste ou prévient la rouille, la corrosion et d'autres dommages. Cela comprend la fourniture de moyens pour empêcher l'eau de pénétrer à l'intérieur des éléments structurels creux qui encourageraient la rouille. De même, toutes les fixations et la quincaillerie doivent être composées d'un matériau résistant à la corrosion.

12. Construction du stockage d'eau

1. Installation du réservoir de stockage

Si la conception d'un système d'eau comprend un réservoir de stockage d'eau, le réservoir de stockage d'eau doit correspondre à ce qui a été spécifié dans la conception, y compris en termes de volume et d'emplacement (voir **5. Stockage d'eau**). L'utilisation d'une alternative ne sera autorisée qu'avec l'approbation de l'ingénieur de conception responsable du projet. Les réservoirs de stockage d'eau installés dans le cadre du système d'eau doivent être exempts de fuites une fois la construction terminée. En outre, les réservoirs de stockage d'eau terminés doivent être désinfectés avec du chlore et rincés avant d'être mis en service dans le cadre du système d'alimentation en eau.

2. Construction de la structure de support du réservoir

Toutes les structures utilisées pour soutenir le réservoir de stockage d'eau doivent être construites conformément à la conception du système d'eau (voir **5.3. Conception du support de réservoir**). Tout écart par rapport à la conception ne sera autorisé qu'avec l'approbation de l'ingénieur de conception responsable du projet.

La structure doit fournir une surface plane pour supporter le réservoir. Si le béton doit être utilisé comme partie de la structure de support du réservoir, il est recommandé de laisser le béton durcir pendant au moins sept jours avant la mise en place du réservoir de stockage sur la structure.



Photo avec autorisation de Water Mission



LA MISE EN SERVICE



D. MISE EN SERVICE

13. Vérification du système

(Référence CEI 62253 – 6.6. Contrôle de conception du système de pompage PV par rapport au volume d'eau journalier)

A la fin de l'installation, chaque composant doit être mis en service par l'entreprise responsable de son installation selon le protocole suivant. En présence de l'ingénieur attitré ou du représentant du propriétaire, le composant doit être utilisé et doit fonctionner conformément à la conception de ce composant. Cela implique la mise en service du système PV, de la pompe et du moteur, des canalisations et du stockage de l'eau. Tout manquement aux performances requises doit être corrigé par l'installateur dudit composant. La mise en service des composants doit ensuite être renouvelée. Tous les composants doivent fonctionner conformément à la conception du système. La CEI 62253 permet une incertitude maximale de 3% dans la mesure utilisée pour évaluer les performances.

1. Vérification du système photovoltaïque

Les vérifications suivantes doivent être effectuées, avec les résultats inclus dans le rapport d'achèvement de l'installateur:

- Mesurer la tension entrant dans le contrôleur du moteur de la pompe à partir du champ solaire. La tension mesurée doit correspondre à celle de la conception avec une tolérance de 5%.
- Si les disjoncteurs et les sectionneurs a été installés en sortie du champ solaire, le placer en position de déconnexion (ou circuit ouvert) et mesurer la tension entrant dans le contrôleur du moteur de la pompe. La tension mesurée doit être nulle.

14. Documentation

(Référence CEI 62253 – 6.5. Documentation)

La documentation finale doit être fournie au propriétaire du système avant que le projet ne soit considéré comme terminé et prêt à fonctionner pleinement. Cette documentation comprendra:

- a. Dossier de conception (voir **6. Dossier de conception**)
- b. Dossiers d'installation
- c. Manuel d'utilisation et d'entretien
- d. Informations sur la garantie

Les dossiers ci-dessus consistent en des dessins illustrant le système complet, y compris l'emplacement, l'identification, les tailles et le routage (de la pompe, du moteur, des commandes de pompe, du tableau solaire, du câblage, de la tuyauterie, des réservoirs de stockage d'eau, etc.). Toutes les différences entre la documentation de conception et la documentation d'installation doivent être clairement notées, la documentation d'installation constituant un enregistrement réel de tous les composants installés.

Le manuel d'utilisation et d'entretien doit couvrir les sujets suivants de manière claire et facile à comprendre:

- Le fonctionnement standard de tous les équipements, y compris les mesures de dépannage et l'interprétation des indicateurs d'état et d'erreur
- Instructions pour corriger ou réhabiliter après des erreurs ou des pannes dans le système
- Instructions sur toutes les mesures de sécurité nécessaires
- Instructions sur toutes les mesures d'entretien, y compris les calendriers d'entretien recommandés
- Toutes les références nécessaires aux enregistrements d'installation

Les informations fournies sur la garantie doivent comprendre toutes les garanties fournies par les fabricants de l'équipement. Cela peut concerner, sans s'y limiter, la pompe, le moteur, les commandes de la pompe, les panneaux

solaires, etc. Les fournisseurs de produits sont généralement responsables de la gestion des garanties du fabricant sur les équipements. Les garanties sur les équipements sont généralement les suivantes:

- Panneaux solaires: 25 ans sur la performance et 10 ans sur les défauts de fabrication
- Equipements de conditionnement d'énergie et onduleurs: 5 ans
- Pompes et moteurs: 2 à 5 ans

En outre, des garanties sur l'installation et la construction des principaux éléments du projet doivent être fournies. Il s'agit d'une garantie sur les matériaux, les composants et la qualité de la fabrication. La durée des garanties couvrant l'installation et la construction doit être convenue entre le propriétaire du système et la partie responsable de l'installation ou de la construction de chaque composant. Une durée de garantie de deux ans à compter de la date de mise en service finale du système est recommandée (le minimum requis est une durée de garantie d'un an).

15. Informations sur le remplacement des équipements ou pièces de recharge

Les informations nécessaires à l'acquisition et au remplacement des principaux composants du système doivent être fournies au propriétaire du système d'alimentation en eau par énergie solaire pour une utilisation future. Toutes les parties doivent comprendre que lorsque les équipements et les composants sont en fin de vie, il est possible que les informations relatives à l'achat et au remplacement soient obsolètes. Cependant, il est préférable d'avoir des informations obsolètes plutôt que de n'avoir aucune information.

En outre, il est recommandé au propriétaire du système d'alimentation en eau par énergie solaire d'envisager de se procurer des pièces de rechange pour les principaux composants de l'équipement au moment de la mise en service initiale du système, si l'acquisition future de ces articles pose problème. C'est particulièrement le cas dans les pays ou régions où les chaînes d'approvisionnement des composants d'un système sont pratiquement inexistantes ou bien mal organisées. Cependant, l'achat de tout équipement qui sera mis de côté jusqu'à une date d'utilisation future doit également être envisagé à la lumière de la pertinence de cet équipement par rapport aux exigences futures du système dans son ensemble. Par exemple, si une deuxième pompe du même modèle que celle installée dans le système d'origine est achetée

et conservée pour le jour où la pompe actuelle ne sera plus fonctionnelle, cette pompe devra subvenir à la croissance potentielle de la demande quotidienne en eau du projet dû à une augmentation de la population ou de l'utilisation de l'eau. Ainsi, tout achat de composants de rechange à utiliser à l'avenir doit être soigneusement évalué, mais ce guide recommande de prendre en compte les composants de rechange.

E. SUJETS SUPPLÉ-MENTAIRES

16. Introduction à l'exploitation et à la maintenance des systèmes d'eau à énergie solaire

Le présent document d'orientation est axé sur la conception et l'installation. Cependant, d'autres sujets relatifs aux systèmes d'alimentation en eau par énergie solaire sont d'une grande importance. L'un de ces sujets est l'exploitation et la maintenance. Afin de reconnaître cette importance, la section suivante est incluse ici comme un aperçu des rôles et des responsabilités qui sont nécessaires pour exploiter et entretenir durablement les dits systèmes d'un point de vue technique et financier.

Avant de discuter des activités courantes qui sont nécessaires pour exploiter et entretenir les systèmes d'eau alimentés à l'énergie solaire, il est important de reconnaître que le bon fonctionnement et la maintenance de ces systèmes dépendent de manière critique des modalités de prestation de services en place, et ce, encore plus que de la durabilité de la technologie elle-même. La question fondamentale qui doit être abordée avant la mise en service d'un système d'alimentation en eau solaire est la suivante: qui sera propriétaire des actifs du système d'eau à long terme? La réponse à cette question déterminera alors qui a la responsabilité de maintenir le système et le pouvoir de déléguer cette responsabilité. La répartition de toutes les responsabilités permanentes, qu'elles soient techniques ou non, doit être clairement articulée dans les accords contractuels, et tous les acteurs doivent avoir la capacité de respecter leurs engagements. Cela signifie que les acteurs communautaires, tels que les comités d'usagers de l'eau, devront être correctement formés et professionnalisés. En outre, certaines responsabilités peuvent devoir être déléguées à des entités du secteur privé plus qualifiées. Les modalités de prestation de services devraient également établir et maintenir des périodes de garantie et de responsabilité en cas de défaut,

idéalement pour deux ans ou plus (exigence minimale d'un an). Les dispositions devront également prévoir une éventuelle révision et le remplacement des équipements. Plus important encore, un plan réalisable pour couvrir les coûts permanents grâce à une combinaison de fonds provenant des tarifs, des taxes et des transferts doit être en place.

En outre, les systèmes d'eau à énergie solaire rencontrent des problèmes techniques courants, tels que le vandalisme, le vol et les pannes électriques. Un fonctionnement et une maintenance appropriés peuvent aider à éviter ou à résoudre ces problèmes. Comme indiqué précédemment dans ce guide, des plans peuvent être élaborés lors de la conception du champ solaire pour aider à garantir le succès de l'exploitation et de la maintenance. (voir **4.5.2. Autres considérations relatives à la conception du rack solaire**, **4.5.3. Sécurité des panneaux solaires** et **4.7. Maintenance des panneaux solaires**).

Une bonne pratique consiste à élaborer un plan opérationnel quotidien, de sorte que tous les acteurs comprennent clairement quelles activités devront être menées et à quelle fréquence. La maintenance typique du système consiste en des activités relativement simples qui donnent des résultats significatifs lorsqu'elles sont effectuées régulièrement. Ces activités comprennent généralement la sécurité, le nettoyage du champ solaire, la surveillance des performances, la collecte des paiements ou des redevances des utilisateurs, des réparations mineures et la tenue de registres. Ces activités sont menées sur une base quotidienne, hebdomadaire ou moins fréquente. D'autres activités se dérouleront sur une base trimestrielle, annuelle ou une fois par cycle de vie. Cela peut inclure des diagnostics et des réparations complexes, le remplacement de composants et des problèmes de garantie. La bonne tenue des registres du volume d'eau produit, des tarifs perçus, des changements dans les niveaux des eaux souterraines, des réparations effectuées et d'autres activités est d'une importance cruciale. Ces informations peuvent être utilisées pour éviter les conflits, indiquer la durabilité des prélèvements d'eaux souterraines et sont généralement nécessaires pour remplir les garanties de produits. Le fait de ne pas effectuer régulièrement ces activités entraînera des réparations coûteuses qui auraient pu être évitées et une éventuelle défaillance du système.

Les activités de maintenance les plus simples mais les plus impactantes associées aux systèmes à énergie solaire sont le nettoyage de routine des panneaux solaires et l'entretien du site autour du générateur. Ceci est fait pour s'assurer qu'à aucun moment de la journée une ombre ne soit projetée sur le champ solaire. La puissance de sortie



Photo avec autorisation de Water Mission

du champ solaire diminuera en raison de l'accumulation de poussière (voir **4.1.3. Pertes de puissance**). De plus, un panneau qui devient ombragé à certains moments de la journée en raison d'arbres, de bâtiments ou d'autres obstacles ne produira pas toute la quantité d'énergie qu'il est capable de produire (voir **4.1.3. Pertes de puissance**).

