



Pompage solaire, des repères pour l'action :

Options techniques et retours d'expériences. *Édition actualisée janvier 2023*

pS-Eau

programme
Solidarité-Eau

Pompage solaire, des repères pour l'action :

Options techniques et retours d'expériences.



Remerciements

Ce guide est une mise à jour d'un document réalisé en 2015 avec le soutien de la région Ile de France et de l'Agence Française de Développement. La première version synthétisait les réflexions et pratiques d'opérateurs expérimentés mobilisés au sein d'un groupe de travail animé par le pS-Eau et l'Arène Ile-de-France. Cette version mise à jour rentre dans les détails plus techniques et offre un panorama plus large de l'utilisation de la technologie solaire, en Afrique Subsaharienne. Ce travail de mise à jour a été soutenu par l'Agence Française de Développement et le Syndicat des Eaux d'Île de France.

Comité de rédaction – version 2023 : Perrine Bouteloup, Jérémy Guérin, Ana Sanchez (pS-Eau), Clément Lugagne (Cicle).

Remerciements pour leurs contributions, partages d'expériences et relectures : Frédéric David et Juliette Darlu (GRET), Assane Diarra (ADOS), Romain Desvalois (SEVES), Boubacar Macina (Aged2aep), Gaetan Delgado et Jean-Pierre Mahé (Experts Solidaires), Michel Crémieux et Véronique Pingard (Électriciens sans frontières), Mélodie Boissel et Christophe Le Jallé (pS-Eau).

Crédits photos : ONG GRET, ONG ADOS, En Haut, pS-Eau, ESF.

Création graphique et maquettage : Harold Kuhnel, Atelier Hybrid

Rédaction et relectures – version 2015 : Guillaume Aubourg et Jean-Marie Ily (pS-Eau), Denis Dangaix (Arène Ile-de-France), Hélène Sabathié Akonor (Ademe), Jean-Luc Gaget et Jean-Pierre d'Haenens (Essonne-Sahel), Arnaud Huré (région Ile de France), Jean-Pierre Cerdan et Sophie Meyer (Électriciens sans frontières), Sarah Holt et Juliette Darlu (Fondation Energies pour le Monde), Béatrice Tournonnias (pS-Eau).

Table des matières

Préambule	7
1. Qu'est-ce que le pompage solaire ?	8
• Principe	9
• Paramètres et données d'entrée	10
• Système de pompage photovoltaïque : de quoi est-il constitué ?	12
2. Pourquoi et dans quelles conditions recourir à l'énergie solaire ?	18
• Des conditions de plus en plus favorables à l'utilisation de l'énergie solaire	19
• Les contraintes à considérer...	20
• ... les options à envisager pour y répondre	22
• Comparaison des coûts d'investissement et d'exploitation : systèmes thermiques et solaires	26
• Le solaire comme source d'énergie unique, ou hybride, pour l'eau potable	29
3. Comment et avec qui mettre en place un projet solaire ?	34
• Éléments de compréhension des choix techniques	35
• Éléments de compréhension du dimensionnement	40
• Identifier un fournisseur et sélectionner le matériel	43
• Faciliter la prise en charge des coûts d'installation d'infrastructures solaires	45
4. Comment pérenniser un service d'alimentation en eau par énergie solaire ?	48
• Anticiper les besoins d'entretien et de maintenance	49
• Identifier les coûts d'exploitation et de renouvellement du service	50
• Recouvrir les coûts d'exploitation et de renouvellement	54
• Une épargne indispensable, qu'il convient de sécuriser	56
• L'importance du suivi technique et financier	58
• L'information - communication : savoir expliquer les spécificités du solaire	59
5. Des synergies à étudier	60
Pour aller plus loin	64



Préambule

Les 17 Objectifs de Développement Durable (ODD), adoptés en septembre 2015 par l'Assemblée Générale des Nations Unies, fixent la feuille de route de la communauté internationale jusqu'en 2030. Si le sixième objectif (ODD6) vise un accès universel et équitable à l'eau potable, à l'hygiène et à l'assainissement, en particulier pour les populations vulnérables, le septième objectif (ODD7) concerne le secteur de l'accès aux services énergétiques.

L'atteinte de ces objectifs, à l'horizon 2030, reste conditionné à une accélération des renforcements des services essentiels tant sur les services d'accès à l'eau, à l'assainissement et à l'hygiène, que pour les services énergétiques. Le rapport 2021 de suivi de l'ODD7 publié par l'IRENA, alerte sur la trajectoire actuelle et appelle à proposer des solutions durables, notamment aux pays d'Afrique Subsaharienne, en matière d'accès à l'énergie.

Dans les pays à revenus faibles ou intermédiaires, et particulièrement en Afrique, le niveau de mise en œuvre actuel des services essentiels (accès à l'eau, à l'énergie, gestion des déchets) ne répondent pas aux besoins de l'ensemble de la population, et constituent un frein majeur au développement et à l'amélioration des conditions de vie et de la santé dans les zones les plus vulnérables (milieu rural, petites villes et périphéries urbaines en particulier). Les cibles des ODD mettent clairement en évidence l'ampleur du défi qui reste à relever dans ces pays. Cependant, l'atteinte des ODD ne peut se concevoir par secteur, et parmi les multiples liens entre les services essentiels, l'accès à l'énergie est un facteur clé de pérennisation de l'accès à l'eau potable.

Dans un contexte mondial en grande mutation, la dépendance des services d'approvisionnement en eau potable aux énergies non renouvelables est une réalité posant des problèmes de plus en plus insurmontables. L'instabilité des coûts et des chaînes d'approvisionnements met en péril l'accès pérenne et fiable aux services essentiels. Ces enjeux se posent désormais dans les zones isolées comme dans les centres urbains.

Au-delà de cette dépendance, la visibilité croissante de l'accentuation des impacts du changement climatique fait croître les besoins d'adaptation et ont tendance à délaissier les nécessaires mesures d'atténuation de notre impact écologique.

Le recours à une énergie décarbonnée et renouvelable, l'énergie solaire, répond à la fois aux enjeux de développement durable, facilite une maîtrise des coûts de production et renforce la capacité à procurer des services essentiels solides et pérennes.

Par ce guide, nous souhaitons contribuer et encourager les pratiques permettant l'atteinte des Objectifs de Développement Durables que nous nous sommes tous fixés.

Pierre-Marie GRONDIN,
Directeur Général du programme Solidarité Eau.

1. Qu'est-ce que le pompage solaire ?





Principe

« L'eau solaire » consiste à capter l'énergie solaire via des panneaux photovoltaïques pour produire de l'électricité et alimenter une pompe permettant d'assurer l'exhaure de l'eau puis sa distribution.

Plus souvent utilisée dans les zones rurales, cette technologie est apparue depuis plusieurs années comme une alternative totale ou partielle à l'utilisation de l'énergie thermique. Ses coûts prohibitifs ont rapidement chuté avec le développement de technologies robustes, moins onéreuses, adaptées et tout aussi rentables, voir plus selon les contextes, que le recours à l'énergie thermique. Les diverses contraintes lors de son développement trouvent progressivement des solutions et alternatives, permettant de fiabiliser ces systèmes.

La fonctionnalité d'un pompage par énergie solaire va être conditionnée par de nombreux facteurs, les principaux étant l'ensoleillement et la puissance nécessaire au fonctionnement de la pompe, déterminée à partir du débit du forage et de la Hauteur Manométrique Totale (HMT). Cette dernière (HMT) correspond à la pression totale que doit fournir une pompe, elle peut être définie de manière simplifiée, à la différence de hauteur entre le niveau supérieur de la nappe pompée et le réservoir de stockage.

Le calcul de la puissance nécessaire au fonctionnement de la pompe constitue une aide à la décision et permet de choisir le meilleur rapport entre la performance de la pompe et la surface des panneaux solaires.

L'énergie solaire n'étant disponible (à rendement maximum) que 6 à 7 heures par jour, cela représente une limite dans la durée du pompage journalier. En cas de recours exclusif à l'énergie solaire, l'eau est pompée « au fil du soleil », c'est à dire seulement quand le soleil est présent. Ce facteur peut se révéler limitant dans certains contextes, favorisant le recours à l'utilisation d'un système de stockage tampon (château d'eau ou batteries) ou l'utilisation de technologies hybrides.

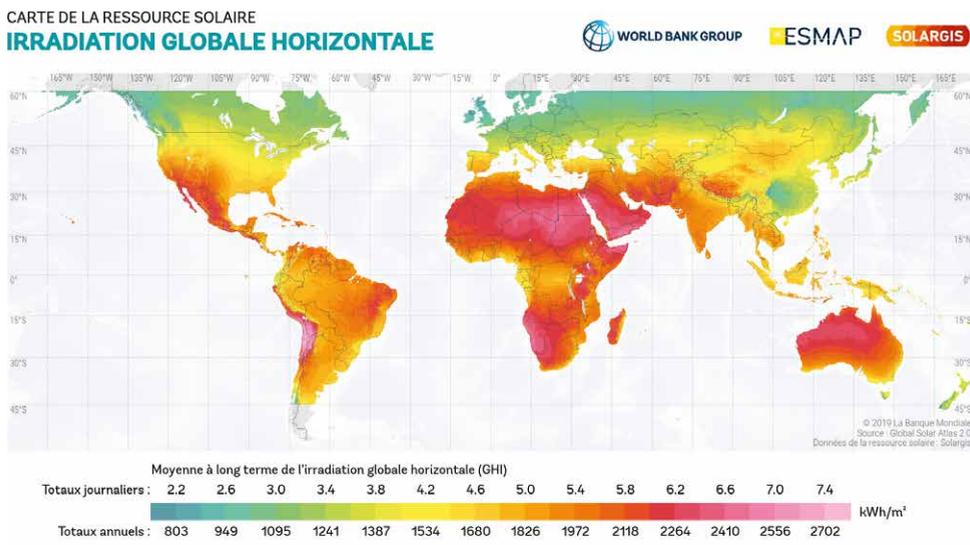
Deux unités de mesures pourront être rencontrées pour mesurer la puissance des panneaux solaires :

- **Le kilowatt-Heure (kWh)** exprime la production instantanée que fournit chacune des installations solaires ;
- **Le kilowatt-Crête (kWc)** exprime la puissance nominale produite par les installations solaires lorsqu'elles sont dans des conditions optimales d'ensoleillement (1 kWc correspond à l'éclairement de 1000W/m² - 25°C). Cette mesure exprime la capacité maximale de puissance de l'ensemble des panneaux solaires.



Paramètres et données d'entrée

Comme présenté plus haut, le fonctionnement du système d'adduction d'eau solaire va dépendre du climat et de l'ensoleillement de la zone. L'ensoleillement ou irradiation se définit comme la quantité d'énergie reçue par une surface sur une période donnée (J/m^2 ou Wh/m^2). L'irradiation reçue par les panneaux solaires sera ensuite convertie en électricité par le système photovoltaïque.