17. Systèmes d'eau à énergie solaire dans les interventions humanitaires en cas de catastrophe

Après une catastrophe, les tâches les plus importantes, après la recherche et le sauvetage, entrent dans les catégories des soins médicaux, des abris, de la nourriture et de l'eau. Lorsqu'il s'agit de fournir de l'eau potable aux sinistrés et aux travailleurs humanitaires, les solutions les plus courantes sont le transport par camion d'eau et la production d'eau alimentée par un générateur. Cependant, les systèmes d'eau à énergie solaire présentent également une option viable dans la réponse humanitaire aux catastrophes. La section suivante aborde certaines des raisons pour lesquelles les applications à énergie solaire doivent être envisagées.

La première raison est que les systèmes d'eau alimentés à l'énergie solaire ont généralement des coûts d'exploitation et de maintenance inférieurs. Ces coûts sont généralement inférieurs, car les systèmes solaires n'utilisent ni carburant ni huile. Après une catastrophe, le carburant est souvent rare ou difficile à obtenir. Les troubles civils, les infrastructures endommagées et les barrières physiques rendent le transport et la livraison du carburant problématiques. Si le carburant est accessible, il peut souvent avoir un coût élevé en raison

de l'approvisionnement limité et des difficultés de livraison. De plus, avant que les intervenants WASH puissent se déplacer vers d'autres communautés et sites, ils doivent déterminer qui sera responsable du fonctionnement technique et de la pérennité financière du système d'eau. Si les coûts opérationnels sont élevés en raison du coût du carburant, cela peut être un fardeau difficile à supporter par une communauté en voie de rétablissement ou par d'autres organisations de secours. L'utilisation de systèmes d'eau à énergie solaire élimine ces coûts. De plus, l'entretien et le dépannage du générateur nécessitent beaucoup de temps et d'attention. Cela ajoute également aux coûts de maintenance et demande aux membres de la communauté du temps qu'ils pourraient consacrer à d'autres domaines importants après une catastrophe. En général, les exigences et les coûts d'entretien ont tendance à être inférieurs pour les systèmes solaires par rapport aux systèmes avec générateurs.

La raison suivante à considérer est l'aspect pratique de l'alimentation électrique d'un système d'eau. Lorsque les systèmes dépassent une certaine taille, la mobilité de l'équipement doit être prise en compte. Il est généralement plus facile de déplacer des panneaux solaires sur un site, par opposition à un gros générateur. Par exemple, un générateur de 50 kW pourrait peser plus de 1500 livres (700 kg), et nécessitera un camion pour le transport. Les panneaux solaires peuvent être transportés à la main sur un site individuellement. Une équipe peut transporter à la main 50 kW de panneaux, ce qui est particulièrement important pour les sites difficiles d'accès après une catastrophe. De plus, les systèmes solaires peuvent être mis à l'échelle en fonction du projet. Cela permet une plus grande flexibilité entre les différentes communautés. Enfin, les panneaux solaires sont silencieux et ne dégagent aucun gaz d'échappement. Par conséquent, ils ne créent pas de bruit et de pollution de l'air comme le fait un générateur. Cela peut être particulièrement utile après une catastrophe lorsque les gens sont en état d'alerte et dorment potentiellement dans des camps ou des centres de secours à proximité des équipements du réseau d'eau.

Enfin, la valeur à long terme et la durabilité des systèmes d'eau solaires doivent être prises en compte. Les générateurs, en particulier les petits modèles et ceux équipés de roues, ont tendance à devenir des cibles de vol. Les panneaux solaires peuvent être fixés dans un cadre soudé, ce qui les rend difficiles à voler sans voler le cadre entier, qui est lourd et généralement boulonné à une structure. De plus, la durée de vie d'un système d'énergie solaire est plus longue que celle d'un générateur. Par conséquent, il est courant que la durée de vie aille bien au-delà de la reprise après sinistre.

Les systèmes d'alimentation en eau à énergie solaire peuvent être une excellente option pour fournir rapidement de l'eau salubre aux personnes en cas de catastrophe humanitaire. Chaque catastrophe sera différente, mais les coûts d'exploitation et de maintenance, l'aspect pratique et la durabilité doivent tous être pris en compte pour déterminer comment alimenter le système d'eau.

F. Références

- Alternative Energy Tutorials. (2017). Connecting solar panels together. Retrieved from <http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/connecting-solar-panels-together.html>
- Arnalich, S. (2010). Gravity flow water supply (1st English ed.). Arnalich Water and Habitat.
- European Commission. (2017). Photovoltaic Geographical Information System. Retrieved from http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
- Grundfos. (2004). *Pump handbook*. Bjerringbro, Denmark.
- Grundfos. (1999). *Water systems engineering manual*. Bjerringbro, Denmark.
- Grundfos. (2008). *SP engineering manual*. Bjerringbro, Denmark.
- IEC. (2017). IEC 60364-7-712 *International Standard Low voltage electrical installations – Part 7-712: Requirements for special installations or locations – Solar photovoltaic (PV) power supply systems* (Edition 2.0, 2017-04). Geneva, Switzerland: IEC Central Office.
- IEC. (2004). IEC 62124 *International Standard Photovoltaic (PV) stand-alone systems – Design verification* (First Edition, 2004-10). Geneva, Switzerland: IEC Central Office.
- IEC. (2011). IEC 62253 *International Standard Photovoltaic pumping systems – Design qualification and performance measurements* (Edition 1.0, 2011-07). Geneva, Switzerland: IEC Central Office.

IEC. (2016). *IEC 62548 International Standard Photovoltaic (PV) arrays – Design requirements* (Edition 1.0, 2016-09). Geneva, Switzerland: IEC Central Office.

ISO. (2003). *ISO 14686:2003 Hydrometric determinations — Pumping tests for water wells—Considerations and guidelines for design, performance and use* (First Edition 2003-07-15). ISO.

Mihelicic, J. R., Fry, L. M., Myre, E. A., Phillips, L. D., & Barkdoll, B. D. (2009). *Field guide to environmental engineering for development workers*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

NASA Prediction Of World Energy Resources. (2019). POWER data access viewer. Retrieved from <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Solar World. (2016, March 23). *Cleaning & maintenance of SolarWorld photovoltaic modules. Technical Bulletin* (Issue 1036). Retrieved from http://www.solarworld-usa.com/~media/www/_files/technical-bulletins/solar-panel-cleaning-and-maintenance.pdf

The Sphere Project. (2018). *Humanitarian charter and minimum standards in humanitarian response* (4th ed.). Geneva, Switzerland: Practical Action Publishing.

UNICEF/Skat Foundation. (2016). Professional Water Well Drilling: A UNICEF Guidance Note. Cost Effective Borehole Partnerships of the Rural Water Supply Network: UNICEF and Skat Foundation.

UNICEF/Skat Foundation. (2018). Borehole Drilling – Planning, Contracting and Management: A UNICEF Toolkit. Cost Effective Borehole Partnerships of the Rural Water Supply Network: UNICEF and Skat Foundation.

United Nations High Commissioner for Refugees. (2018, September). UNHCR WASH Manual: Practical guidance for refugee settings (4th ed.). Geneva, Switzerland: UNHCR.

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2011, June). *Planning for an emergency drinking water supply* (Technical Report No. EPA 600/R-11/054). Retrieved from https://www.epa.gov/sites/production/files/201503/documents/planning_for_an_emergency_drinking_water_supply.pdf

Water Mission. (2013). *Water accessibility and use revisited: Implications for financial planning of rural water supplies*. Retrieved from <https://whconference.unc.edu/files/2014/01/armstrong2.pdf>

World Bank Group, ESMAP, & Solargis. (2020, February). *Global Solar Atlas*. Retrieved from globalsolaratlas.info/map

Howard, G. & Bartram, J. (2003). *Domestic water quantity, service, level and health*. Geneva, Switzerland: World Health Organization. Retrieved from http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/67884/1/WHO_SDE_WSH_03.02.pdf

Adams, J., Bartram, J., & Chartier, Y. (2008). *Essential environmental health standards in health care*. Geneva, Switzerland: World Health Organization. Retrieved from https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/ehs_hc/en/

G. AUTRES RESSOURCES CONCERNANT LES SYSTÈMES ALIMENTÉS À L'ÉNERGIE SOLAIRE

Global Sustainable Energy Solutions. (2019). *Solar Water Pumping Systems: System Design, Selection and Installation Guidelines*. The Pacific Power Association (PPA) and the Sustainable Energy Industry Association of the Pacific Islands (SEIAPI).

GRID Nepal and Center for Energy Studies Institute of Engineering, TU. (2014, October). *Training Manual Solar PV Pumping System*. Kathmandu, Nepal: Government of Nepal, Ministry of Science, Technology and Environment (MoSTE), Alternative Energy Promotion Center (AEPC).

International Organization for Migration (IOM) – Global Solar & Water Initiative. (2018). *Solar Water Pumping Miniguide*. IOM.

Practica Foundation. (2018). *Solar Pumping For Village Water Supply Systems*. The Netherlands: Practica Foundation.

Shehadeh, Nader Hajj. (2015, May 19). *Solar Powered Pumping in Lebanon, A Comprehensive Guide on Solar Water Pumping Solutions*. UNDP and Swiss Agency for Development and Cooperation SDC.

The World Bank. (2018). *Solar Pumping The Basics*. Washington, DC, United States: International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank.

United States Department of Agriculture (USDA) and Natural Resources Conservation Service (NRCS). (2010, October). *Technical Note No. 28, Portland, Oregon, Design of Small Photovoltaic (PV) Solar Powered Water Pump Systems*. Washington, DC, USA: USDA, NRCS.



ANNEXES



H. ANNEXES

Annexe A.

ÉTAPES DE BASE DE LA CONCEPTION D'UN SYSTÈME D'EAU SOLAIRE

La conception d'un système d'alimentation en eau à partir de l'énergie solaire comprend cinq étapes de base.

ÉTAPE 1 | Calculer la demande quotidienne en eau pour le projet.

| | |
|---|--|
| Référence dans le document d'orientation: | 2.2. Demande quotidienne en eau du projet |
| Question à laquelle il faut répondre: | Quelle sera la demande en eau à laquelle le système devra répondre |

ÉTAPE 2 | Déterminer le rendement de la source d'eau disponible pour le système d'eau solaire.

| | |
|---|---|
| Référence dans le document d'orientation: | 2.3. Source d'eau |
| Question à laquelle il faut répondre: | Le rendement de la source d'eau satisfait-il ou dépasse-t-il la demande calculée à l'étape 1? |

ÉTAPE 3 | Déterminer la hauteur manométrique totale (HMT) du système d'eau au débit de conception choisi.

| | |
|---|---|
| Référence dans le document d'orientation: | 2.4 Le design du système d'aduction d'eau 3.1. Débit de conception |
| Question à laquelle il faut répondre: | Quels sont le débit nominal et la HMT que la pompe devra respecter? |

ÉTAPE 4 | Sélection d'une pompe et d'un moteur.

| | |
|---|--|
| Référence dans le document d'orientation: | 2. Sélection de pompe et de moteur (ou sélection de l'ensemble de pompe photovoltaïque) 3. Puissance requise 4. Spécifications du fabricant |
| Question à laquelle il faut répondre: | Quelles sont les exigences de puissance du moteur de pompe pour atteindre les performances souhaitées? |

ÉTAPE 5 | Conception le système PV.

| | |
|---|---|
| Référence dans le document d'orientation: | 4. Conception du système photovoltaïque |
| Question à laquelle il faut répondre: | Comment le système solaire devra-t-il être configuré pour fournir la puissance requise par le moteur de la pompe? |

Comme le montre ce document, chaque système peut avoir des considérations spécifiques qui doivent être prises en compte dans les détails de conception du système. Cependant, ces cinq étapes constituent les principaux éléments constitutifs de chaque système, et aucune conception de système d'eau à énergie solaire n'est complète sans eux.

Annexe B

Exemple: Le calcul de la demande quotidienne en eau du projet

(Référence CEI 62253 – 6.2. Données client, d. Demande en eau)

Une communauté rurale du Kenya s'approvisionne actuellement en eau potable à partir de trois sources: un forage équipé d'une pompe à main, une rivière et des ruisseaux saisonniers qui n'ont pas de débit pendant la saison sèche. La population de la communauté a augmenté et il y a toujours de longues files d'attente à la pompe à main. De plus, la rivière n'est pas facilement accessible par tout le monde car elle se trouve à l'extrême ouest de la communauté. Une source de financement est devenue disponible pour concevoir et installer un système d'approvisionnement en eau par l'énergie solaire afin de mieux répondre aux besoins en eau potable de la communauté.