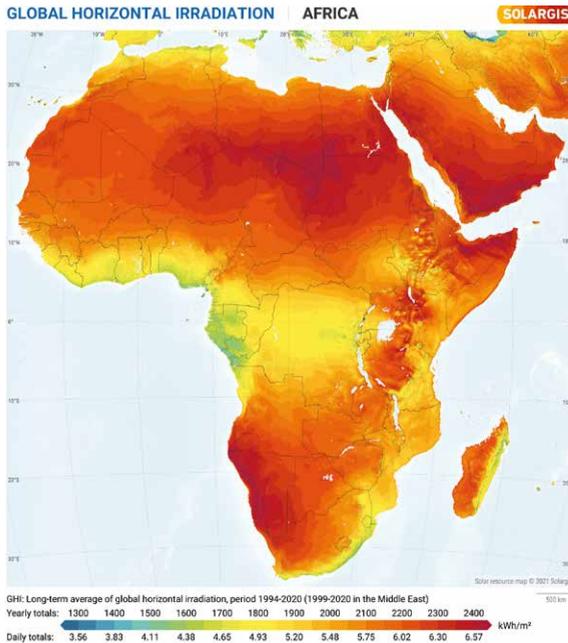


Source : Carte de la ressource solaire – Irradiation Globale Horizontale, Solargis 2022

Les valeurs journalières moyennes d'irradiation horizontale mesurées¹ sont :

- **En zone Sahélienne** : en moyenne $5,5 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$ sur l'année ;
- **Au Mali** : $6 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$ en moyenne (entre $5,8$ et $6,4 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$) ;
- **Au Bénin** : $4,6$ à $5,8 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$;
- **À Madagascar** : $3,6$ à $5,2 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$;
- **Au Cameroun** : $4,4$ à $6 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$.

1. Global Solar Atlas 2.0, Solar resource data : Solargis.



Source : Carte de la ressource solaire – Irradiation Globale Horizontale sur le continent Africain, Solargis 2022

L'ensoleillement et donc l'irradiation constitue une donnée d'entrée pour le dimensionnement des équipements et donc de leurs coûts. Le dimensionnement se base également sur la caractérisation **des besoins en eau** des futurs usagers ainsi que de **la disponibilité de la ressource** (productivité du forage, puissance nécessaire au pompage).

► Il est indispensable d'estimer les volumes en eau qui seront consommés, mais également la répartition de cette consommation au cours de la journée, la « courbe de consommation ». La consommation d'eau est généralement plus élevée en début et fin de journée, or ce ne sont pas les moments où l'ensoleillement est maximal. La durée et le degré d'exposition varient au cours des saisons et de la journée. La production solaire ne sera maximale qu'au zénith (ou midi solaire) entraînant un écart entre les besoins et la capacité de production.

- Certains forages, en raison d'une nappe peu productive, requièrent un pompage de plus de 7h d'affilé par jour afin de répondre aux besoins de la population.
- D'autres forages, disposant d'un débit d'exploitation élevé et devant répondre à une forte demande en eau nécessiteront l'utilisation d'une pompe avec un débit important, consommant plus d'énergie.

Ces contraintes inhérentes au 100% solaire peuvent être détournées, en adaptant le nombre de panneaux solaires ou le type de pompe, augmentant ainsi les frais d'investissement ou la surface foncière nécessaire, mais également en ayant recours au stockage d'énergie, d'eau (volume du château accru pour permettre un stockage important aux heures d'ensoleillement) ou encore à des systèmes d'adduction d'eau hybrides.



Système de pompage photovoltaïque : de quoi est-il constitué ?

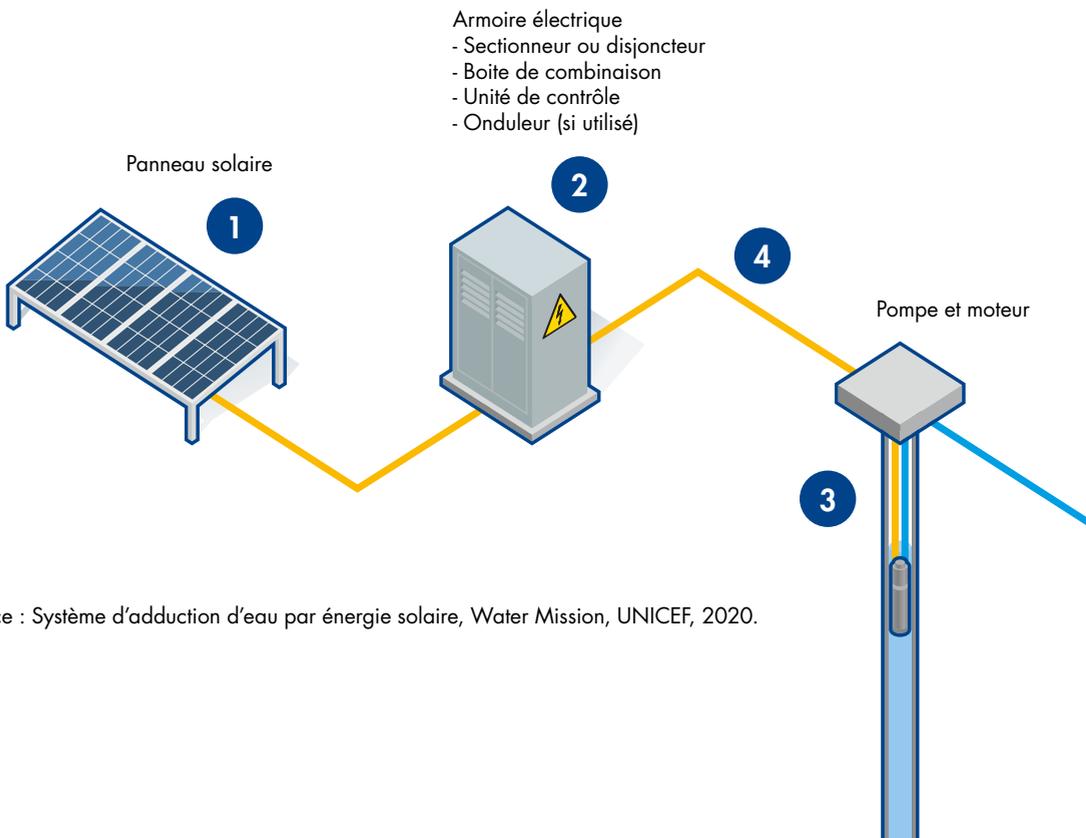
Un système de pompage solaire est composé des équipements suivants :

1 Un générateur photovoltaïque : il est composé de modules photovoltaïques, supportés par une structure métallique constituant les panneaux photovoltaïques.

2 L'Unité de contrôle de la pompe : elle est constituée d'un régulateur qui optimise le fonctionnement des panneaux photovoltaïques afin de produire une puissance maximale.

3 Un groupe de pompage (pompe et moteur) et d'un onduleur en cas d'installation d'une pompe fonctionnant en courant alternatif.

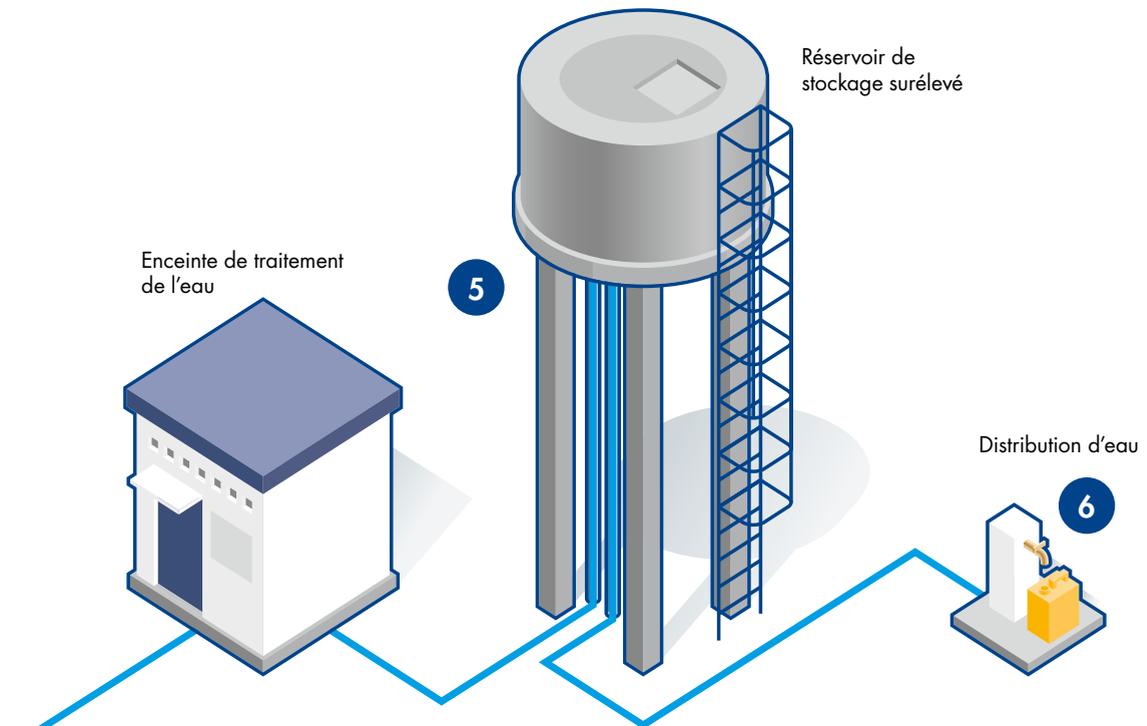
4 Le câblage électrique : il fait transiter l'énergie du générateur au moteur.



Source : Système d'adduction d'eau par énergie solaire, Water Mission, UNICEF, 2020.

- 5 La conduite de refoulement et le stockage de l'eau.
- 6 Le réseau de distribution.

Pour chacun de ces équipements des choix technologiques devront être opérés, la partie 4 ce de guide donne les premières clés de compréhension pour les équipements propres aux systèmes d'adduction d'eau fonctionnant à l'énergie solaire.





Retour expérience, ONG ADOS

Projet SEAUDEL (Soleil, Eau et Développement Economique Local) mis en œuvre au Sénégal dans la commune de Bokidiawé.

Le projet SEAUDEL, a été réalisé dans le cadre d'un programme de coopération décentralisée entre le Conseil départemental de l'Ardèche et deux collectivités territoriales de Matam (Conseil Départemental de Matam et la Commune de Bokidiawé).

Opérateurs : ONG ADOS

Coût de la réalisation du système de pompage photovoltaïque : 95.953 € (soit 62.941.251 FCFA)

Partenaires : Agence Française de Développement dans le cadre de la Facilité de financement des collectivités territoriales (FICOL), Département de l'Ardèche, Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (AERMC), Département de Matam et Commune de Bokidiawé.

Date de réception des travaux : Janvier 2019

Objectifs du projet :

- Contribuer à la réduction des changements climatiques en équipant en solaire deux forages multi-villages de la commune de Bokidiawé : Thiehel Sébé et Doumga Rindaw (exhaure solaire fonctionnant via un mix solaire/thermique) ;
- Promouvoir le développement économique local en impulsant la réalisation d'activités économiques liées à l'eau, facilité par un prix de l'eau attractif.



Passer d'un système thermique à un mix solaire/thermique permettrait de maintenir le niveau de distribution (128 113m³/an pour les besoins en eau potable et en maraichage), tout en diminuant le nombre d'heure de fonctionnement du groupe électrogène : passant de 8h par jour à 1h30 par jour. Ainsi, l'équipement solaire permettrait de faire fonctionner le système d'exhaure durant les 6h30 restantes.