La communauté est composée de 350 ménages et le nombre de personnes par ménage est de six en moyenne. De plus, il y a une école dans la communauté avec 700 élèves, et tous les 700 élèves résident dans la communauté.

Après avoir discuté des besoins en eau avec les dirigeants de la communauté, il est déterminé que l'utilisation quotidienne d'eau par personne correspond au modèle suivant.

| UTILISATION DE L'EAU | PAR PERSONNE PAR JOUR |
|---|-----------------------|
| Boisson et cuisine | 4 à 6 litres |
| Hygiène de base | 2 à 4 litres |
| Productivité (bétail, irrigation, blanchisserie, autres usages) | 0 à 6 litres |
| QUANTITÉ TOTALE D'UTILISATION D'EAU: | 6 à 16 litres |

Étape 1: Déterminer la population totale destinée à être desservie par le système.

Avant d'utiliser l'équation proposée dans la section **2.2.1.1. Types de population – Les ménages**, se pose la question de savoir si les 350 ménages sont censés être desservis par le système. Ces ménages auront-ils vraiment accès à l'eau fournie ? Dans cet exemple, il est déterminé que les 350 ménages sont tous destinés à utiliser l'eau de ce projet. Par conséquent, en appliquant l'équation:

$$\text{Population approximative} = \text{Nombre de ménages} \times \text{Nombre moyen de personnes par ménage}$$
$$2100 \text{ personnes} = 350 \text{ ménages} \times 6 \text{ personnes par ménage}$$

Étape 2: Ajouter d'autres personnes qui utiliseront l'eau.

Cette communauté compte une école de 700 élèves. Si tous ou certains de ces élèves n'étaient pas pris en compte par le calcul précédent, alors ces élèves pourraient être ajoutés au chiffre de population, ou la quantité totale de consommation d'eau pour cet établissement pourrait être ajoutée plus tard à la demande. Cependant, pour cet exemple, nous supposerons que les 700 élèves résident dans la communauté. Par conséquent, ils sont déjà pris en compte dans l'équation précédente.

Étape 3: Déterminer la quantité d'eau que chaque personne collectera du système chaque jour.

Le tableau ci-dessus donne une fourchette de 6 à 16 litres par personne et par jour en fonction de différentes utilisations et de différentes quantités pour chaque utilisation. Cependant, il est important que le système d'alimentation en eau par l'énergie solaire soit conçu pour fournir uniquement la quantité d'eau destinée à être collectée depuis le nouveau système de pompage. Dans cette communauté, les gens collecteront du système toute leur eau utilisée pour boire et cuisiner. Ils ne collecteront qu'une partie de l'eau qu'ils utilisent pour l'hygiène, et ils ne collecteront aucune eau pour des usages productifs. À l'aide de ces informations, il est déterminé qu'une personne dans la communauté va collecter en moyenne six à huit litres du système par jour. (Pour plus d'informations, voir **2.2.3. Domaine d'Utilisation de l'Eau**)

Étape 4: Calculer la demande individuelle en eau.

Dans **2.2.4. Prédire la demande individuelle**, le calcul de trois types différents de demandes individuelles est présenté. En utilisant les informations ci-dessus pour cette communauté, nous calculons maintenant les trois.

Le calcul de la demande maximale lors de la mise en service du système se fait à l'aide des informations déjà fournies.

$$\begin{aligned} & \text{Demande maximale lors de la mise en service du système} \\ & = \text{Service de la population totale} \times \text{Quantité d'utilisation individuelle totale} \\ & 16800 \text{ litres par jour} = 2100 \text{ personnes} \times 8 \text{ litres par personne et par jour} \end{aligned}$$

Pour le calcul de la demande anticipée lors de la mise en service du système, il faut déterminer le pourcentage de la population qui s'approvisionnera effectivement avec le nouveau système d'adduction d'eau. Il est rare que 100% de la population utilise le nouveau système. Pour cette communauté, il a été déterminé que 85% de la population utiliserait le système lors de la mise en service. De plus, pour ce calcul, s'il y a une raison de croire que les gens collecteront moins que la quantité totale d'eau individuelle par jour, alors un chiffre inférieur devrait être utilisé. Comme ce qui a été indiqué ci-dessus pour cette communauté, il est estimé que les gens collecteront entre six et huit litres par jour. Une moyenne de sept litres par jour est fixée pour le calcul.

$$\begin{aligned} & \text{Demande anticipée lors de la mise en service du système} = \\ & \text{Population de service totale} \times \% \text{ prévu de la population à} \\ & \text{Utiliser le système} \times \text{Utilisation individuelle prévue lors de la mise en service} \\ & 12495 \text{ litres par jour} = 2100 \text{ personnes} \times 85\% \times 7 \text{ litres par personne et par jour} \end{aligned}$$

Pour calculer la demande future anticipée, la croissance démographique doit d'abord être déterminée. En utilisant les données gouvernementales pour cette région du Kenya, il est déterminé que la population de la région croît à un taux de 2% par an, et l'objectif est de calculer la projection de population dans 20 ans. En utilisant l'équation fournie dans la section **2.2.4.3. Demande anticipée** pour le calcul des populations futures:

$$2100 \text{ personnes} \times ,1 + \frac{2(\%)}{100}^1 = 3120 \text{ personnes}$$

Tout comme pour le calcul de la demande anticipée lors de la mise en service du système, une détermination du pourcentage de la population qui collectera l'eau du système est nécessaire, ainsi que l'utilisation individuelle anticipée. Ces deux chiffres peuvent être différents de ceux utilisés dans le calcul de la demande anticipée lors de la mise en service du système, s'il y a des raisons de croire qu'ils seront différents. Pour cet exemple, 85% et sept litres par personne et par jour seront toujours utilisés.

$$\begin{aligned}
 \text{Demande future anticipée} = \\
 \text{Population future} \times \% \text{ prévu de la population à utiliser le système} \\
 \times \text{Quantité d'utilisation individuelle prévue}
 \end{aligned}$$

$$18564 \text{ litres par jour} = 3120 \text{ personnes} \times 85\% \times 7 \text{ litres par personne et par jour}$$

Section **2.2.6. Exigences de conception** recommande que le système soit conçu en utilisant la demande anticipée lors de la mise en service du système (à moins que toutes les parties impliquées conviennent qu'une autre demande est plus applicable aux objectifs d'un projet). Dans cet exemple, cette demande est de 12495 litres par jour.

Étape 5: Tenir compte des autres utilisations quotidiennes de l'eau et des pertes d'eau du système par jour.

A l'étape 2, il a été déterminé que la population scolaire avait déjà été prise en compte dans le calcul de la population lors de la première étape. La section **2.2.5. Perte d'eau du système** déclare qu'une perte quotidienne de cinq à dix pour cent est considérée comme acceptable. Puisque ce système utilisera tous les nouveaux composants et sera installé par des entrepreneurs qualifiés, nous utiliserons 5%.

$$12495 \text{ litres par jour} + 5\% \text{ d'eau perdue} = 13120 \text{ litres par jour}$$

La section **2.2. Demande quotidienne en eau du projet** déclare que les éléments de base du calcul de la demande en eau comprennent:

- Le calcul de la population totale et la consommation quotidienne d'eau des individus,
- La prise en compte de toute autre utilisation de l'eau qui sera fournie par le réseau d'eau proposé, et
- La prise en compte de l'eau du système existant.

La section **2.2. Demande quotidienne en eau du projet** donne aussi l'équation générale suivante:

$$\begin{aligned}
 \text{Demande quotidienne en eau du projet} = & \text{Utilisation quotidienne} \\
 & \text{individuelle de l'eau} \times \text{Population de la zone de service} + \text{Autres utilisations quotidiennes} \\
 & \text{de l'eau (institutions, bétail, commercial, industriel, récréatif, etc.)} \\
 & + \text{Pertes d'eau du système par jour}
 \end{aligned}$$

Dans l'exemple ci-dessus, nous avons examiné chacune de ces composantes pour déterminer que la demande quotidienne en eau du projet sera égale à 13120 litres par jour.

Annexe C.

Exemple: Réalisation d'un test de rendement maximal

(Référence CEI 62253 – 6.2. Données relatives aux clients, c. Conditions locales spécifiques)

Il a été établi qu'un nouveau forage est la meilleure source d'eau pour desservir une communauté rurale au Kenya. D'autres forages dans la région ont une profondeur de 30 à 70 m et ont un rendement de 2 à 7 m³/h. Lors de la mise en place du test de rendement maximal, le nouveau trou de forage a été mesuré et a une profondeur totale de 60 m et un niveau d'eau statique de 44 m. La pompe a été réglée de telle sorte que le capteur de marche à sec se trouve à 55 mètres sous terre.

Étape 1: Déterminer le niveau minimum

Voir 2.3.1.1.2.1. Description

Le niveau minimum doit être réglé à quelques mètres au-dessus du capteur de marche à sec de la pompe, qui est à 55 m pour cet exemple. Par conséquent, le niveau d'eau pendant le test de rendement ne doit pas descendre en dessous de 52 m (3 m au-dessus du niveau à sec). Cela équivaut à 8 m de rabattement considérant que le niveau d'eau statique est de 44 m. Lorsque le niveau d'eau atteindra le niveau minimum fixé et restera constant, le débit ne sera pas augmenté mais sera maintenu jusqu'à la fin du temps consacré à l'essai.

Étape 2: Déterminer les débits cibles.

Voir 2.3.1.1.2.2. Procédure de test Étapes A (b & c).

Sur la base d'autres forages de la région, le débit minimum est estimé à 4 m³ / h et le débit maximum à 7 m³ / h. Selon la procédure de test, la différence (3 m³ / h) est divisée en quatre à six intervalles à utiliser pendant le test de rendement maximal. En utilisant six quantités égales, l'intervalle sera de 0,5 m³ / h. Les débits cibles pour le test sont déterminés comme suit:

- Débit cible 1 = 4.0 m³/hr
- Débit cible 2 = 4.0 m³/hr + 0.5 m³/hr = 4.5 m³/hr
- Débit cible 3 = 4.5 m³/hr + 0.5 m³/hr = 5.0 m³/hr
- Débit cible 4 = 5.0 m³/hr + 0.5 m³/hr = 5.5 m³/hr
- Débit cible 5 = 5.5 m³/hr + 0.5 m³/hr = 6.0 m³/hr

Encore une fois, si à un moment quelconque de l'essai, le niveau d'eau descend à une valeur constante de 52 m sous la surface, le débit ne sera pas augmenté. Cependant, si le niveau d'eau n'a pas atteint 52 m au débit cible 5, le débit continuera à être augmenté au même intervalle (0,5 m³ / h) toutes les heures jusqu'à ce que le niveau minimum fixé soit atteint.

Étape 3: Pomper au débit cible 1 pendant une heure.

Voir 2.3.1.1.2.2. Procédure de Test Étapes H-I et Exemple Test de Rendement par rabattement lignes 1-24.