Dans le cadre de ce projet, la mise en place d'un système d'exhaure reposant sur l'énergie solaire présentait plusieurs avantages :

- Augmentation du taux d'accès à l'eau potable ;
- Réduction des émissions de gaz à effet de serres ;
- Réduction du prix du m³ d'eau ;
- Développement d'activités économiques (maraichage)

Informations de base sur les équipements :

Type de pompe		Grundfos SP 30-10 9,2 kW
Type de groupe		Florida de 20 kVA
Coût d'acquisition	Pompe	8 568 €
	Groupe électrogène	3 049 €
	Château d'eau et génie civil	118 910 €
	Panneaux solaires	19 298 €
	Supports des modules	24 634 €
	Conditionneur d'énergie	3 508 €
Durée amortissement	Pompe	5 ans
	Château d'eau et génie civil	40 ans
	Groupe électrogène	3 ans (4300 heures)
	Panneaux solaires	25 ans
	Supports des modules	25 ans
	Conditionneur d'énergie	7 ans

Débit de pompage (m ³ /h)	53 m³/h
Débit de production journalière (maraichage + eau potable)	335.89 m³
Population	7 805 habitants en 2018
Nombre de panneaux solaires et puissances	130 panneaux monocristallins de 21 KW crêt
Volume du château d'eau	200 m³
Nombre de borne fontaines	17
Nombre d'abreuvoirs	1

Mode de gestion :

Gestion communautaire à travers les ASUFOR (Association des Usagers du Forage) sous la supervision de l'administration territoriale et l'accompagnement technique du service régional de l'hydraulique.

- Le bureau l'ASUFOR assure la gestion administrative et financière : recrutement du personnel, fixation du prix du service de distribution de l'eau, recouvrement des factures.
- Le personnel opérationnel s'occupe des relevés de compteurs, de la facturation du service et de l'entretien quotidien des infrastructures.

Deux sessions de formation ont été animées pour le compte du conducteur de forage et des membres du bureau de l'ASUFOR sur la composition, le fonctionnement et l'entretien préventif des équipements du système solaire de pompage d'eau.

Conclusions et perspectives :

- Diminution du prix du service de l'eau de 0.38 € à 0.25 €/m³ à Doumga et de 0.46 € à 0.24 €/ m³ à Thiéhel (cf. partie 5.b de ce guide pour plus de détails) ;
- Mix solaire pouvant être encore optimisé : les consommations sont concentrées aux mêmes heures de la journée (pour Adduction d'Eau Potable (AEP) et maraichage) en dehors des horaires de production optimale des équipements photovoltaïques ce qui limite aujourd'hui le recours à l'énergie solaire. Le renforcement des capacités de stockage hydraulique, accompagné d'un travail de concertation et sensibilisation avec les différents usagers sont envisagés pour répartir la consommation de l'eau.

Recommandations :

- Avant toute prise de décision sur le tarif, il est important de bien maîtriser les charges d'exploitations (et donc de les suivre) afin de pouvoir baser les décisions sur une analyse de la rentabilité du système en place. Pour cela, la systématisation de l'utilisation des modèles de rapports techniques et financiers et la collecte de données d'exploitation est indispensable. Les ASUFOR doivent être accompagnées dans l'utilisation et la mise à jour des outils de gestion et de suivi.
- Le modèle de mix énergétique constitue pour le sous-secteur de l'hydraulique rurale, une option pertinente visant la sécurisation de la production et la rentabilisation de l'exploitation et de la gestion du service public de l'eau potable. Pour cela, le potentiel des ressources en eau mobilisables doit être le mieux valorisé possible selon ses contraintes et les usages des bénéficiaires.
- Le double approvisionnement en eau de maraichage et eau potable n'est pas problématique ici, il est tout de même important d'effectuer un travail de sensibilisation et d'information auprès des usagers sur l'importance de consommer de l'eau potable notamment car les exigences de qualité entre l'eau potable/de maraichage ne sont pas les mêmes.

INFOS +

- **Assane Diarra, responsable des opérations :** a.diarra@ados-association.org,
Rachel Nodin, Directrice : r.nodin@ados-association.org.

2. Pourquoi et dans quelles conditions recourir à l'énergie solaire ?



Des conditions de plus en plus favorables à l'utilisation de l'énergie solaire

Le recours à l'énergie solaire constitue une réelle opportunité dans certaines zones. Initialement très chère, cette technologie a très rapidement évolué, la rendant aujourd'hui plus accessible, mais également mieux adaptée aux contextes dans lesquels elle est implantée². Des avancées technologiques et la généralisation de ces systèmes, les rendent de plus en plus compétitifs d'un point de vue technique et économique.

➤ **Augmentation considérable de la puissance des modules solaires**, passant de 50 Wc/m² à la fin des années 70 à 300 Wc/m² en 2017. Et diminution forte du coût d'un module solaire, passant d'environ 10 €/Wc à près de 0,5 €/Wc en 30 ans³.

➤ **Augmentation de la profondeur d'exhaure de l'eau souterraine** : pomper de l'eau avec un système photovoltaïque à plus de 100 mètres est désormais possible grâce aux pompes immergées de nouvelle génération.

➤ **Baisse des coûts** liés à la standardisation de la production et l'augmentation de l'offre sur le marché des produits photovoltaïques.

➤ **Disponibilité des pompes** fonctionnant avec des générateurs hybrides (thermique et solaire) et des onduleurs perfectionnés sur le marché ouest-africain. Ces avancées technologiques permettent l'utilisation des pompes sur une amplitude horaire plus importante de demande en eau. Le photovoltaïque est adapté aux petits systèmes comme seule source d'énergie. Il peut être couplé à d'autres sources d'énergie (principalement le thermique et le réseau électrique) pour des systèmes plus importants, afin de pallier aux contraintes d'ensoleillement ou de débit horaire de la ressource en eau.

➤ **Développement de logiciels** permettant le dimensionnement précis des moyens d'exhaure pour le pompage solaire.

➤ **Existence de nouvelles technologies** permettant un suivi des performances de ces systèmes.

2. Énergie photovoltaïque pour les petits services d'eau potable : enjeux et opportunités, pS-Eau, 2018.

3. Site internet « Centre de ressources photovoltaïque », ADEME. Disponible en ligne : <https://www.photovoltaïque.info/fr/preparer-un-projet/quelles-demarches-realiser/choisir-son-modele-economique/>.



Les contraintes à considérer...

Si l'énergie solaire représente un bon choix pour les services d'eau de nombreuses localités en milieu rural, de nombreux points sont à prendre en considération pour effectuer ce choix technique :

◀ La forte dépendance à l'ensoleillement :

L'intensité solaire n'est pas constante, la durée et le degré d'exposition varient au cours des saisons et de la journée.



Le changement climatique affecte les rendements de la production d'énergie solaire : d'une part l'exposition à des températures trop élevées impacte négativement le rendement des cellules photovoltaïques (fonctionnant de manière optimale à 25°C), d'autre part l'augmentation de la couverture nuageuse et des aérosols diminuent le rayonnement solaire.

Pour aller plus loin sur ce sujet : Les services d'eau et d'assainissement face au changement climatique. Quels impacts ? Comment agir ?, pS-Eau, 2018.

◀ Le nombre d'heures de pompage :

Pour des forages peu productifs à débit faible, le temps de pompage sera plus long pour répondre à la demande, or le pompage solaire limité à 6/7 heures par jour peut s'avérer insuffisant et peut impliquer l'installation de batterie, de château d'eau ou encore d'une hybridation thermique ou électrique.

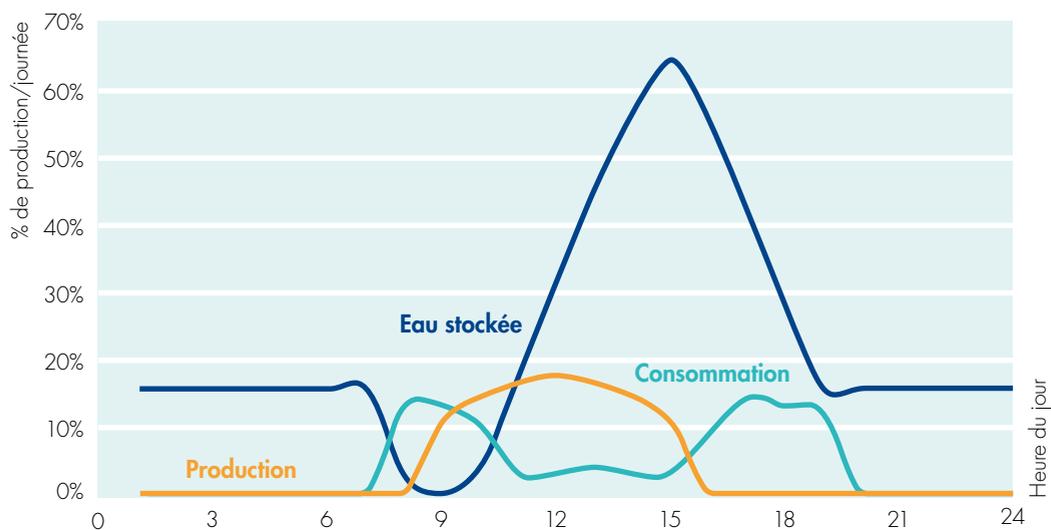
◀ La quantité d'eau consommée :

Pour les localités ayant de très fortes consommations d'eau, la solution solaire est techniquement possible mais sera liée à des coûts d'investissements importants (panneaux solaires, stockage), et pourra également impliquer des contraintes foncières importantes.

◀ La courbe de consommation :

Les consommations d'eau sont concentrées le matin et le soir. Ces pics de consommation ne sont pas en adéquation directe avec la production d'eau avec un système de pompage solaire qui fonctionne au fil de la journée, avec une production maximum lorsque le soleil est au zénith. Pour compenser ces écarts et permettre un approvisionnement en eau potable continu et répondant aux besoins des usagers, le recours à des systèmes de stockage peut être envisagé.

Courbes de production, consommation et eau stockée pendant une journée



Source : Courbes journalières de production, consommation et stockage d'eau, Practica, 2017.

Pour dépasser ces limites, différentes adaptations de ces systèmes ont été développées : recours à un stockage hydraulique ou un stockage énergétique, ou encore par le développement de systèmes hybrides.



... les options à envisager pour y répondre

◀ Développer le stockage hydraulique :

La capacité du château d'eau doit permettre de compenser les périodes sans pompage dues à l'absence d'ensoleillement. Le stockage hydraulique doit ainsi permettre d'éviter toute rupture d'approvisionnement en eau potable que ce soit pour des raisons techniques (pannes, maintenance) ou par absence d'ensoleillement. Cette solution implique toutefois d'avoir des forages au débit suffisant.

Le château d'eau doit être dimensionné pour répondre aux besoins en eau des populations et pour optimiser le travail de la pompe. La capacité de stockage préconisée pour le château d'eau est d'au moins 70%, voire jusqu'à 100%, de la demande journalière de la communauté afin de pouvoir répondre aux pics de consommation quand le pompage ne peut pas fonctionner par manque d'irradiation au début et en fin de journée.

Ce dimensionnement se répercute sur les coûts d'investissement et n'est pas négligeable dans la gestion financière du service de par son amortissement mais également, dans une moindre mesure, via les frais de gestion quotidienne (traitement de l'eau, entretien du réservoir) qui seront augmentés dans le cadre de stockage excessif.