Pour commencer le test, la pompe sera allumée et le robinet-vanne ajusté au débit cible 1, qui a été déterminé ci-dessus à 4 m³ / h. Le niveau d'eau sera mesuré et enregistré toutes les minutes pendant les quinze premières minutes, puis toutes les 5 minutes pendant le reste de la première heure. On enregistre les résultats ci-dessous, qui indiquent que le niveau d'eau s'est stabilisé à un rabattement de 4,5 m.

| EMPS DEPUIS LE DÉBUT DU POMPAGE (minutes) | NIVEAU D'EAU MESURÉ (m) | RABATTEMENT RÉSIDUEL (m) | RABATTEMENT CUMULATIF (m) | DÉBIT DE POMPAGE MESURÉ (m ³ /hr) |
|--|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|
| 1 | 0 | 44 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 45,5 | 1,5 | 1,5 |
| 3 | 2 | 46 | 0,5 | 2 |
| 4 | 3 | 46,5 | 0,5 | 2,5 |
| 5 | 4 | 46,8 | 0,3 | 2,8 |
| 6 | 5 | 47 | 0,2 | 3 |
| 7 | 6 | 47,1 | 0,1 | 3,1 |
| 8 | 7 | 47,3 | 0,2 | 3,3 |
| 9 | 8 | 47,5 | 0,2 | 3,5 |
| 10 | 9 | 47,7 | 0,2 | 3,7 |
| 11 | 10 | 47,9 | 0,2 | 3,9 |
| 12 | 11 | 48,1 | 0,2 | 4,1 |
| 13 | 12 | 48,2 | 0,1 | 4,2 |
| 14 | 13 | 48,2 | 0 | 4,2 |
| 15 | 14 | 48,3 | 0,1 | 4,3 |
| 16 | 15 | 48,3 | 0 | 4,3 |
| 17 | 20 | 48,3 | 0 | 4,3 |
| 18 | 25 | 48,4 | 0,1 | 4,4 |
| 19 | 30 | 48,4 | 0 | 4,4 |
| 20 | 35 | 48,4 | 0 | 4,4 |
| 21 | 40 | 48,5 | 0,1 | 4,5 |
| 22 | 45 | 48,5 | 0 | 4,5 |
| 23 | 50 | 48,5 | 0 | 4,5 |
| 24 | 55 | 48,5 | 0 | 4,5 |

Étape 4: Pomper au débit cible 2 pendant une heure.

Voir 2.3.1.1.2.2. Procédure de Test Étapes J et Exemple Test de Rendement par rabattement lignes 25-48.

Puisque le débit cible 1 n'a pas abouti au niveau minimum fixé, il est nécessaire de passer au débit cible 2. À 60 minutes, la vanne est ouverte jusqu'à ce que le débit de pompage soit maintenant égal au débit cible 2 ($4,5 \text{ m}^3 / \text{h}$). Encore une fois, on pompera à ce débit pendant une heure, enregistrant le niveau d'eau toutes les minutes pendant les quinze premières minutes et toutes les cinq minutes pendant le reste de la deuxième heure. On enregistre les résultats ci-dessous, qui indiquent que le niveau d'eau s'est stabilisé à un rabattement de 6,1 m.

| TEMPS DEPUIS LE DÉBUT DU POMPAGE (minutes) | NIVEAU D'EAU MESURÉ (m) | RABATTEMENT RÉSIDUE (m) | RABATTEMENT CUMULATIF (m) | DÉBIT DE POMPAGE MESURÉ (m^3/hr) |
|---|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---|
| 25 | 60 | 48,5 | 0 | 4,5 |
| 26 | 61 | 48,8 | 0,3 | 4,5 |
| 27 | 62 | 49 | 0,2 | 4,5 |
| 28 | 63 | 49,2 | 0,2 | 4,5 |
| 29 | 64 | 49,3 | 0,1 | 4,5 |
| 30 | 65 | 49,4 | 0,1 | 4,5 |
| 31 | 66 | 49,5 | 0,1 | 4,5 |
| 32 | 67 | 49,6 | 0,1 | 4,5 |
| 33 | 68 | 49,7 | 0,1 | 4,5 |
| 34 | 69 | 49,7 | 0 | 4,5 |
| 35 | 70 | 49,8 | 0,1 | 4,5 |
| 36 | 71 | 49,8 | 0 | 4,5 |
| 37 | 72 | 49,8 | 0 | 4,5 |
| 38 | 73 | 49,9 | 0,1 | 4,5 |
| 39 | 74 | 49,9 | 0 | 4,5 |
| 40 | 75 | 49,9 | 0 | 4,5 |
| 41 | 80 | 50 | 0,1 | 4,5 |
| 42 | 85 | 50 | 0 | 4,5 |
| 43 | 90 | 50 | 0 | 4,5 |
| 44 | 95 | 50 | 0 | 4,5 |
| 45 | 100 | 50,1 | 0,1 | 4,5 |
| 46 | 105 | 50,1 | 0 | 4,5 |
| 47 | 110 | 50,1 | 0 | 4,5 |
| 48 | 115 | 50,1 | 0 | 4,5 |

Étape 5: Pomper au débit cible 3 pendant une heure.

Voir 2.3.1.1.2.2. Procédure de Test Étapes K et Exemple Test de Rendement par rabattement lignes 49-72.

Puisque le débit cible 2 n'a pas abouti au niveau minimum fixé, il est nécessaire de passer au débit cible 3. A 120 minutes, la vanne est ouverte jusqu'à ce que le débit de pompage soit égal au débit cible 3 ($5 \text{ m}^3 / \text{h}$). Encore une fois, on pompera à ce débit pendant une heure, enregistrant le niveau d'eau toutes les minutes pendant les quinze premières minutes et toutes les cinq minutes pendant le reste de la deuxième heure. On enregistre les résultats ci-dessous, qui indiquent que le niveau d'eau s'est stabilisé à un rabattement de 7 m.

| TEMPS DEPUIS LE DÉBUT DU POMPAGE (minutes) | NIVEAU D'EAU MESURÉ (m) | RABATTEMENT RÉSIDUEL (m) | RABATTEMENT CUMULATIF (m) | DÉBIT DE POMPAGE MESURÉ (m^3/hr) |
|---|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|
| 49 | 120 | 50,1 | 0 | 6,1 |
| 50 | 121 | 50,3 | 0,2 | 6,3 |
| 51 | 122 | 50,4 | 0,1 | 6,4 |
| 52 | 123 | 50,5 | 0,1 | 6,5 |
| 53 | 124 | 50,5 | 0 | 6,5 |
| 54 | 125 | 50,6 | 0,1 | 6,6 |
| 55 | 126 | 50,6 | 0 | 6,6 |
| 56 | 127 | 50,7 | 0,1 | 6,7 |
| 57 | 128 | 50,7 | 0 | 6,7 |
| 58 | 129 | 50,7 | 0 | 6,7 |
| 59 | 130 | 50,8 | 0,1 | 6,8 |
| 60 | 131 | 50,9 | 0,1 | 6,9 |
| 61 | 132 | 50,9 | 0 | 6,9 |
| 62 | 133 | 50,9 | 0 | 6,9 |
| 63 | 134 | 51 | 0,1 | 7 |
| 64 | 135 | 51 | 0 | 7 |
| 65 | 140 | 51 | 0 | 7 |
| 66 | 145 | 51 | 0 | 7 |
| 67 | 150 | 51 | 0 | 7 |
| 68 | 155 | 51 | 0 | 7 |
| 69 | 160 | 51 | 0 | 7 |
| 70 | 165 | 51 | 0 | 7 |
| 71 | 170 | 51 | 0 | 7 |
| 72 | 175 | 51 | 0 | 7 |

Étape 6: Pomper au débit cible 4 pendant une heure.

Voir 2.3.1.2.2. Procédure de Test Étapes K et Exemple Test de Rendement par rabattement lignes 73-96.

Puisque le débit cible 3 n'a pas abouti au niveau minimum fixé, il est nécessaire de passer au débit cible 4. À 180 minutes, la vanne est ouverte jusqu'à ce que le débit de pompage soit égal au débit cible 4 ($5.5 \text{ m}^3 / \text{h}$). Encore une fois, on pompera à ce débit pendant une heure, enregistrant le niveau d'eau toutes les minutes pendant les quinze premières minutes et toutes les cinq minutes pendant le reste de la deuxième heure. On enregistre les résultats ci-dessous, qui indiquent que le niveau d'eau s'est stabilisé à un rabattement de 7.8 m.

| TEMPS DEPUIS LE DÉBUT DU POMPAGE (minutes) | NIVEAU D'EAU MESURÉ (m) | RABATTEMENT RÉSIDUEL (m) | RABATTEMENT CUMULATI (m) | DÉBIT DE POMPAGE MESURÉ (m^3/hr) |
|---|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|
| 73 | 180 | 51 | 0 | 7 |
| 74 | 181 | 51.2 | 0.2 | 5.5 |
| 75 | 182 | 51.3 | 0.1 | 5.5 |
| 76 | 183 | 51.4 | 0.1 | 5.5 |
| 77 | 184 | 51.5 | 0.1 | 5.5 |
| 78 | 185 | 51.5 | 0 | 5.5 |
| 79 | 186 | 51.5 | 0 | 5.5 |
| 80 | 187 | 51.6 | 0.1 | 5.5 |
| 81 | 188 | 51.6 | 0 | 5.5 |
| 82 | 189 | 51.6 | 0 | 5.5 |
| 83 | 190 | 51.6 | 0 | 5.5 |
| 84 | 191 | 51.7 | 0.1 | 5.5 |
| 85 | 192 | 51.7 | 0 | 5.5 |
| 86 | 193 | 51.8 | 0.1 | 5.5 |
| 87 | 194 | 51.8 | 0 | 5.5 |
| 88 | 195 | 51.8 | 0 | 5.5 |
| 89 | 200 | 51.8 | 0 | 5.5 |
| 90 | 205 | 51.8 | 0 | 5.5 |
| 91 | 210 | 51.8 | 0 | 5.5 |
| 92 | 215 | 51.8 | 0 | 5.5 |
| 93 | 220 | 51.8 | 0 | 5.5 |
| 94 | 225 | 51.8 | 0 | 5.5 |
| 95 | 230 | 51.8 | 0 | 5.5 |
| 96 | 235 | 51.8 | 0 | 5.5 |

Étape 7: Pomper au débit cible 5 pendant une heure.

Voir 2.3.1.1.2.2. Procédure de Test Étapes K et Exemple Test de Rendement par rabattement lignes 97-120.

Puisque le débit cible 4 n'a pas abouti au niveau minimum fixé, il est nécessaire de passer au débit cible 5. A 240 minutes, la vanne est ouverte jusqu'à ce que le débit de pompage soit égal au débit cible 5 ($6 \text{ m}^3 / \text{h}$). Encore une fois, on pompera à ce débit pendant une heure, enregistrant le niveau d'eau toutes les minutes pendant les quinze premières minutes et toutes les cinq minutes pendant le reste de la deuxième heure. On enregistre les résultats ci-dessous, qui indiquent que le niveau d'eau s'est stabilisé à un rabattement de 8 m. Ceci est le niveau minimum fixé.

| TEMPS DEPUIS LE DÉBUT DU POMPAGE (minutes) | NIVEAU D'EAU MESURÉ (m) | RABATTEMENT RÉSIDUEL (m) | RABATTEMENT CUMULATIF (m) | DÉBIT DE POMPAGE MESURÉ (m^3/hr) |
|---|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|
| 97 | 240 | 51,8 | 0 | 7,8 |
| 98 | 241 | 51,9 | 0,1 | 7,9 |
| 99 | 242 | 51,9 | 0 | 7,9 |
| 100 | 243 | 51,9 | 0 | 7,9 |
| 101 | 244 | 52 | 0,1 | 8 |
| 102 | 245 | 52 | 0 | 8 |
| 103 | 246 | 52 | 0 | 8 |
| 104 | 247 | 52 | 0 | 8 |
| 105 | 248 | 52 | 0 | 8 |
| 106 | 249 | 52 | 0 | 8 |
| 107 | 250 | 52 | 0 | 8 |
| 108 | 251 | 52 | 0 | 8 |
| 109 | 252 | 52 | 0 | 8 |
| 110 | 253 | 52 | 0 | 8 |
| 111 | 254 | 52 | 0 | 8 |
| 112 | 255 | 52 | 0 | 8 |
| 113 | 260 | 52 | 0 | 8 |
| 114 | 265 | 52 | 0 | 8 |
| 115 | 270 | 52 | 0 | 8 |
| 116 | 275 | 52 | 0 | 8 |
| 117 | 280 | 52 | 0 | 8 |
| 118 | 285 | 52 | 0 | 8 |
| 119 | 290 | 52 | 0 | 8 |
| 120 | 295 | 52 | 0 | 8 |

Étape 8: Maintien du pompage maximal autorisé pendant le reste du test de 24 heures.

Voir **2.3.1.2.2. Procédure** de Test Étapes L-M et Exemple Test de Rendement par rabattement lignes 121-140.

Puisque le débit cible 5 a entraîné la stabilisation du niveau d'eau au niveau minimum fixé, le débit de pompage ne sera pas modifié. Au lieu de cela, le pompage se poursuivra à $6 \text{ m}^3 / \text{h}$ et on maintiendra le niveau d'eau au niveau minimum fixé pour s'assurer que le forage puisse maintenir ce rendement. Le niveau d'eau sera mesuré et enregistré toutes les heures pendant le reste du test de 24 heures.

| TEMPS DEPUIS LE DÉBUT DU POMPAGE (minutes) | NIVEAU D'EAU MESURÉ (m) | RABATTEMENT RÉSIDUEL (m) | RABATTEMENT CUMULATIF (m) | DÉBIT DE POMPAGE MESURÉ (m^3/hr) |
|--|-------------------------|--------------------------|---------------------------|--|
| 121 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 122 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 123 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 124 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 125 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 126 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 127 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 128 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 129 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 130 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 131 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 132 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 133 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 134 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 135 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 136 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 137 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 138 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 139 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 140 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 121 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 122 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 123 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 124 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 125 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 126 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 127 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 128 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 129 | 52 | 0 | 8 | 6 |
| 130 | 52 | 0 | 8 | 6 |

Étape 8: (suite)...

REMARQUE: Si le débit cible 5 n'avait pas abouti au niveau minimum déterminé, le débit cible continuerait d'être augmenté par intervalles toutes les heures jusqu'à ce que le débit de refoulement et le niveau d'eau se stabilisent au niveau minimum fixé ou à un niveau aussi proche que possible de celui-ci. Ensuite, ce débit et ce niveau d'eau seraient maintenus pour le reste de l'essai.

| TEMPS DEPUIS LE DÉBUT DU POMPAGE (minutes) | NIVEAU D'EAU MESURÉ (m) | RABATTEMENT RÉSIDUEL (m) | RABATTEMENT CUMULATIF (m) | DÉBIT DE POMPAGE MESURÉ (m ³ /hr) |
|---|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|
| 131 | 900 | 52 | 0 | 8 |
| 132 | 960 | 52 | 0 | 8 |
| 133 | 1020 | 52 | 0 | 8 |
| 134 | 1080 | 52 | 0 | 8 |
| 135 | 1140 | 52 | 0 | 8 |
| 136 | 1200 | 52 | 0 | 8 |
| 137 | 1260 | 52 | 0 | 8 |
| 138 | 1320 | 52 | 0 | 8 |
| 139 | 1380 | 52 | 0 | 8 |
| 140 | 1440 | 52 | 0 | 8 |

Étape 9: Suivi de la récupération du puit.

Voir **2.3.1.2.2. Procédure** de Test Étapes N-P et Exemple Récupération de test de rendoement Lignes 1-8

Au bout de 24 heures, la pompe sera arrêtée et la récupération du forage surveillée. Le niveau d'eau sera mesuré et enregistré dans le forage toutes les minutes pendant les quinze premières minutes. Puis toutes les cinq minutes jusqu'à ce que 60 minutes se soient écoulées. Puis toutes les dix minutes jusqu'à ce que l'eau revienne au niveau statique de l'eau. On enregistre les résultats ci-dessous, qui indiquent qu'il faut 30 minutes pour que ce forage récupère.

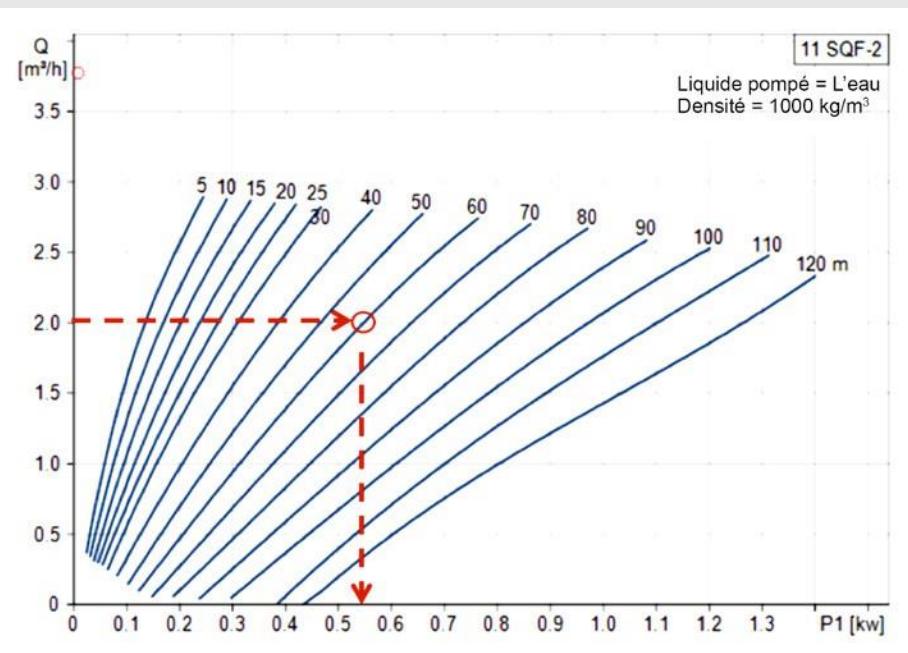
| TEMPS DEPUIS LE DÉBUT DU POMPAGE (minutes) | NIVEAU D'EAU MESURÉ (m) | RABATTEMENT RÉSIDUEL (m) | RABATTEMENT CUMULATIF (m) | DÉBIT DE POMPAGE MESURÉ (m³/hr) |
|--|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1 | 0 | 52 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 51,7 | -0,3 | 0 |
| 3 | 2 | 51,4 | -0,3 | 0 |
| 4 | 3 | 51,0 | -0,4 | 0 |
| 5 | 4 | 50,8 | -0,2 | 0 |
| 6 | 5 | 50,6 | -0,2 | 0 |
| 7 | 6 | 50,2 | -0,4 | 0 |
| 8 | 7 | 49,9 | -0,3 | 0 |
| 9 | 8 | 49,7 | -0,2 | 0 |
| 10 | 9 | 49,3 | -0,4 | 0 |
| 11 | 10 | 49,1 | -0,2 | 0 |
| 12 | 11 | 48,9 | -0,2 | 0 |
| 13 | 12 | 48,7 | -0,2 | 0 |
| 14 | 13 | 48,4 | -0,3 | 0 |
| 15 | 14 | 48,2 | -0,2 | 0 |
| 16 | 15 | 47,9 | -0,3 | 0 |
| 17 | 20 | 46,2 | -1,7 | 0 |
| 18 | 25 | 45 | -1,2 | 0 |
| 19 | 30 | 44 | -1 | 0 |
| 20 | 35 | 44 | 0 | 0 |

Annexe D.

Remarque: Le débit sélectionné ci-dessous correspond à la demande quotidienne en eau du projet calculée à l'annexe B (13120 litres par jour). En vérifiant les données d'irradiation pour l'emplacement, il convient de noter que le site du projet reçoit en moyenne neuf heures d'ensoleillement par jour, les sept heures du milieu de la journée produisant les conditions d'irradiation les plus élevées (c'est-à-dire sept heures d'ensoleillement de pointe). Il est décidé que ce projet ciblera au minimum la production d'eau pendant ces sept heures du milieu de la journée (cet objectif de conception sera vérifié dans le cadre du processus de conception à l'annexe E). L'utilisation de ces informations nous donne une estimation approximative du débit requis ($13120 \text{ litres} \div 7 \text{ heures} = 1874 \text{ litres / heure}$, soit environ $2 \text{ m}^3 / \text{heure}$). De plus, il convient de noter que le débit et la hauteur de refoulement requis dans l'exemple ci-dessous sont pris en charge par les résultats des tests de rendement de l'annexe C.

Exemple: La sélection d'une pompe solaire

Sélectionner une pompe solaire submersible pour un système avec un débit de $2 \text{ m}^3 / \text{h}$ et une HMT de 60 m.



Courbe de performance d'une pompe solaire Grundfos 11 SQF-2

Étape 1: Trouver une pompe qui peut atteindre la HMT conçue pour le système.

Utiliser les courbes de performance pour déterminer la plage de HMT que chaque modèle de pompe peut atteindre. Sur la base de la courbe, le Grundfos 11 SQF-2 varie en HMT de 5 à 120 m, ce qui rentre la conception du système de 60 m.

Étape 2: S'assurer que la pompe en question peut atteindre le débit prévu du système.

L'axe y du graphique de la courbe de performance montre les débits que la pompe peut produire. En regardant le graphique, le 11 SQF-2 peut pomper environ 0 à $3 \text{ m}^3 / \text{h}$, ce qui comprend la conception du système de $2 \text{ m}^3 / \text{h}$. Plus précisément, la marque $2 \text{ m}^3 / \text{h}$ croise la courbe de performance de 60 m. Cela indique que le Grundfos 11 SQF-2 peut répondre à la conception du système.

Étape 3: Déterminer la puissance requise.

Trouver le point sur le graphique où la marque $2 \text{ m}^3 / \text{h}$ coupe la courbe HMT de 60 m. Ensuite, descendre directement sur l'axe x pour déterminer la puissance requise. D'après le graphique, le Grundfos 11 SQF-2 nécessite environ 550 W pour réaliser le débit attendu par le système.

Annexe E.

Exemple: Conception du système PV pour une pompe solaire

(Référence CEI 62253 - 6.3. Caractéristiques du système, 6.6. Contrôle de conception du système de pompage PV par rapport au volume d'eau quotidien)

Dans un exemple précédent, nous avons déterminé que la demande quotidienne en eau du projet pour une communauté rurale du Kenya était de 13120 litres par jour. Dans un autre exemple, nous avons sélectionné une pompe capable de fournir un débit souhaité d'environ 2 m³ / heure à une HMT de 60 mètres (une pompe Grundfos 11 SQF-2 avait été sélectionnée). Après avoir consulté les courbes de pompe de cette pompe, il a été établi que le moteur de la pompe nécessiterait environ 550 W de puissance pour atteindre les performances souhaitées. Lors d'une étude plus approfondie des spécifications du fabricant, il a été remarqué que le moteur avait une plage de tension d'entrée de 30 à 300 VCC et une consommation de courant maximale de 8,4 A.

Étape 1: Déterminer la température ambiante et les conditions d'irradiation solaire pour le site du projet (voir section 2.5.2.).

Comme indiqué dans 2.5.3. Données mensuelles, la température ambiante et l'irradiation solaire varient tout au long de l'année. Afin de garantir que ce système d'eau satisfera la demande en eau chaque mois de l'année, le système PV sera conçu en utilisant les données du mois avec les valeurs d'irradiation les plus basses. Après avoir examiné les données disponibles en ligne de la National Aeronautics and Space Administration (NASA), nous voyons que pendant le mois le plus bas d'irradiation, la température ambiante à l'emplacement du projet est d'une moyenne de 20,9 ° C durant la journée et le profil d'irradiation quotidien est le suivant:

| HEURE | IRRADIATION (W/m ²) |
|-------|------------------------------------|
| 8 | 327 |
| 9 | 430 |
| 10 | 503 |
| 11 | 551 |
| 12 | 565 |
| 13 | 551 |
| 14 | 503 |
| 15 | 430 |
| 16 | 327 |

Étape 2: Calculer la performance estimée du panneau pour l'emplacement du projet.

Les panneaux solaires les plus facilement disponibles pour le projet ont les performances suivantes dans des conditions de test standard (STC):

- Point de puissance maximale (P_{max}): 290 W
- Tension de point de puissance maximale (V_{ppm}): 31,9 V
- Courant de point de puissance maximale (I_{ppm}): 9,2 A
- Tension à circuit ouvert (V_{oc}): 39,6 V

- Courant de court-circuit (I_{sc}): 9,75 A
- Coefficient thermique (TC V_{oc}): -0,29%/C
- Température normale d'utilisation des cellules (NOCT): 46°C

Le calcul des performances estimées du panneau pour l'emplacement du projet est effectué en utilisant les équations de **4.1.1.1. Calcul des performances estimées d'un panneau pour l'emplacement du projet** pour chaque heure de la journée. Ci-dessous, nous montons les calculs détaillés des conditions d'irradiation à 12 heures.