◀ Avoir recours au stockage de l'énergie sur batterie :

Cette solution implique un accès au foncier plus important pour l'installation des panneaux

photovoltaïques supplémentaires, mais permet d'augmenter le temps de pompage notamment en cas de forage à débit faible et d'assurer une continuité du service en cas de mauvais ensoleillement. Le recours au stockage par batterie représente toutefois une complexification des systèmes et un entretien plus important. En contexte Sahélien, le stockage via des batteries semble peu adapté : les conditions climatiques, diminuant leur durée de vie (de 5 à 6 ans), imposent un renouvellement régulier, coûteux et peu rentables en raison de pertes importantes d'énergie au stockage. De plus, le recours au stockage de l'énergie via batteries pose la question du recyclage et/ou du traitement de ces dernières dont les déchets présentent des composants dangereux.

EN BREF Le stockage de l'eau grâce à un réservoir de taille accrue va considérablement augmenter les coûts d'investissement pour un système 100% solaire. Concernant, les systèmes de stockage d'énergie via batteries, au coût d'investissement initial s'ajoutent les frais de renouvellement des batteries (d'une durée de vie d'environ 6 ans en contexte Sahélien), un entretien, une maintenance importante, et nécessite d'anticiper le devenir de ces batteries en fin de vie.

◀ **Privilégier une solution hybride combinant le pompage thermique et solaire, ou électrique et solaire :**

Ces hybridations permettent d'augmenter la durée du pompage de l'eau (nécessitant d'aller jusqu'à 20h/24 pour une desserte en eau 24h/24) et lèvent de nombreuses contraintes. L'hybridation est recommandée pour les systèmes d'approvisionnement en eau potable (AEP) desservant une forte population et nécessitant un fort rendement. Il est toutefois toujours nécessaire d'analyser cette option face aux systèmes 100% solaires mobilisant des solutions de stockage (batteries ou volume de château d'eau accru).

En cas de mise en place d'AEP solaire dans des localités disposant d'un raccordement électrique, l'hybridation solaire/électrique est envisageable et représente une alternative moins coûteuse et donc moins risquée. En revanche, le système reste dépendant de la fiabilité et de la constance de cette alimentation.

 **Solarisation de systèmes existants :**

La solarisation de systèmes AEP existants est également possible : au Mali, de nombreux systèmes d'AEP thermique ont évolué vers le solaire. Les exploitants, grâce à la qualité et la viabilité de leurs services, ont la possibilité d'investir sur fonds propres via emprunt. L'amortissement des installations solaires est progressivement compensé par la baisse des coûts d'exploitation par rapport au thermique.



Retour expérience, AGED 2AEP, Mali :

À Makhana (Mali), une solution hybride solaire/thermique pour répondre à la croissance de la consommation.

Opérateurs : Association pour le développement de Makhana Guidimé / Bureau d'études 2AEP

Coût des réalisations : 70 000 € (investissement initial dont 4 600 € pour la fourniture et pose des panneaux solaires) + 45 000 € (phase optimisation énergétique 2014-2015).

Partenaires financiers : ADMG, Coallia, Fondation Adoma, Fondation Veolia.

Date de mise en service : 2009.

Le projet d'adduction a été initié par l'association des ressortissants pour améliorer les conditions de santé et de vie des 2000 habitants du village.

À retenir :

Dimensionné pour une consommation spécifique de 15 litres par jour et par personne, le système a rapidement atteint des contraintes d'exploitation techniques. Dès la première année, les consommations ont en effet dépassé les estimations. En conséquence, le réservoir est vide en fin de journée et ne peut être rempli avant le lendemain.

Caractéristiques :

- 1 forage d'une capacité de production de 12m³/h ;
- Champ solaire de 10 panneaux de 50Wc (pour un total de 3 000 000 de FCFA soit 4 600 €) ;
- la durée de pompage est estimée à 7h par jour ;
- 1 château d'eau de 10m³ ;
- 5 bornes fontaines et une centaine de branchements domiciliaires.



À retenir :

- L'audit technique et financier externe semi-annuel confirme que le tarif du service (500 FCFA le mètre cube) est accepté et permet de couvrir les coûts d'exploitation et de renouvellement des équipements, conformément à la politique sectorielle. L'amortissement des panneaux solaire sur 20 ans, représente environ 15% des charges d'exploitation (chiffre 2013) ;
- Un projet d'optimisation d'un coût de 45 000€ était prévu en 2015. Il comprenait :
 - Le redimensionnement de la pompe immergée et de la capacité de stockage du réservoir (50m³) ;
 - La mise en place d'un système hybride (solaire / thermique) pour allonger la durée du pompage et faire face à la croissance et aux pics de consommation ;
 - Avec un groupe électrogène permettant 4 heures de pompage (de 16 h à 20 h), le service offert est passé de 6 l/h/j à 10 l/h/j et la production brute de 13 400 m³ à 25 080 m³/an.
 - Le passage à ce système hybride solaire / thermique a augmenté sensiblement le coût du m³ qui passa de 336 FCFA en solaire à 404 FCFA en exploitation hybride.



INFOS +

- www.aged2aep.com



Comparaison des coûts d'investissement et d'exploitation : systèmes thermiques et solaires

La comparaison des coûts d'exploitation selon différentes sources d'énergie utilisées pour le pompage de l'eau (solaire, thermique) montre des disparités importantes sur les

postes énergies mais également au niveau de la maintenance et des provisions pour renouvellement.



Retour d'expériences, ONG GRET :

L'ONG GRET, en se basant sur ses expériences au Sénégal et en Mauritanie a estimé les coûts d'investissement et de fonctionnement du pompage selon les différentes sources d'énergie (solaire, hybride 50%, hybride 75%), en fonction de la puissance hydraulique nécessaire. La puissance hydraulique (soit la puissance nécessaire au fonctionnement de la pompe) peut être exprimée en m^4/j . Cette mesure correspond au produit du débit souhaité (m^3/j) par la hauteur manométrique totale (HMT en m), elle détermine ainsi l'énergie dont le système a besoin pour fonctionner.

En termes de coûts d'investissement et de fonctionnement du pompage, il en ressort :

- Pour les petits systèmes $\leq 2\ 000\ m^4/j$, l'investissement d'une installation 100% solaire reste moindre que pour un système thermique ou hybride ;
- Pour les systèmes compris entre 2 000 et 4 500 m^4/j , les installations 100% solaire est un investissement adapté, mais avec un coût d'investissement supérieur aux systèmes thermiques ;
- Pour les systèmes de grande tailles, soit $\geq 4\ 500\ m^4/j$, l'investissement en hybride est 2 fois moins coûteux que le solaire seul, mais plus cher que le thermique ;
- Les systèmes hybrides fonctionnant à 75% sur le solaire restent l'installation la plus chère (en investissement) quel que soit la taille du système AEP mis en place ;
- La solution 50% hybride est intéressante pour des grandes installations pour lesquelles il faut augmenter la capacité de production ;
- Sans tenir compte de l'investissement nécessaire pour le château d'eau, la solution solaire est plus rentable, en termes de coûts d'exploitation, y compris pour les grandes installations.



INFOS +

- **pS-Eau** : Le photovoltaïque et les services d'eau potable en Afrique de l'Ouest : synthèse, défis et recommandations

En ce qui concerne les coûts d'exploitation des systèmes fonctionnant à l'énergie solaire, les principales différences avec les systèmes fonctionnant à l'énergie thermique se retrouvent dans les coûts d'amortissement et les coûts de fonctionnements

L'amortissement de l'investissement initial est rarement supporté par les opérateurs. S'il l'est, il se répercute progressivement sur les frais de fonctionnement du service en fonction de la durée de vie de chacun des composants.

Les coûts de fonctionnement, ils sont eux moindres pour les systèmes fonctionnant à l'énergie solaire, de par la gratuité de celle-ci face aux coûts souvent fluctuant du gasoil alimentant les systèmes AEP thermiques. Le tableau ci-dessous, élaboré par Essonne Sahel en 2015, permet de faire un comparatif des coûts selon les sources d'énergies.

Exemple du coût du m³ d'eau selon les types d'alimentation en énergie dans trois localités de la région de Kayes, au Mali⁴.

	Yérére	Sandéré	Diéma
Profondeur de forage	16 m	28 m	42 m
Coût du kWh solaire ⁵ (FCFA)	165 FCFA	165 FCFA	165 FCFA
Coût du kWh thermique ⁶ (12 kVA)	1 000 FCFA	1 000 FCFA	1 000 FCFA
Énergie en kWh pour élever 1 m ³ en fonction de la HMT avec un rendement de 100%	0,044	0,076	0,11
Solaire : coût du m³ d'eau (rendement moyen 38%)	19 FCFA	33 FCFA	48 FCFA
Thermique : coût du m³ d'eau (rendement moyen 43 %)	102 FCFA	176 FCFA	255 FCFA

4. Les coûts présentés dans ce tableau sont le résultat d'études conduites et actualisées en 2014 par Jean-Pierre d'Haenens (Essonne-Sahel), à partir des chiffres de l'audit technique et financier annuel. Ils incluent uniquement les coûts liés à la source d'énergie.

5. Le coût du kWh solaire comprend la maintenance et la provision pour renouvellement.

6. Le coût du kWh thermique comprend le poste énergie (p. ex. gasoil), la maintenance et la provision pour renouvellement.

Ces écarts sont toutefois compensés en grande partie par les nécessaires coûts de provisionnement visant à anticiper le renouvellement des équipements. L'enjeu est ici crucial pour permettre la pérennisation du service en anticipant les frais de renouvellement, souvent lourds dans le cas d'AEP solaire.

Issue d'un audit annuel sur 11 sites pilotes dans la région de Saint-Louis du Sénégal, l'ONG GRET a établi le ratio des coûts d'exploitation suivant (hors personnel) selon les sources d'énergie.

	Coût énergétique	Maintenance	Provision pour renouvellement
Énergie solaire	0%	≈ 8%	≈ 31%
Réseau électrique	≈ 26%	≈ 17%	≈ 2%
Énergie thermique	≈ 54%	≈ 18%	≈ 12%

Source : Le photovoltaïque et les services d'eau potable en Afrique de l'Ouest : synthèse, défis et recommandations. pS-Eau, 2018.



Le solaire comme source d'énergie unique, ou hybride, pour l'eau potable

Issus de l'analyse de multiples situations observées et de préconisations d'opérateurs et de services techniques étatiques mais aussi d'une analyse financière des systèmes, les éléments de ce tableau dégagent des orientations générales qui restent indicatives. Suite à des réflexions de nombreux experts et à un atelier de travail sur le pompage solaire en Afrique de l'ouest en 2017, le pS-Eau a voulu synthétiser les conclusions dans un tableau qui donne une orientation du type

d'énergie à privilégier pour le pompage d'eau en fonction de la taille du village à alimenter. Les plages de population ont été discutées avec les différents acteurs du secteur, mais d'autres hypothèses plausibles auraient pu être utilisées. Le tableau comporte aussi l'analyse de diverses simulations basées sur les coûts d'investissement et sur les coûts d'exploitation pour des systèmes énergétiques en Mauritanie et Sénégal.