Étape 2a: Calculer la température de la cellule.

$$\text{Temp cellule (°C)} = \text{Temp Ambiante (°C)} + (\text{NOCT} - 20°C) \times \frac{\text{Irradiation (}\frac{W}{m^2}\text{)}}{800 \frac{W}{m^2}}$$

$$39,3°C = 20,9°C + (46°C - 20°C) \times \frac{565 \frac{W}{m^2}}{800 \frac{W}{m^2}}$$

Étape 2b: Calculer la tension en circuit ouvert à la température de la cellule.

$$V_{oc} = \text{STC } V_{oc} + (\text{Temp cellule} - 25°C) \times \text{STC } V_{oc} \times \text{TC } V_{oc}$$

$$38,0 \text{ V} = 39,6 \text{ V} + (39,3°C - 25°C) \times 39,6 \text{ V} \times -0,29\%/\text{C}$$

Étape 2c: Calculer le courant de court-circuit à l'irradiation incidente donnée.

$$I_{sc} = \text{STC } I_{sc} \times \frac{\text{Irradiation (}\frac{W}{m^2}\text{)}}{1000 \frac{W}{m^2}}$$

$$5,51 \text{ A} = 9,75 \text{ A} \times \frac{565 \frac{W}{m^2}}{1000 \frac{W}{m^2}}$$

Étape 2d: Calculer le courant de point de puissance maximal à l'irradiation donnée.

$$I_{ppm} = \text{STC } I_{ppm} \times \frac{\text{Irradiation (}\frac{W}{m^2}\text{)}}{1000 \frac{W}{m^2}}$$

$$5,2 \text{ A} = 9,2 \text{ A} \times \frac{565 \frac{W}{m^2}}{1000 \frac{W}{m^2}}$$

Étape 2e: Calculer la puissance du panneau solaire dans les conditions données.

$$P_{\max} (W) = V_{oc} \times I_{\text{ppm}} \times \frac{STC I_{\text{ppm}} \times STC V_{\text{ppm}}}{STC I_{cc} \times STC V_{oc}}$$

$$159,2 \text{ W} = 38,0 \text{ V} \times 5,51 \text{ A} \times \frac{9,2 \text{ A} \times 31,9 \text{ V}}{9,75 \text{ A} \times 39,6 \text{ V}}$$

Étape 2f: Calculer la tension maximale du point de puissance du panneau.

$$V_{\text{ppm}} = \frac{P_{\max}}{I_{\text{ppm}}} \quad 30,6 \text{ V} = \frac{159,2 \text{ W}}{5,2 \text{ A}}$$

En suivant les mêmes étapes, les conditions pour chaque heure de la journée peuvent être calculées. Les résultats de ces calculs sont présentés dans le tableau suivant:

| HEURE | IRRADIATION (W/M ²) | TEMPÉRATURE DE LA CELLULE (°C) | V _{OC} (V) | I _{CC} (A) | I _{PPM} (A) | P _{MAX} (W) | V _{PPM} (V) |
|-------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 8 | 327 | 31,5 | 38,9 | 3,19 | 3,0 | 94,3 | 31,4 |
| 9 | 430 | 34,9 | 38,5 | 4,19 | 4,0 | 122,6 | 30,7 |
| 10 | 503 | 37,2 | 38,2 | 4,90 | 4,6 | 142,3 | 30,9 |
| 11 | 551 | 38,8 | 38,0 | 5,37 | 5,1 | 155,1 | 30,4 |
| 12 | 565 | 39,3 | 38,0 | 5,51 | 5,2 | 159,2 | 30,6 |
| 13 | 551 | 38,8 | 38,0 | 5,37 | 5,1 | 155,1 | 30,4 |
| 14 | 503 | 37,2 | 38,2 | 4,90 | 4,6 | 142,3 | 30,9 |
| 15 | 430 | 34,9 | 38,5 | 4,19 | 4,0 | 122,6 | 30,7 |
| 16 | 327 | 31,5 | 38,9 | 3,19 | 3,0 | 94,3 | 31,4 |

Étape 3: Conception de la configuration du champ solaire.

Maintenant que nous connaissons la puissance de sortie d'un seul module solaire à l'emplacement du projet, il est possible de parvenir à une estimation préliminaire du nombre de modules nécessaires pour le panneau solaire. Comme indiqué dans un exemple précédent, l'un des objectifs de la conception est de produire de l'eau pendant les sept heures du milieu de la journée au minimum (cela sera vérifié à la fin de l'exemple). Par conséquent, il est possible de diviser la quantité de puissance requise (550 W) par la quantité la plus faible de puissance par panneau observée pendant les sept heures du milieu de la journée (122,6 W). Ce faisant, on arrive à la conclusion que le tableau devra se composer d'environ quatre panneaux ($550 \text{ W} \div 122,6 \text{ W} \approx 4$).

Comme indiqué dans **4.1.2. Configuration du champ solaire**, le câblage des panneaux solaires en série augmentera la tension et le câblage en parallèle augmentera le courant. En outre, les panneaux sont généralement câblés en série pour atteindre la puissance maximale avec le moins de panneaux solaires. Ainsi, l'étape suivante consistera à vérifier la puissance de sortie du panneau solaire pendant chaque heure d'irradiation avec quatre modules câblés en série (en utilisant les équations données dans **4.1.2. Configuration du champ solaire**). Comme précédemment, les calculs sont détaillés pour des conditions d'irradiation à midi.

Panneau solaire $V_{oc} = V_{oc}$ par module \times nombre de modules en série

$$152 \text{ V} = 38,0 \text{ V} \times 4$$

Panneau solaire $V_{ppm} = V_{ppm}$ par module \times nombre de modules en série

$$122 \text{ V} = 30,6 \text{ V} \times 4$$

Panneau solaire $I_{ppm} = I_{ppm}$ par module \times nombre de modules en parallèle

$$5,2 \text{ A} = 5,2 \text{ A} \times 1$$

Panneau solaire $P_{max} (\text{W}) = \text{Panneau solaire } I_{ppm} \times \text{Panneau solaire } V_{ppm}$

$$634 \text{ W} = 5,2 \text{ A} \times 122 \text{ V}$$

Étape 4: Procéder au déclassement de la puissance de sortie du panneau solaire

La puissance de sortie calculée du panneau solaire doit être déclassée pour tenir compte des pertes de puissance (comme indiqué dans **4.1.3. Pertes de puissance**). Un facteur de déclassement de 0,90, comme recommandé pour un système sans onduleur, sera utilisé.

Panneau solaire $P_{déclassée} (\text{W}) = \text{Panneau solaire } P_{max} (\text{W}) \times \text{facteur de déclassement}$

$$571 \text{ W} = 634 \text{ W} \times 0,90$$

En utilisant les mêmes équations, les conditions pour chaque heure de la journée peuvent être calculées. Les résultats de ces calculs sont présentés dans le tableau suivant:

| HEURE | PANNEAU SOLAIRE V_{oc} (V) | PANNEAU SOLAIRE V_{ppm} (V) | PANNEAU SOLAIRE I_{ppm} (A) | PANNEAU SOLAIRE P_{max} (W) | PANNEAU SOLAIRE $P_{déclassée}$ (W) |
|-------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 8 | 156 | 126 | 3,0 | 378 | 340 |
| 9 | 154 | 123 | 4,0 | 492 | 443 |
| 10 | 153 | 124 | 4,6 | 570 | 513 |
| 11 | 152 | 122 | 5,1 | 622 | 560 |
| 12 | 152 | 122 | 5,2 | 634 | 571 |
| 13 | 152 | 122 | 5,1 | 622 | 560 |
| 14 | 153 | 124 | 4,6 | 570 | 513 |
| 15 | 154 | 123 | 4,0 | 492 | 443 |
| 16 | 156 | 126 | 3,0 | 378 | 340 |

Étape 5: Vérifier que la tension et l'ampérage du réseau sont conformes aux spécifications du moteur de la pompe.

La tension et l'ampérage fournis doivent être vérifiés par rapport aux spécifications du moteur de la pompe. Comme indiqué précédemment, le moteur de la pompe a une plage de tension d'entrée de 30 à 300 VCC et une consommation de courant maximale de 8,4 A. Comme on peut le voir dans le tableau ci-dessus, le tableau V_{oc} est supérieur à 30 mais inférieur à 300 V. De plus, comme les panneaux solaires doivent être connectés en série, le courant du panneau solaire sera équivalent au courant d'un seul panneau, qui est inférieur à la consommation maximale de courant de la pompe.

Étape 6: Vérifier que le réseau conçu permet à la pompe de répondre à la demande quotidienne en eau du projet.

La dernière vérification de la conception consiste à voir si la puissance fournie par le panneau solaire au moteur de la pompe permettra à la pompe de répondre à la demande quotidienne en eau du projet estimée 13120 litres par jour. Ceci peut être déterminé approximativement en se référant à la courbe de pompe fournie par le fabricant. Comme indiqué dans **3.2.2.2. Sélection d'une pompe à l'aide des courbes de performance de la pompe solaire**, la puissance requise par le moteur de la pompe se trouve en localisant le point sur la courbe de la pompe où le débit souhaité rencontre la ligne HMT, puis en lisant la puissance requise à ce niveau. En travaillant à l'envers, un débit peut être estimé pour la puissance fournie par le panneau solaire à chaque heure de la journée. (Pour ce faire, il faut supposer que la HMT restera à peu près constante, ou la HMT peut être recalculée à chaque débit pour une plus grande précision.) En utilisant les courbes de pompe pour le Grundfos 11 SQF-2, les conditions suivantes sont observées:

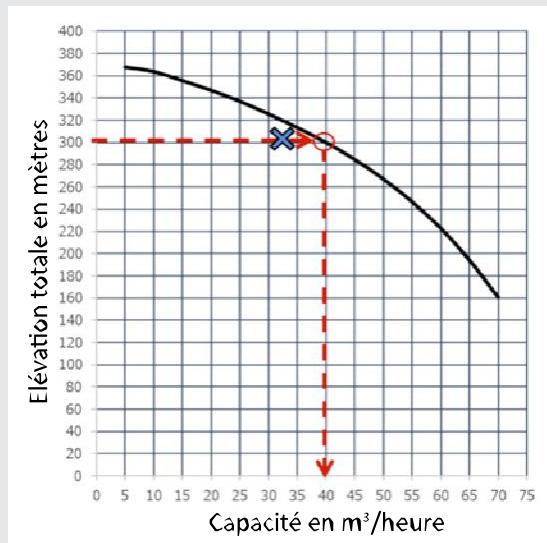
| HEURE | PANNEAU SOLAIRE (W) | DÉBIT APPROXIMATIF | | PRODUCTION D'EAU HORAIRE (L) |
|--|------------------------|--|--|------------------------------------|
| | | TAUX À 60 M HMT (m ³ /HEURE) | | |
| 8 | 340 | 1,2 | | 1200 |
| 9 | 443 | 1,5 | | 1500 |
| 10 | 513 | 1,8 | | 1800 |
| 11 | 560 | 2,0 | | 2000 |
| 12 | 571 | 2,1 | | 2100 |
| 13 | 560 | 2,0 | | 2000 |
| 14 | 513 | 1,8 | | 1800 |
| 15 | 443 | 1,5 | | 1500 |
| 16 | 340 | 1,2 | | 1200 |
| PRODUCTION TOTALE D'EAU QUOTIDIENNE (L): | | | | 15100 |

Ainsi, la production totale d'eau quotidienne est approximativement de 15 100 litres par jour. Si ce nombre était significativement supérieur ou inférieur à la demande quotidienne en eau du projet (13 120 litres par jour), alors le réseau devrait être repensé. La CEI 62253 stipule que le total fourni doit se situer dans une tolérance de -5% à + 20% de la demande quotidienne en eau du projet. Dans le cas de ce projet, la production totale d'eau quotidienne (15000 litres) est environ 15% supérieure à la demande quotidienne en eau du projet (13120 litres). La conception répond donc aux exigences. Si le total fourni était en dehors de la tolérance, alors une nouvelle conception aurait été nécessaire en utilisant soit un panneau solaire de taille différente, soit un nombre différent de panneaux, soit une configuration de panneau différente.