Les critères d'opportunité de l'option solaire selon la taille des localités

Taille des localités	Moyenne de demandes en eau (15l/J/P) m ³ /Jour	Solarisation intégrale	Hybride 75% solaire	Hybride 50% solaire	Réseau électrique
De moins de 400 à 1 000 habitants	9	À écarter	À écarter	À écarter	À écarter
De 1 000 à 2 500 habitants	26	Recommandé	À étudier	À écarter	À étudier
De 2 500 à 6 000 habitants	60	À étudier	Recommandé	À étudier	À étudier
De 6 000 à 10 000 habitants	120	À étudier	Recommandé	À étudier	À étudier
De 10 000 à 20 000 habitants	250	À écarter	À étudier	Recommandé	Recommandé

Recommandé
 À étudier
 À écarter

Tableau produit suite à l'atelier sous régional sur les retours d'expériences du Sénégal, du Mali et la Mauritanie organisé par le SEDIF et le pS-Eau du 31 janvier au 2 février 2018 à Saint-Louis du Sénégal.

Le résultat final reste indicatif et vise à donner une orientation économique afin de faciliter le choix des différents modèles énergétiques pour le pompage de l'eau. Des études préalables de faisabilité technique et socioéconomique demeurent indispensables à la conception de chaque projet.



Globalement, on distingue 3 types de localités :

- **Sites ruraux** – moins de 2 500 habitants ;
- **Petits centres ruraux** – entre 2 500 et 10 000 habitants ;
- **Petits centres urbains** – de 10 000 à 20 000 habitants.



En cas d'hybridation (ou mixité), trois options sont généralement observées :

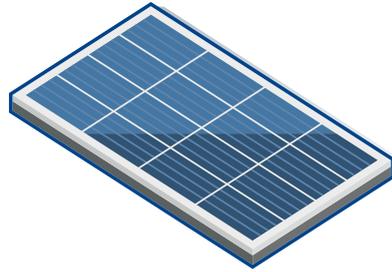
- **Solarisation intégrale** : pompage solaire uniquement.
- **Hybride 75% solaire** : le pompage solaire est utilisé à 75 % complété à 25% par une énergie d'appoint (thermique ou réseau électrique).
- **Hybride 50% solaire** : le pompage solaire et la seconde source d'énergie (thermique ou réseau électrique) sont utilisés à parts égales.

Sur les sites ruraux, le solaire intégral est envisageable, toutefois il dépend fortement de la capacité économique des usagers, notamment face à la possibilité de constituer un fond de renouvellement des équipements principaux (pompe, panneaux). Si dans ces sites les systèmes hybrides (75% solaire) peuvent être étudiés, il est indispensable de s'assurer en amont de la fiabilité de l'approvisionnement en gasoil.

Au niveau des petits centres ruraux, le solaire est envisageable mais peut être insuffisant si la demande en eau est importante car limitée par les variations d'ensoleillement. Les systèmes hybrides apparaissent donc comme plus adaptés, si l'approvisionnement en gasoil est fiable et régulier, pour répondre aux besoins de renforcement du pompage.

Au niveau des petits centres urbains, la solarisation intégrale constituera très vite une limite (temps de pompage et donc quantité d'eau disponible). Les systèmes hybrides ou uniquement thermiques semblent être mieux adaptés en raison de la bonne situation de ces centres. Le réseau électrique constitue également une source d'énergie stable et fiable et donc une alternative sérieuse.

Synthèse des atouts et contraintes des différentes solutions d'énergie.



Motricité humaine



- Disponibilité de l'énergie et absence de coûts énergétique
- Simplicité d'utilisation



- Pénibilité : d'autant que la corvée d'eau reste le plus souvent dévolue aux femmes et enfants
- Entretien et maintenance
- Très limité en capacité et puissance

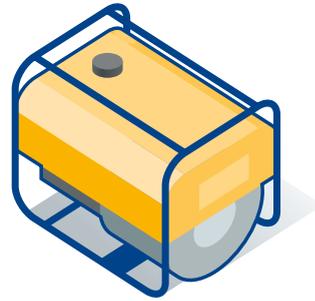
Solaire



- Disponibilité de l'énergie
- Coûts d'exploitation faibles (aucun consommables)
- Suivi ponctuel, faible entretien en dehors des panneaux solaires
- Énergie renouvelable



- Durée de pompage limitée à l'ensoleillement, et forte variation journalière du débit « au fil du soleil »
- Sensible aux « jours sans soleil » et aux saisons humides (couverture nuageuse)
- Limité en capacité et puissance
- Risques de casses et de vols des panneaux : nécessitent une surveillance



Hybride : solaire et thermique



- Augmentation de la capacité et de la puissance du système d'exhaure
- Flexibilité : les contraintes liées à une seule source d'énergie peuvent être évitées
- Continuité du fonctionnement si panne ou maintenance d'un système énergétique



- Coûts d'exploitation élevés et dépendant des variations du marché du gasoil
- Disponibilité des pièces de rechange pour les groupes électrogènes
- Maintenance régulière
- Nécessite une surveillance des infrastructures et des stocks de gasoil
- Énergie fossile

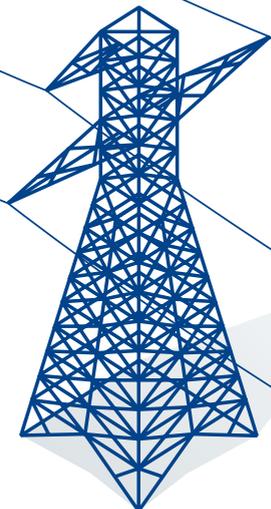
Thermique



- Bonne capacité et puissance du système d'exhaure
- Capacités locales de maintenance
- Coût d'équipement abordable



- Coûts d'exploitation élevés
- Stock de pièces nécessaires pour un entretien régulier
- Consommation régulière de gasoil, impliquant un coût variable de l'énergie
- Nécessite un opérateur et un gardien lors des heures de fonctionnement, et la surveillance des stocks de gasoil.
- Énergie fossile



Réseau



- Capacité et puissance du système d'exhaure
- Prix du m³ d'eau moindre
- Coûts de raccordement abordables si réseau à proximité



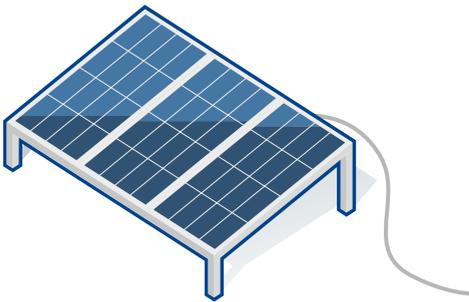
- Irrégularité (délestages)
- Capacités d'entretien et maintenance élevées
- Prix du kWh à étudier par zone ou pays

3. Comment et avec
qui mettre en
place un projet
solaire ?



Éléments de compréhension des choix techniques

Pour chacun des équipements d'un système de pompage solaire des choix technologiques devront être opérés, la partie ci-dessous donne les premières clés de compréhension pour les équipements propres aux systèmes d'adduction d'eau fonctionnant à l'énergie solaire. Toutefois les choix techniques doivent se faire avec l'appui d'experts permettant, en fonction des besoins, de mettre en place un système adéquat et de sélectionner les technologies les plus adaptées aux besoins et usages locaux.



1. Le générateur photovoltaïque :

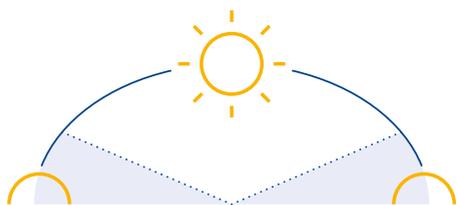
Cet équipement est composé de modules photovoltaïques, supportés par une structure métallique, ces modules ou panneaux photovoltaïques sont interconnectés électriquement pour constituer une unité de production de courant continu. L'emplacement, l'angle d'inclinaison de ces modules sont définis pour optimiser la réception des rayonnements solaires et donc permettre une production d'énergie maximale.

Les panneaux photovoltaïques se différencient par les cellules photovoltaïques qui les composent et qui déterminent leur rendement :

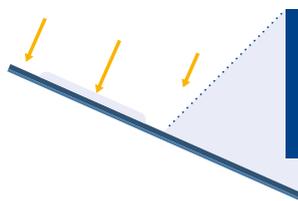
- ▶ Les **cellules à matériaux monocristallins** présentent les meilleurs rendements mais sont également les plus coûteuses.
- ▶ Elles sont suivies de près en termes de rendement par les **cellules à matériaux polycristallins** qui sont moins coûteuses à produire.
- ▶ Pour finir les **cellules de films minces**, ou **panneau Amorphe**, sont à moindre coûts mais présentent une efficacité plus faible, soit environ la moitié des précédentes⁷.

7. Source : Practica Foundation, Manuel de formation « Le pompage solaire appliqué aux adductions d'eau potable en milieu rural », 2017.

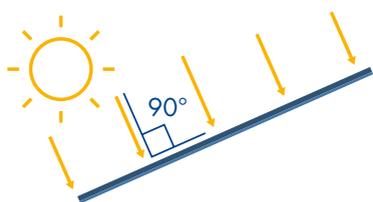
Le rendement d'une cellule photovoltaïque est le rapport entre l'énergie électrique produite aux bornes de la cellule et l'énergie solaire reçue sur l'ensemble de sa surface, généralement exprimé en pourcentage. L'énergie électrique produite par un panneau photovoltaïque dépend de divers facteurs conditionnant sa productivité :



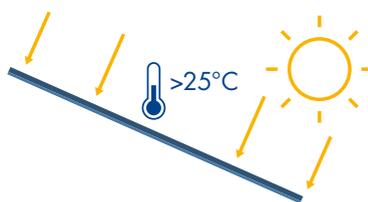
➤ L'intensité de l'ensoleillement journalier ;



➤ L'environnement extérieur (ombres, poussières, etc.) ;



➤ L'angle d'incidence des rayons sur le panneau (ces derniers doivent être perpendiculaires pour produire le maximum d'énergie) ;



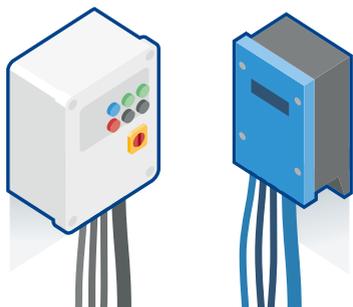
➤ La température extérieure qui influence le rendement du panneau d'environ 15% (perte de 0,45% de rendement/°C au-delà de 25°C).

Lors du choix des panneaux solaires une attention doit être portée à leurs caractéristiques électriques (tension et l'intensité) pour permettre en sortie du champ solaire une puissance de sortie globale maximale. Pour cela, la configuration du câblage du champ solaire est un facteur important, les panneaux pouvant être câblés en série ou en parallèle selon les objectifs attendus.

➤ **Lors de câblage en série**, la tension de chaque panneau va se cumuler, en revanche le courant produit sera limité par le panneau produisant le courant le plus faible.

➤ **Lors de câblage de panneaux en parallèle**, le courant de chaque panneau va se cumuler. Toutefois si les panneaux ne disposent pas de la même tension, celle-ci sera limitée par le panneau ayant la plus faible tension.

Ainsi les choix des panneaux photovoltaïques, de leur câblage, et de leur conditions d'exposition aux rayons solaires doivent être réfléchis de manière globale face aux contraintes terrains (pays, climat) afin d'être optimales pour l'ensemble du générateur solaire en fonction de la puissance attendue.