Annexe F.

Exemple: La selection d'une pompe AC

Sélectionner une pompe AC pour un système conçu avec un débit de $33 \text{ m}^3/\text{h}$ et une HMT de 300 m.



Courbe de performance d'une pompe AC

Étape 1: Trouver une pompe qui peut atteindre la HMT de conception.

La courbe de performance de la pompe indique une plage de HMT d'environ 160-370 m. Par conséquent, la pompe est capable de fournir la HMT de conception de 300 m.

Étape 2: Trouvez le débit potentiel de la pompe au HMT de conception.

Trouver le point sur la courbe de pompe qui correspond à une valeur HMT de 300 m. Ensuite, trouver la valeur sur l'axe des abscisses (c'est-à-dire le débit potentiel) qui correspond à ce point. Sur la base de la courbe de performance de la pompe AC, la pompe peut générer $40 \text{ m}^3/\text{h}$ à une HMT de 300 m.

Étape 3: S'Assurer que le débit potentiel dépasse le débit prévu

L'étape 2 a déterminé que le débit potentiel est de $40 \text{ m}^3/\text{h}$ à une HMT de 300 m, ce qui dépasse le débit prévu de $33 \text{ m}^3/\text{h}$.

Étape 4: Déterminer la puissance requise.

Après avoir sélectionné la pompe, la quantité d'énergie nécessaire dépendra des exigences de la pompe et du moteur. Ces informations doivent être disponibles dans les spécifications du fabricant.

Annexe G.

Exemple: conception du système PV pour une pompe AC avec onduleur

(Référence CEI 62253 - 6.3. Caractéristiques du système, 6.6. Contrôle de conception du système de pompage PV par rapport au volume d'eau journalier)

Cet exemple utilise un emplacement similaire, avec les mêmes conditions de température et d'irradiation, et la même sélection de panneau solaire que l'exemple précédent. Cela montrera la différence dans la conception d'un système avec une pompe et un onduleur alimenté en courant alternatif, par opposition à une combinaison de pompe et de moteur pouvant recevoir une alimentation en courant continu.

Un test de rendement a été réalisé sur un forage dans une grande communauté rurale du Kenya. Les résultats des tests montrent que le rendement maximal du forage est de $39 \text{ m}^3 / \text{heure}$ avec un niveau d'eau dynamique de 94,5 mètres de profondeur. La communauté souhaite accéder à 90% du rendement maximum pour produire un volume d'eau quotidien de 295 000 litres par jour à partir du forage. En utilisant un débit de conception de $35 \text{ m}^3 / \text{heure}$ (90% du rendement de $39 \text{ m}^3 / \text{heure}$), des calculs hydrauliques ont été effectués pour trouver que la HMT du système d'eau prévu sera de 102,2 mètres. Après avoir constaté que toutes les combinaisons de pompe et de moteur disponibles (ou les ensembles de pompe photovoltaïque) et pouvant recevoir une alimentation en courant continu ne pouvaient pas atteindre la capacité souhaitée, une pompe alimentée en courant alternatif avec un onduleur a été envisagée. On a sélectionné une pompe et un moteur alimentés en courant alternatif et pouvant fonctionner à un point de service de $34,9 \text{ m}^3 / \text{heure}$ et 102,1 mètres de hauteur sous pression, à une puissance de moteur requise de 14,3 kW. Le moteur est un moteur triphasé de 50 Hz, 380 V. La documentation du fabricant de la pompe et du moteur suggère d'utiliser un onduleur de 18,5 kW, qui correspond aux exigences de puissance du moteur (50 Hz, 380 V nominal). L'onduleur a une plage de tension d'entrée de 400 à 800 VCC et une sortie de courant maximum de 38,0 A et est équipé d'un variateur de fréquence. La pertinence de l'onduleur sera vérifiée lors de la conception.

En utilisant les mêmes panneaux solaires de 290 W que dans l'exemple précédent, les performances d'un panneau individuel pendant les heures d'ensoleillement à l'emplacement du projet sont les suivantes (pour les détails de calcul, voir l'exemple précédent):

| HEURE | IRRADIATION (W/M ²) | TEMPÉRATURE CELLULE (°C) | V _{OC} (V) | I _{CC} (A) | I _{PPM} (A) | P _{MAX} (W) | V _{PPM} (V) |
|-------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 8 | 327 | 31,5 | 38,9 | 3,19 | 3,0 | 94,3 | 31,4 |
| 9 | 430 | 34,9 | 38,5 | 4,19 | 4,0 | 122,6 | 30,7 |
| 10 | 503 | 37,2 | 38,2 | 4,90 | 4,6 | 142,3 | 30,9 |
| 11 | 551 | 38,8 | 38,0 | 5,37 | 5,1 | 155,1 | 30,4 |
| 12 | 565 | 39,3 | 38,0 | 5,51 | 5,2 | 159,2 | 30,6 |
| 13 | 551 | 38,8 | 38,0 | 5,37 | 5,1 | 155,1 | 30,4 |
| 14 | 503 | 37,2 | 38,2 | 4,90 | 4,6 | 142,3 | 30,9 |
| 15 | 430 | 34,9 | 38,5 | 4,19 | 4,0 | 122,6 | 30,7 |
| 16 | 327 | 31,5 | 38,9 | 3,19 | 3,0 | 94,3 | 31,4 |

Étape 1: Conception de la configuration du champ solaire

Lorsqu'il est évident que plusieurs chaînes de panneaux solaires seront utilisées, on doit prendre en compte les paramètres de tension et de courant du moteur ou de l'onduleur. Pour l'onduleur considéré, les panneaux solaires devront être combinés de manière à ce que la tension soit supérieure à 400 V et inférieure à 800 V avec un courant ne dépassant pas 38,0 A. En utilisant ces paramètres, le tableau solaire aura entre 11 ($400 \text{ V} \div 38,0 \text{ V} = 11$) et 21 ($800 \text{ V} \div 38,0 \text{ V} = 21$) panneaux solaires en série et sept ($38,0 \text{ A} \div 5,51 \text{ A} = 7$) chaînes ou moins. Une modélisation approfondie vérifiera différentes combinaisons pour obtenir l'alimentation électrique requise en utilisant le plus petit nombre de panneaux solaires. Le reste de cet exemple utilisera sept chaînes de 18 panneaux solaires pour un total de 126 panneaux.

Étape 2: Vérification de la puissance de sortie du panneau solaire

La sortie du panneau solaire doit être vérifiée pendant chaque heure d'irradiation (en utilisant les équations données dans **4.1.2. Configuration du champ solaire**). Nous montrons ci-dessous les calculs détaillés des conditions d'irradiation à midi.

Panneau solaire $V_{oc} = V_{oc}$ par panneau \times nombre de panneau en série

$$684,0 \text{ V} = 38,0 \text{ V} \times 18$$

Panneau solaire $V_{ppm} = V_{ppm}$ par panneau \times nombre de panneau en série

$$550,8 \text{ V} = 30,6 \text{ V} \times 18$$

Panneau solaire $I_{ppm} = I_{ppm}$ par panneau \times nombre de panneau en chaîne

$$36,4 \text{ A} = 5,2 \text{ A} \times 7$$

Panneau solaire $P_{max} (\text{W}) = \text{Panneau solaire } I_{ppm} \times \text{Panneau solaire } V_{ppm}$

$$20,0 \text{ kW} = 36,4 \text{ A} \times 550,8 \text{ V}$$

Étape 4: Procéder au déclassement de la puissance de sortie du panneau solaire

Cette puissance de sortie calculée du panneau solaire doit être déclassée pour tenir compte des pertes de puissance (comme indiqué dans **4.1.3. Pertes de puissance**). Un facteur de déclassement de 0,85 sera utilisé conformément à la recommandation pour un système avec un onduleur.

Panneau solaire $P_{déclassée} (\text{W}) = \text{Panneau solaire } P_{max} (\text{W}) \times \text{facteur de déclassement}$

$$17,0 \text{ kW} = 20,0 \text{ kW} \times 0,85$$

En utilisant les mêmes équations, les conditions pour chaque heure de la journée peuvent être calculées. Les résultats de ces calculs sont présentés dans le tableau suivant:

| HEURE | PANNEAU SOLAIRE V_{oc} (V) | PANNEAU SOLAIRE V_{ppm} (V) | PANNEAU SOLAIRE I_{ppm} (A) | PANNEAU SOLAIRE P_{max} (kW) | PANNEAU SOLAIRE $P_{déclassée}$ (kW) |
|-------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 8 | 700,2 | 565,2 | 21,0 | 11,9 | 10,1 |
| 9 | 693,0 | 552,6 | 28,0 | 15,5 | 13,2 |
| 10 | 687,6 | 556,2 | 32,2 | 17,9 | 15,2 |
| 11 | 684,0 | 547,2 | 35,7 | 19,5 | 16,6 |
| 12 | 684,0 | 550,8 | 36,4 | 20,0 | 17,0 |
| 13 | 684,0 | 547,2 | 35,7 | 19,5 | 16,6 |
| 14 | 687,6 | 556,2 | 32,2 | 17,9 | 15,2 |
| 15 | 693,0 | 552,6 | 28,0 | 15,5 | 13,2 |
| 16 | 700,2 | 565,2 | 21,0 | 11,9 | 10,1 |

Étape 4: Vérifier que la tension et l'ampérage du panneau solaire correspondent à l'onduleur.

Avant d'estimer la quantité d'eau à produire dans ces conditions de puissance, le tableau ci-dessus peut être utilisé pour vérifier la pertinence de l'onduleur qui a été suggérée par le manuel du fabricant. L'onduleur suggéré est un onduleur de 18,5 kW, 50 Hz avec une plage de tension d'entrée de 400 à 800 VCC et une sortie de courant maximale de 38,0 A. Les résultats du calcul dans le tableau ci-dessus satisfont aux conditions de tension et de courant de l'onduleur, et la puissance qui doit être transportée est suffisamment proche de la puissance nominale de l'onduleur.

Étape 5: Confirmer que le panneau solaire conçu permet à la pompe de répondre à la demande quotidienne en eau du projet.

En utilisant les lois d'affinité et les courbes de performance de la pompe (voir **4.8. Vérification de la conception du système par rapport à la demande quotidienne en eau du projet**), il est désormais possible de calculer la

quantité prévue d'eau produite chaque heure. La première étape consiste à calculer la fréquence en utilisant la relation de loi d'affinité entre la puissance et la vitesse. Il faut noter que, comme indiqué dans la section 4.8, la fréquence peut être intervertie avec la vitesse. Le calcul des conditions à 8 heures est affiché ici.

$$\frac{PP_1}{PP_2} = \left(\frac{NN_1}{NN_2}\right)^{1/4}$$

$$NN_1 = \left(\frac{10.1kkkk}{14.3kkkk}\right)^{1/4} \times 50HHH = 45HHH$$

Cependant, comme indiqué précédemment, le moteur de la pompe et l'onduleur sont à 50 Hz. Ainsi, la fréquence ne dépassera jamais 50 Hz. La fréquence calculée pour chacun est présentée dans le tableau suivant:

| HEURE | PANNEAU SOLAIRE PÉCLASSÉE (kW) | FRÉQUENCE (Hz) |
|-------|--------------------------------|----------------|
| 8 | 10,1 | 44,5 |
| 9 | 13,2 | 48,7 |
| 10 | 15,2 | 50 |
| 11 | 16,6 | 50 |
| 12 | 17,0 | 50 |
| 13 | 16,6 | 50 |
| 14 | 15,2 | 50 |
| 15 | 13,2 | 48,7 |
| 16 | 10,1 | 44,5 |

Ensuite, on détermine les courbes de performance pour chaque fréquence. Cela se fait en calculant plusieurs points le long de la courbe de performance en utilisant les lois d'affinité. En prenant chaque fréquence calculée et les relations de loi d'affinité entre le débit et la vitesse, et entre la hauteur et la vitesse, on peut déterminer, pour chaque fréquence calculée, des points le long de la courbe de performance de pompe. Voici les calculs pour un seul point le long de la courbe de performance qui correspond à une fréquence de 44,5 Hz.