2. L'unité de contrôle de la pompe

L'unité de contrôle de la pompe est constituée d'un régulateur, qui permet d'optimiser le fonctionnement des panneaux photovoltaïque en jouant sur la tension de sortie afin de créer une situation optimale entre courant et tension, et produire une puissance maximale. Cela permet notamment de faire démarrer les pompes même si l'éclairement est encore faible. Elle peut également comprendre un onduleur lorsque la pompe fonctionne sur du courant alternatif : afin de convertir le courant continu produit par les panneaux en courant alternatif.

L'unité de contrôle est également constituée d'une commande de la pompe permettant l'arrêt/démarrage manuel de cette dernière et donc une sécurité supplémentaire, en cas d'absence d'eau dans le forage.

i Courant continu ou alternatif ?

Les panneaux solaires produisent du courant continu, à une tension (en volt) variable suivant l'ensoleillement (et l'heure de la journée). Les pompes à courant continu (DC) ont l'avantage d'être connectables directement sans conversion du courant continu vers du courant alternatif (AC), favorisant un meilleur rendement. Les pompes en courant alternatif se branchent après un onduleur, qui transforme le courant continu des panneaux solaires en courant alternatif. Il y a un donc un élément supplémentaire qui peut être facteur de panne. Les pompes en courant alternatif sont plus courantes, donc souvent moins coûteuses et permettent d'être alimentées par un groupe électrogène en direct. On choisira une solution avec courant alternatif quand la distance entre la pompe et le champ solaire est importante, ou que le forage est de très faible diamètre. On choisira une solution avec courant continu quand on souhaite une plus faible surface et une plus forte puissance des panneaux installés, ou quand la pompe est très proche du champ solaire.



3. Le groupe électropompe :

Deux types de pompes immergées sont fréquemment utilisées : la pompe centrifuge munie d'une turbine, et la pompe à vis hélicoïdale munie d'un rotor en spirale. Le choix de la pompe sera déterminé par les caractéristiques du forage, dont notamment :

◀ La relation débit/HMT

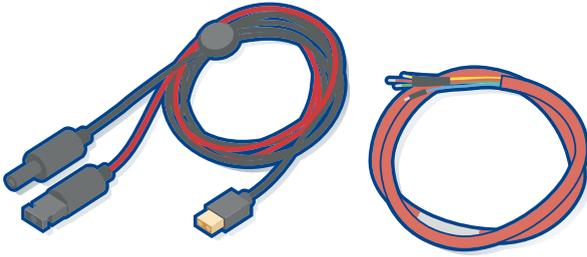
La pompe à vis hélicoïdale sera préférée en cas de forage profond ou de durées de pompage élevées avec des conditions d'ensoleillement variables. En revanche, même si la pompe centrifuge nécessite un ensoleillement minimum pour assurer la vitesse nécessaire au pompage de l'eau, elle sera plus adaptée en cas de HMT faible ou de forts débits car les pertes de charges, induites par le diamètre du forage, seront moindres.

◀ La qualité de l'eau à pomper

La pompe à vis hélicoïdale va mieux supporter la présence de limons ou de sable dans l'eau sans être endommagée.

◀ Pic d'intensité nécessaire au démarrage

Certaines pompes nécessitent un pic d'intensité élevé au démarrage, ce qui signifie qu'elles ne pourront démarrer que tardivement le matin, car une accumulation de puissance suffisante leur est nécessaire. De nouvelles pompes gagnent en performance grâce à une réduction de ce pic de démarrage. Si ce n'est pas le cas, la surface de panneaux solaires devra être accrue pour répondre à cette contrainte.



4. Le câblage électrique :

Le câblage électrique permet de faire transiter l'énergie du générateur au moteur, ainsi que les informations relatives aux contrôles de sécurité. Le diamètre du câble électrique de la pompe doit être adapté aux besoins nécessaires en puissance électrique : à noter que plus le câble sera épais, plus il sera coûteux. Par ailleurs, le courant continu nécessite une section de câble plus importante que le courant alternatif.

i Système hybride

Pour pallier à certaines contraintes inhérentes aux systèmes AEP solaires (détaillées ci-dessus) un générateur d'appoint (thermique) peut être choisi. En cas d'hybridation (générateur solaire et générateur thermique) il est indispensable de s'assurer de leur compatibilité avec la pompe installée (courant AC ou DC) ou prévoir un onduleur.



Éléments de compréhension du dimensionnement

Le dimensionnement d'une installation solaire doit être réalisée suite à un diagnostic préalable et une identification des besoins⁸. Sur cette base, la mobilisation d'experts est indispensable pour effectuer un dimensionnement adapté et permettre de valider les choix techniques.

Lors du dimensionnement d'une l'installation solaire par un prestataire, voici quelques éléments à considérer :

1. Pour calculer la puissance nécessaire du générateur solaire, il faut :

➤ **Calculer la puissance hydraulique en sortie de système souhaitée (E/jour)**, c'est-à-dire la puissance journalière à fournir pour pomper une quantité d'eau à une certaine profondeur et l'acheminer vers le réservoir de stockage en luttant contre la force de gravité.

➤ **Prendre en compte l'efficacité du réseau solaire**, c'est-à-dire les rendements de chaque objet du système (câble, pompe...). En effet de l'énergie s'y perd, cela signifie qu'il faudra fournir plus d'énergie pour vraiment atteindre la puissance nécessaire au bon fonctionnement du système. Il faut donc à la fois considérer le rendement hydraulique de la pompe (η) et le rendement éclectique (ε) globale du système (câble, moteur de la pompe et convertisseurs).

On peut alors calculer la demande totale d'énergie du système (E_{tot}) :

$$E_{tot} = \frac{E / \text{jour}}{\eta * \varepsilon} \quad (\text{Unité : kWh/jour})$$

E_{tot} = L'énergie produit par le réseau solaire

E_{jour} = L'énergie hydraulique requiert par jour

η = L'efficacité du système de pompage hydraulique

ε = L'efficacité électrique

8. Sur la réalisation d'un diagnostic et l'identification des besoins, voir également le guide méthodologique « Développer les services d'eau potable, 18 questions pour agir. »

2. Lors de la conception du réseau photovoltaïque, certains éléments sont à prendre en compte :

► **L'inclinaison des panneaux** en fonction de l'heure de la journée et du moment dans l'année, qui va jouer sur le rendement. Pour les calculs on prend en compte le « mois critique », c'est-à-dire celui qui est le moins ensoleillé. Ces calculs doivent toutefois être réalisés par un expert dans une étude plus poussée. En effet, l'angle d'inclinaison optimal

dépend généralement de la latitude, de la position des panneaux et de l'angle que fait le soleil par rapport à la surface de la terre durant le « mois critique » (on les additionne).

► **La température** va également influencer sur le rendement.

Élément	Rendement	Observation
Pompe, partie hydraulique	+/- 60%	Dépend du type, courbe et charge
Moteur de la pompe	+/- 70%	Prenez charge moyenne de la pompe
Câbles	+/- 98%	Dépend du diamètre, de la longueur et du matériel du câble
Convertisseur	+/- 90%	Dépend du type
Inclinaison panneaux PV	+/- 105%	À calculer
Effet matin-soir	+/- 80%	Uniquement pour pompe centrifuge, dépend de la hauteur manométrique
Poussière et réflexion	90-100%	Dépend du nettoyage des panneaux
Age des panneaux PV	80-100%	Rendement diminue avec l'âge
Perte de température	+/- 85%	À calculer

Source : Rendements à considérer dans le calcul de la demande de la puissance hydraulique en sortie de système, données issues du Guide Practica.

INFOS +

Outils de dimensionnement ligne :

- **LeLab by SINES** : Dimensionnement pour le pompage solaire (lelab-sines.fr)
- **Grundfos** : Page Dimension

Pour plus d'informations sur le dimensionnement et les choix technologiques :

- **Grille choix, experts solidaires** (https://www.pseau.org/outils/ouvrages/experts_solidaires_elements_de_decision_technique_concernant_le_choix_des_equipements_d_un_systeme_de_pompage_solaire_2018.pdf)
- **Guide Water mission** (https://www.pseau.org/outils/ouvrages/unicef_water_mission_systemes_d_adduction_d_eau_par_energie_solaire_guide_conception_et_d_installation_2020.pdf)
- **Guide Practica** (www.pseau.org/outils/ouvrages/practica_foundation_unicef_le_pompage_solaire_applique_aux_adductions_d_eau_potable_en_milieu_rural_manuel_de_formation_2018.pdf)



Identifier un fournisseur et sélectionner le matériel

Une fois l'installation dimensionnée et les choix technologiques fait, il s'agit d'identifier les fournisseurs et donc de sélectionner la qualité du matériel.

Le nombre de fournisseurs s'est décuplé avec la diffusion et l'accessibilité des technologies photovoltaïques, il devient parfois difficile d'en identifier de qualité et proposant des services d'accompagnement et de suivi.

Quelques recommandations pour l'identification des fournisseurs :

- ▶ Travailler avec des fournisseurs certifiés et fiables, parfois référencés par les acteurs du secteurs (ministères, directions régionales). Il est donc conseillé de se tourner vers les autorités en charge pour se faire orienter et conseiller ;
- ▶ Identifier et se conformer aux cadres réglementaires permet d'augmenter certaines garanties (insérer ces enjeux dans les dossiers d'appel d'offres) ;
- ▶ Vérifier si le fournisseur travaille conformément aux normes nationales, voire internationales, notamment pour éviter des panneaux ou pompes de mauvaise qualité. Pour les normes de qualité UE, pour les panneaux solaires par exemple, il est possible de vérifier les flashs tests (au moment de sa fabrication, le module est soumis à un test d'exposition à la lumière pour calibrer sa puissance) : un code barre renseigne sur toutes les caractéristiques du panneau.

Les installations solaires nécessitent un investissement de base plus important que les installations thermiques, toutefois les prix vont fortement varier selon la marque des produits et donc de leurs qualités. La montée en gamme des équipements et l'expansion du marché de l'énergie photovoltaïque a entraîné l'arrivée de contrefaçons et d'équipements de qualité médiocre, faute de contrôle et de régulation du marché. La mauvaise qualité des équipements et de leurs installations est fréquemment pointée par les autorités et les opérateurs du secteur. Une vigilance est donc à avoir et un compromis est à rechercher entre du matériel de bonne qualité ayant une espérance de vie plus longue et un matériel nécessitant un investissement de base moins élevé mais risquant de durer moins longtemps et de voir son rendement chuter assez vite.

Quelques recommandations pour la sélection de l'équipement :

- Systématiser l'analyse comparative des différentes solutions énergétiques dans les études techniques des projets ;
- Privilégier les performances techniques ainsi que la traçabilité des équipements par rapport au prix ;
- Identifier des fournisseurs locaux, ou disposant de représentations locales, favorise un suivi des équipements et facilite leur réparation si nécessaire (expertise locale et accès aux pièces de rechange), et s'assurer des qualités du service après-vente ;
- Anticiper les compétences nécessaires à l'installation et la maintenance du matériel ;
- En l'absence de compétences locales pour l'installation et la maintenance du matériel, développer des offres/modules de formations relatifs au pompage et à l'énergie photovoltaïque (installation, maintenance, contrôle) ;
- Sécuriser l'installation des équipements pour éviter le vol et la dégradation.

Là encore, l'accompagnement d'un expert constitue un atout pour vous orienter au mieux et sélectionner les qualités les plus adéquates aux technologies et installations à mettre en place.