$$\frac{QQ_1}{QQ_2} = \frac{NN_1}{NN_2}$$

$$QQ = \frac{45HHH}{50HHH} \times 3,2 \text{ m}^3/\text{hr} = 2,8 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\frac{HH_1}{HH_2} = \frac{NN_1}{NN_2}^{1/4}$$

$$HH = 3\frac{45HHH}{50HHH}^{1/4} \times 195,1 \text{ mm} = 154,5 \text{ mm}$$

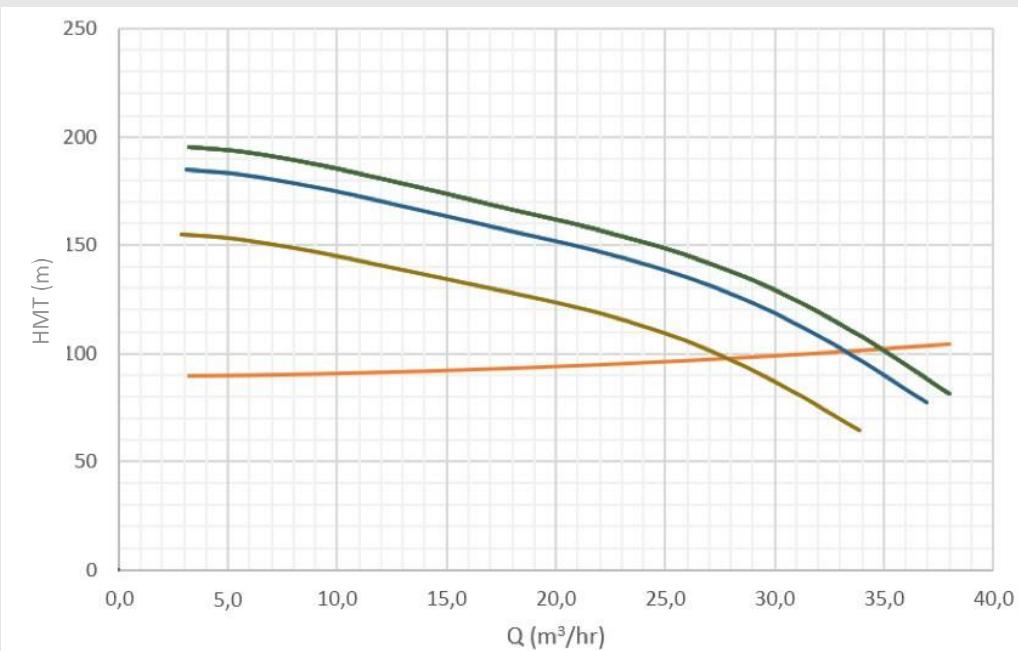
$$(PP = \text{Pompe}, NN = \text{Nappe}, QQ = \text{Débit}, HH = \text{Hauteur d'aspiration})$$

Pour chaque fréquence, plusieurs points le long de la courbe de performance devront être calculés. Les résultats du calcul pour dix points le long de la courbe sont indiqués ci-dessous. Plus il y a de points, plus les résultats finaux seront précis. Dans le tableau ci-dessous, nous avons calculé dix points sur la courbe de performance correspondant à 44,5 Hz, en commençant par dix points le long de la courbe de performance pleine puissance, c'est-à-dire à 50 Hz.

| Points sur la courbe de performance pour 50 Hz | | Points sur la courbe de performance pour 44,5 Hz | |
|--|-----------|--|-----------|
| Q_1 (m^3/hr) | H_1 (m) | Q_2 (m^3/hr) | H_2 (m) |
| 3,2 | 195,1 | 2,8 | 154,5 |
| 6 | 192,4 | 5,3 | 152,4 |
| 10 | 185,0 | 8,9 | 146,5 |
| 18 | 166,2 | 16,0 | 131,6 |
| 22 | 156,7 | 19,6 | 124,1 |
| 26 | 145,1 | 23,1 | 114,9 |
| 30 | 129,3 | 26,7 | 102,4 |
| 34 | 107,7 | 30,3 | 85,3 |
| 34,9 | 102,1 | 31,1 | 80,9 |
| 38 | 81,5 | 33,8 | 64,6 |

Les mêmes calculs devront être effectués pour la courbe de performance à 48,7 Hz.

Il est important de reconnaître que les points (Q_2 , H_2) dans le tableau ci-dessus représentent des points le long d'une courbe de performance pour la pompe, et non des points le long de la courbe du système pour le système d'eau proposé. Sur le graphique ci-dessous, les courbes verte et bleue sont les courbes de performance de la pompe à 50 Hz, 48,7 Hz et 44,5 Hz.



La courbe orange sur le graphique représente la courbe du système pour le système d'eau proposé. La courbe du système est déterminée en calculant la HMT pour plusieurs valeurs de débit (Comme indiqué précédemment, ce guide de conception ne présente pas les méthodes de calcul de la HMT, car les méthodes de calcul de la HMT pour un système de pompage à énergie solaire ne changent pas des méthodes utilisées avec tout autre système de pompage mécanisé).

Les intersections de la courbe du système et de chaque courbe de performance représentent le débit du système à la fréquence correspondante pour chaque heure de la journée. La valeur de débit à chaque intersection peut être observée graphiquement et peut être calculée par la méthode suivante. Le tableau ci-dessous montre les valeurs de débit et de hauteur le long de la courbe de performance de 44,5 Hz et la HMT du système d'eau proposé pour chaque débit.

| Q₂ (m ³ /hr) | H₂ (m) | HMT (m) |
|---|--------------------------|----------------|
| 2,8 | 154,5 | 89,6 |
| 5,3 | 152,4 | 89,9 |
| 8,9 | 146,5 | 90,5 |
| 16,0 | 131,6 | 92,5 |
| 19,6 | 124,1 | 93,8 |
| 23,1 | 114,9 | 95,4 |
| 26,7 | 102,4 | 97,2 |
| 30,3 | 85,3 | 99,2 |
| 31,1 | 80,9 | 100,1 |
| 33,8 | 64,6 | 101,4 |

Il est important de noter que dans le graphique ci-dessus la courbe du système coupe la courbe de performance à 44,5 Hz entre 25 m³ / h et 30 m³ / h. De plus, le tableau ci-dessus montre que la HMT pour 26,7 m³ / h est en dessous de la tête de la courbe de performance, mais que la HMT pour 30,3 m³ / h est au-dessus de la tête de la courbe de performance. En utilisant une méthode d'interpolation, il est possible d'utiliser ces débits et les valeurs de HMT et de hauteur de la courbe de performance correspondantes pour calculer le débit là où la A

$$\frac{(30,3 - 26,7)}{[(99,2 - 85,3) - (97,2 - 102,4)]} = \frac{(Q_{l''\$%&%\$")\#} - 26,7)}{[0 - (97,2 - 102,4)]}$$

$$QQ_{l''\$%&%\$")\#} = 27,7 \text{ mm}^3/\text{h}$$

A noter que ce débit pourrait être vérifié en calculant la HMT du système d'eau proposé pour ce débit et en vérifiant la tête de la courbe de la pompe pour voir que les deux valeurs sont égales.

| HEURE | PANNEAU SOLAIRE P _{DÉCLASSEÉ} (KW) | FRÉQUENCE (HZ) | DÉBIT (M ³ /H) | PRODUCTION D'EAU HORRAIRE (L) |
|---|--|-------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 8 | 10,1 | 44,5 | 27,7 | 27700 |
| 9 | 13,2 | 48,7 | 33,2 | 33200 |
| 10 | 15,2 | 50 | 34,9 | 34900 |
| 11 | 16,6 | 50 | 34,9 | 34900 |
| 12 | 17,0 | 50 | 34,9 | 34900 |
| 13 | 16,6 | 50 | 34,9 | 34900 |
| 14 | 15,2 | 50 | 34,9 | 34900 |
| 15 | 13,2 | 48,7 | 33,2 | 33200 |
| 16 | 10,1 | 44,5 | 27,7 | 27700 |
| PRODUCTION TOTALE D'EAU QUOTIDIENNE (L): | | | | 296300 |

La quantité approximative d'eau produite au total au quotidien (296300 litres) est supérieure de moins de 1% à la demande quotidienne d'eau du projet (295000 litres), la conception répond donc à l'exigence de la CEI 62253: une tolérance de -5% à + 20% par rapport à la demande quotidienne en eau du projet.

Annexe H.

Puissance hydraulique, puissance de freinage et puissance du moteur

L'énergie qu'une pompe peut ajouter à l'eau dépend de la puissance fournie au moteur de la pompe. La puissance requise par un moteur de pompe peut généralement être identifiée grâce à la courbe de pompe fournie par le fabricant et les informations qui l'accompagnent. Les équations suivantes pour la puissance hydraulique, de freinage et du moteur sont incluses pour aider à comprendre les exigences et les performances du moteur qui alimentent la pompe.

Puissance Hydraulique (Ph)

La puissance hydraulique est la quantité d'énergie transférée de la pompe à l'eau. En unités SI, la puissance hydraulique est calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$P_h \text{ (kW)} = \frac{Q \times \gamma \times H}{1,000}$$

Où: P_h = puissance hydraulique (kW)

Q = débit (m^3/s)

“ γ ” = poids spécifique de l'eau (9810 N/m^3)

H = hauteur manométrique (m)

Puissance de freinage (PF ou P2)

La puissance de freinage est la quantité d'énergie qui doit être transférée du moteur à la pompe pour obtenir la puissance hydraulique souhaitée. En raison de l'inefficacité de la pompe, la puissance de freinage sera toujours supérieure à la puissance hydraulique. La principale différence entre le calcul de la puissance de freinage et le calcul de la puissance hydraulique est que l'équation de la puissance de freinage prend en compte l'efficacité de la pompe. En unités SI, la puissance de freinage est calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$PF \text{ (kW)} = \frac{P_h \text{ (kW)}}{\eta_p} = \frac{Q \times \gamma \times H}{\eta_p \times 1000}$$

Où: PF = puissance de freinage (kW)

P_h = puissance hydraulique (kW)

η_p = efficacité de la pompe (%)

Q = débit (m^3/s)

“ γ ” = poids spécifique de l'eau (9810 N/m^3)

H = hauteur manométrique (m)

Puissance du moteur (P1 ou PM)

La puissance du moteur est l'énergie requise par le moteur de la pompe pour fournir suffisamment de puissance hydraulique et de freinage. La puissance du moteur sera toujours supérieure à la puissance de freinage (et à la puissance hydraulique) en raison des inefficacités du moteur. La principale différence entre le calcul de la puissance du moteur et celui de la puissance de freinage est la prise en compte du rendement du moteur. Il est important de noter que la puissance du moteur est donnée par une courbe de pompe (bien que certaines courbes de pompe indiquent respectivement la puissance du moteur et la puissance de freinage P1 et P2). Pour les unités SI, la puissance du moteur est calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$PM \text{ (kW)} = \frac{PF \text{ (kW)}}{\eta_m} = \frac{P_h \text{ (kW)}}{\eta_p \times \eta_m} = \frac{Q \times \gamma \times H}{\eta_p \times \eta_m \times 1,000}$$

Où: PM = puissance du moteur (kW)

PF = puissance de freinage (kW)

η_m = efficacité du moteur (%)

P_h = puissance hydraulique (kW)

η_p = efficacité de la pompe (%)

Q = débit (m^3/s)

“ γ ” = poids spécifique de l'eau ($9,810 \text{ N/m}^3$)

H = hauteur manométrique (m)



Photo avec autorisation de Water Mission



Global
Water
CENTER

unicef



water
mission®

Global Water Center | 1150 Molly Greene Way, Bldg. 1605 | N. Charleston, SC 29405

Phone: +1.843.243.7371 | globalwatercenter.org

Division des programmes de l'UNICEF | 3 UN Plaza | New York, NY 10017, États-Unis
Division des approvisionnements de l'UNICEF | Oceanvej 10-12 | Copenhagen, Denmark unicef.org

Water Mission | 1150 Molly Greene Way, Bldg. 1605 | N. Charleston, SC 29405

Phone: +1.843.769.7395 | watermission.org