Il est également possible de collecter des retours d'expériences auprès d'acteurs à proximité ayant mis en place sur leur projet de semblables installations, ou encore de

se renseigner auprès des autorités locales pouvant vous indiquer les fournisseurs et opérateurs ayant répondu à des appels d'offres. Il est également important d'évaluer la solidité financière du fournisseur et son ancienneté afin de garantir sa présence et son service après-vente les premières années.

Une fois le fournisseur identifié, l'identification et la mise en place de clauses contractuelles permet de donner diverses garanties, prises en charge, voir suivi et réparation du matériel en cas de panne. Il est donc important de bien identifier les services après-ventes proposés et leurs conditions. L'installation du système AEP solaire est une étape clé : la position et connexion des panneaux, le câblage, l'installation de la pompe vont conditionner le rendement du système et sont donc à faire suivre et faire contrôler lors de la réception par des professionnels.



Exonération de taxes d'importation

Dans le cadre de la promotion des énergies renouvelables, de nombreux gouvernements accordent une exonération des taxes d'importation sur les équipements d'installations photoélectriques. Il est à noter que le recours à des opérateurs locaux simplifie les démarches d'obtention de ces exonérations auprès de l'administration douanière.



Faciliter la prise en charge des coûts d'installation d'infrastructures solaires

Dans le cadre de la mise en place d'un service d'eau par pompage solaire, l'investissement initial s'avère lourd et les ressources financières nécessaires rarement mobilisables par les services en place. Ce déficit peut être comblé ou facilité selon différentes pratiques :

- ▶ Le maintien des soutiens financiers publics (bailleurs, ONG, institutions, etc.) ;
- ▶ Le recours à des partenariats publics/privés en facilitant l'investissement du privé, par exemple en facilitant l'accès au prêt ou via des subventions. La notion de rentabilité du service est dans ce cadre primordiale ;
- ▶ L'utilisation de facilité d'investissement en ayant par exemple recours à du leasing ;
- ▶ L'utilisation de facilités de paiement avec des paiements différés, en particulier pour des systèmes thermiques solarisés pour lesquels l'exploitant (plutôt professionnalisé et avec un parc de service démontrant un intérêt pour le fournisseur par exemple) peut démontrer les excédents estimés avec la solarisation et sa capacité de remboursement rapide.





Témoignage de Jean-Pierre Mahé et Gaëtan Delgado, Experts-Solidaires

« Le stockage de l'eau grâce à un réservoir de taille accrue va considérablement augmenter les coûts d'investissement pour un système 100% solaire, mais cet investissement sera amorti sur le long terme. Concernant, les systèmes de stockage d'énergie via batteries, au coût d'investissement initial s'ajoutent les frais de renouvellement des batteries (d'une durée de vie d'environ 6 ans en contexte Sahélien), un entretien, une maintenance importante, et nécessite d'anticiper le devenir de ces batteries en fin de vie. »



Retour d'expérience : Projet SISAM – Électriciens sans frontières

Le projet SISAM, porté par Électriciens Sans Frontières a été mis en œuvre dans différentes localités rurales du Togo, Bénin et Burkina Faso entre 2018 et 2021. Ce projet qui visait la mise en place d'un système de location-vente de pompes solaires à destination de maraichers à faible revenu.

L'investissement initial d'un équipement de pompage solaire étant l'une des principales barrières à leur utilisation dans ces zones, l'ONG ESF a souhaité développer des mécanismes de facilitation à l'investissement. Il est apparu que les Institutions de Micro Finance (IMF) ont des critères trop contraignants et non adaptés aux besoins des bénéficiaires du projet (crédit sur des périodes trop courtes, difficultés de disposer de garanties matérielles sur l'investissement et taux d'intérêt très élevés en raison du risque d'impayés).

L'ONG s'est donc tournée vers une solution de location/vente de pompes solaires fournies et gérées par les fournisseur/installateur/mainteneur des pompes. ESF a contractualisé, après appel d'offres, avec l'entreprise ARESS basée à Cotonou. Si le projet subventionne l'achat des pompes à 75%, les derniers 25% proviennent des bénéficiaires. Leur participation prend la forme d'un loyer moyen de 7 à 8€ par mois et par bénéficiaire sur 3 ans.

Au-delà de l'échelonnement des paiements, adaptés à chaque contexte (remboursement semestriel au Burkina Faso, annuel au Togo et mensuel au Bénin), l'entreprise s'est engagée dans le même temps à :

- Assurer une maintenance semestrielle durant trois ans (soit la durée du remboursement, et reconductible à terme par les bénéficiaires) ;
- Assurer les réparations des pompes en cas de panne, également sur une durée de trois ans ;
- Garantir le fonctionnement des pompes solaires sur 3 ans.



Ce projet se révèle à terme être un succès. Les taux d'impayés ont été limités surtout lorsque l'accompagnement local des bénéficiaires et le suivi de leur action, ont été assurés par les relais locaux d'ESF.

Au Burkina Faso, la mise en place de paiements groupés a permis de renforcer la sécurisation des paiements et à terme, une réflexion est menée sur la mutualisation de ces derniers via des groupements ou des coopératives agricoles.

Au-delà de cette facilité d'investissement, la mise en place de contrats location/vente a favorisé une maintenance très régulière et plus sérieuse qu'accoutumée en mobilisant l'expertise et l'expérience de l'entreprise loueuse qui avait tout avantage à maintenir des infrastructures en bon état de fonctionnement pour récupérer ses loyers. Un suivi d'autant plus rapproché que les pompes mises en place étaient équipées de puces permettant de transmettre en temps réel des informations sur la quantité d'eau produite permettant une identification rapide des pannes pour intervention. Ces données étaient également transmises au responsable technique du projet.

Du côté de l'entreprise ARESS, ce projet a poussé au renforcement de ses compétences internes (outils de gestions adaptés, SAV efficace) mais aussi au développement de son offre.

INFOS +

- **Véronique Pingard** – Chargée de projets, **Michel Crémieux** – Chef de projet SISAM, Électriciens Sans Frontières.

4. Comment
pérenniser
un service
d'alimentation
en eau par
énergie solaire ?



Anticiper les besoins d'entretien et de maintenance

Les équipements solaires nécessitent un entretien et une maintenance plus importante et dont la rigueur renforce la durée de vie des équipements.

En termes d'entretien de base :

➤ **Les panneaux solaires nécessitent un nettoyage hebdomadaire ;**

➤ **La pompe et le système de connexion, nécessitent des vérifications régulières** afin de prévenir les pannes. La connectique étant notamment très sensible aux fortes chaleurs ;

➤ **Les onduleurs sont la partie la plus fragile du dispositif d'énergie solaire.** Avec la génération de pompes à moteur à courant continu, il n'y a plus d'onduleur, mais des contrôleurs, beaucoup plus simples et fiables sur le plan électronique.

Pour anticiper et répondre à ces besoins en maintenance, qui se traduisent essentiellement par une mobilisation accrue en ressources humaines formées, différentes pistes doivent être explorées :

➤ **Les Agences nationales d'électrification rurales** sont une source d'information et permettent de vérifier les références et le niveau de compétence des professionnels sollicités ;

➤ **La souscription auprès du fournisseur d'un contrat de maintenance** (l'équivalent d'une extension de garantie), qui permette l'intervention d'un spécialiste agréé par le constructeur et sécurise la qualité des interventions ;

➤ **La formation d'un technicien local spécifique à ces missions** assure des compétences locales mobilisables et un délai d'intervention réduit.



Focus sur les risques de vandalisme :

Les composants électriques des infrastructures peuvent attirer certaines convoitises et font peser le risque de vol et/ou de vandalisme. Pour éviter cela, au-delà de la sensibilisation sur la mise en place d'un service public, des mesures de surveillance et de protection doivent être prévues : enclos fermé, protection des infrastructures, gardien, etc.



Identifier les coûts d'exploitation et de renouvellement du service

En l'absence de frais de combustible, ces coûts se répartissent généralement ainsi pour une installation solaire :

Les frais de gestion de l'exploitant (qu'il soit privé, public ou associatif)

- Les frais de personnel : le salaire de la ou des personne(s) en charge de la surveillance et de l'entretien des installations, et la rémunération de la personne en charge de la vente de l'eau (fontainier) ;
- Les frais de suivi et d'analyse de la qualité de l'eau ou encore le matériel de mesures nécessaire pour effectuer les contrôles ainsi que les produits et consommables nécessaires pour la désinfection (chlore, etc.) ;
- Éventuellement, le matériel de mesures électriques pour effectuer les contrôles ;
- Le petit matériel de gestion (caisse, cahier de suivi, cahier de compte, etc.).

Les frais de maintenance

Au-delà de l'entretien quotidien des infrastructures, l'exploitant peut faire appel à des compétences externes et sous-traiter les réparations : ces coûts peuvent être anticipés dès l'installation du système en passant par exemple un contrat de maintenance avec des entreprises spécialisées. Les fournisseurs peuvent proposer ces services et seront les plus à même de répondre aux besoins. Toutefois, les délais de réparations doivent être bien

pris en compte d'où l'importance de mobiliser des fournisseurs, des filiales à proximité ou de former des maintenanciers localement.

Les taxes et cotisations suivant la législation en vigueur

Différentes taxes et cotisations existent selon les pays d'intervention, imposant de reverser une partie des recettes des exploitants (généralement calculé sur le nombre de m³ d'eau vendu) aux autorités référentes. Ainsi les taxes pour le suivi technique et financier, pour la régulation des services de l'eau ou encore pour la gestion intégrée de la ressource en eau sont à prendre en compte dans l'identification des coûts d'exploitation.

Si le système d'alimentation en eau est considéré comme un don d'un organisme extérieur ou du gouvernement, la provision sur amortissement n'est pas toujours incluse dans les coûts du système. Si le système est financé à partir d'un prêt bancaire, les taux d'intérêt des prêts doivent être inclus dans le calcul.

Provision pour le renouvellement des équipements

- Le câblage et la connectique : ce sont les parties les plus sensibles du système ;
- L'onduleur : celui-ci a une durée de vie moyenne d'environ 7 ans ;
- Les panneaux solaires ont une durée de vie (garantie par le constructeur) de 25-30 ans ;

- La pompe : elle a une durée de vie d'environ 10 ans⁹;
- Protection du champ solaire et du pompage : nécessaire à la sécurisation du dispositif des fonds doivent être disponibles pour réparer/remplacer le système de protection.

Les investissements matériels constituent la charge majoritaire de la mise en place et du maintien d'un service d'accès à l'eau fonctionnant par pompage solaire. La mise en place de **provisions pour renouvellement constitue l'enjeu principal de la pérennisation du service** : associé à une maintenance préventive et efficace, un provisionnement progressif, fiable, en tenant compte de la durée de vie de l'ensemble des composants du système est primordial.

Dans de nombreuses situations, les coûts de renouvellement ne sont pas considérés comme des coûts du projet, et ils ne sont pas pris en compte ni dans la planification et la gestion financière, ni dans le prix final de l'eau. En conséquence, des réinvestissements ne peuvent avoir lieu sans à nouveau compter sur une contribution financière extérieure : une logique extrêmement risquée de par la difficulté de trouver à nouveau des partenaires financiers et donc dangereuse pour le gestionnaire se retrouvant dans l'impossibilité d'assurer les investissements nécessaires.

→ Il est fortement recommandé de faire un calcul des coûts d'amortissement des éléments du système, sur la base de leur durée de vie, puis de l'intégrer dans le prix de vente de l'eau.



9. En cas de système hybride ou les durées de pompage sont fortement allongées, les durées de vies de l'onduleur et de la pompe peuvent fortement être réduites, voir divisées par deux. On résonne en heure de fonctionnement plutôt qu'en année.



Retour expérience, ONG ADOS

Focus sur les comptes d'exploitation et la définition d'un tarif du service.

L'un des objectifs du projet SEAUEDEL mis en œuvre au Sénégal dans la commune de Bokidiawé visait à réduire le coût de distribution de l'eau potable, afin de diminuer le tarif pour les usagers et faciliter une utilisation à la fois pour les consommations personnelles et domestiques ainsi que pour des activités de maraîchage. Si le coût de l'eau est élevé, les populations ont tendance à se tourner vers les puits, avec tous les risques liés à la qualité de ces eaux.

Les deux villages ayant bénéficié de cette intervention ont donc connu une baisse du prix de l'eau : de 0.38 € à 0.25 €/m³ à Doumga et de 0.46 € à 0.24 €/ m³ à Thiéhel.

Ces diminutions se sont fait sur la base de l'analyse des comptes d'exploitation, en prenant en compte les frais de fonctionnement et en anticipant les besoins en renouvellement des infrastructures.

Ci-dessous, le compte d'exploitation de Doumga a permis d'identifier le coût de distribution de l'eau à 0,14€ (soit 92,87 FCFA/m³). L'ASUFOR a ainsi acté un coût arrondi à 0,17€ (110 FCFA/m³) avec l'ajout d'une marge de sécurité de 0,08€ (55.32 FCFA/m³) pour couvrir les éventuelles pertes d'eau et factures non recouvrées. Le prix du m³ d'eau potable vendue a donc été fixé à 0,25€ (soit 165.32 FCFA).

	Commentaires	2018 groupe électrogène (en FCFA)	2018 solaire + groupe électrogène (en FCFA)
Amortissement et renouvellement			
Pompe	5 ans	1 124 092	1 124 092
Château et réseau	40 ans	1 950 000	1 950 000
Groupe électrogène	4300 heures	1 322 696	254 651
Panneaux solaires	25 ans	-	506 345
Supports des modules	25 ans	-	646 359
Conditionneur d'énergie	7 ans	-	328 714
Total amortissement et renouvellement		4 396 788	4 810 160

Frais de fonctionnement			
Frais de fonctionnement ASUFOR	40 000 FCFA par mois	480 000	480 000
Carburant	2500 FCFA par heure de pompage	7 109 491	1 368 750
Maintenance groupe (Lubrifiants et Pièces d'usure, vidange...)	150 FCFA par heure de pompage	426 569	82 125
Pièces d'usure (filtres, joints...)	150 FCFA par heure de pompage	426 569	82 125
Entretien équipements d'exhaure et groupe (réparation)	370 FCFA par heure de pompage	1 052 205	202 575
Entretien réseau et château (fuites d'eau, vannes, ...)	6,5 FCFA par m ³ pompé	979 688	979 688
Entretien solaire	250 000 FCFA par an	-	250 000
Frais de personnel (préposés aux points de distribution, releveurs des branchements privés)	20 FCFA par m ³ distribué	2 562 261	2 562 261
Frais personnel (conducteur)	90 000 FCFA par mois	1 080 000	1 080 000
Total frais de fonctionnement		14 116 784	7 087 524
Total général		18 513 571	11 897 684
Coût du service de l'eau	En CFA	144,51	92,87
Prix du m³	En CFA	250	165.32

INFOS +

- Assane Diarra, responsable des opérations : a.diarra@ados-association.org,
- Rachel Nodin, Directrice : r.nodin@ados-association.org.



Recouvrir les coûts d'exploitation et de renouvellement

Si les partenaires au développement peuvent financer un investissement initial ou de l'appui conseil, **ils financent rarement les coûts de fonctionnement d'un système**. Ces coûts doivent donc être couverts par les usagers à travers le tarif de l'eau. Fixer le prix de l'eau¹⁰ est donc l'une des étapes les plus cruciales dans la mise en œuvre d'un service d'accès à l'eau potable : elle doit être discutée, comprise et acceptée par tous les membres de la communauté dès le début du projet.

Dès la phase de conception d'un projet (étude de faisabilité), il convient de vérifier que le tarif puisse à la fois assurer **la viabilité financière du service**, tout en représentant une **part soutenable du budget des ménages**. Pour garantir un accès à l'eau pour tous, les contributions des familles les plus démunies doivent être discutées au sein de la communauté.

Tableau : Que comprend le prix de l'eau payé par les usagers ? L'exemple de l'AEP solaire de Koréra-Koré, région de Kayes, Mali. (Source Essonne-Sahel)

Montants associés (en FCFA/m ³)	
Prix de vente de l'eau	400
Total des coûts de production	270
Salaires, indemnités	48
Gestion	12
Energie (gasoil, consommables)	0
Divers entretien	11
Suivi technique et financier	22
Impayés, ristournes	70
Amort. Maintenance. Entretien générateur solaire	48
Amortissement pompe (50 000 m ³)	32
Contrat de maintenance pompe	27

10. Sur les modalités de définition d'un tarif de l'eau, voir également le guide méthodologique « Développer les services d'eau potable, 18 questions pour agir. »

Témoignage de Romain Desvalois, ONG SEVES :

« En réalisant les comptes d'exploitation de 5 à 7 ans, une tentation de proposer un prix de l'eau faible en pompage solaire est logique en comparaison avec les coûts d'un service thermique. Toutefois, il convient de réaliser une analyse de l'évolution potentielle de la demande en eau et des besoins, les systèmes solaires ont une capacité de pompage limitée par la durée de pompage, la capacité du forage et la capacité de stockage du château d'eau. Il est souvent nécessaire de prévoir de passer le système en pompage mixte à 3, 5, 7 ou 10 ans, ce qui signifie des investissements (groupe électrogène, etc.), une augmentation des charges d'exploitation (carburant, entretien, etc.), et donc une augmentation du prix de revient du m³ d'eau. Cette question doit être traitée au préalable avec les parties prenantes : fixer un prix de service faible mais prévoir de le rehausser d'ici quelques années (peu aisé socialement), ou anticiper et prévoir un prix d'équilibre à 10 ans par exemple ? La réflexion tarifaire avec une création ou une solarisation d'un système permet aussi d'aborder la question du financement du renouvellement et de l'extension du patrimoine hydraulique, souvent difficile en pompage thermique en milieu rural et semi-urbain ».





Une épargne indispensable, qu'il convient de sécuriser

Pour la gestion des AEP solaires, en l'absence de réparations fréquentes et de besoins d'achat du carburant, les habitudes en matière de **gestion courante des fonds** peuvent se perdre lorsqu'il s'agit de sécuriser des montants sur de longues périodes (plusieurs années). Tandis que l'épargne (provision pour amortissement) liée au paiement de l'eau va s'accumuler, des choix de court terme, ou peu transparents, peuvent alors être réalisés par l'entité en charge de la gestion. Certaines solutions éprouvées (comme la double signature du président du comité de gestion et du trésorier de l'association) permettent de **limiter les risques** en termes de gestion des petits services d'eau, mais demandent une réflexion en amont en fonction du cadre sectoriel et des rapports de pouvoir au niveau local, afin de **mettre en place une régulation efficace de la gestion des fonds**. Ainsi, deux signataires du bureau du comité, ou un maire et un exploitant peuvent tout à fait s'arranger pour réaliser des sorties de fonds irrégulières (surfacturation et rétro commissions, dépenses sans rapport avec le Service Public de l'Eau (SPE)).

À l'inverse une trop forte tendance à la « sécurisation » de l'épargne peut amener à **une forme de thésaurisation**, alors qu'un quartier de la localité n'est pas raccordé au réseau, ou que le réseau se dégrade et les fuites sont importantes. **Dans les deux cas, la mise en place d'un suivi technique et financier rigoureux (voir partie suivante), facilite cette sécurisation de l'épargne.**

Le passage à une certaine échelle de gestion et de gouvernance des services permet de renforcer le matelas de sécurité des fonds de renouvellement par la mutualisation des redevances de plusieurs systèmes, cela facilite le renforcement des procédures et la professionnalisation du pilotage des fonds.



Retour d'expérience, ONG SEVES :

En matière de sécurisation de l'épargne, plusieurs dispositifs ont pu être mis en place par les acteurs locaux avec l'appui de l'ONG SEVES :

- **Au Burundi**, la régie communale de l'eau (RCE) de Kirundo, association fédérant les organisations et comités d'usagers gérant le patrimoine hydraulique pour le compte de la commune maître d'ouvrage, a mis en place un fond de renouvellement unique pour ses différents réseaux d'eau potable. La sortie de liquidités du fond de renouvellement demande au niveau de la banque 3 signatures : (1) l'élu communal responsable de l'eau, (2) le président de la RCE, et (3) le représentant local de l'Agence burundaise de l'hydraulique et de l'assainissement en milieu rural (AHAMR).
- **Au Niger**, dans le cadre de délégations de service public entre la commune et des opérateurs privés, chacune des quatre communes du Canton de Kanembakaché (environ 45 Mini-AEP) dans la région Maradi a décidé de mettre en place un fonds de renouvellement communal unique sur lequel chaque délégataire verse les redevances de renouvellement. Le service technique intercommunal prépare la demande d'au moins 3 devis qui sont analysés en commission, avec si nécessaire avis de la structure d'appui conseil au service public de l'eau (SAC/SPE), équivalent du STEFI. La facture doit généralement être validée par le directeur départemental de l'hydraulique et de l'assainissement (DDH/A), la sortie de fonds est quant à elle signée à la banque par le maire et le président de la fédération communale des associations des usagers. Les investissements sont ensuite listés ex-post dans les rapports de la structure d'appui conseil au service public de l'eau (SAC/SPE), équivalent du STEFI, et les rapports sont transmis à la commune et à la préfecture.



L'importance du suivi technique et financier

Le suivi des services de l'eau consiste à collecter et analyser des données qui peuvent être de nature très variable : données techniques, économiques, financières, organisationnelles, institutionnelles etc. en vue de pérenniser un service de qualité.

Le suivi vise à apprécier la qualité du service sur la base de critères objectifs et rigoureux, liés à l'exploitation du service. Il a pour objectif d'identifier (voire d'anticiper) les dysfonctionnements, et de proposer des mesures correctives, permettant ainsi d'augmenter la qualité et la durabilité des services d'eau.

Le suivi technique et financier (quelle que soit sa forme juridique) des services permet notamment :

- **D'identifier des dépenses inéligibles ou d'éventuelles surfacturations** ;
- **D'identifier la capacité de renouvellement des équipements** au regard de leur taux d'usure actualisé et des fonds disponibles ;
- **D'émettre des recommandations** pour redresser la situation des comptes, de réaliser des investissements si des excédents sont constatés, ou encore de baisser le prix de l'eau.

Ces règles doivent être écrites, comprises et admises par toutes les personnes et entités en charge de la gestion du service de l'eau. Il peut s'agir de procédures préalables au décaissement (pertinence de l'investissement, spécifications, coût, modalités de mise en concurrence, plusieurs signatures au niveau de la banque pour procéder au décaissement), et de modalités d'audit et de contrôle après l'investissement.

Un grand nombre de partenaires techniques et financiers non gouvernementaux apprécient ce suivi technique et financier, gage de transparence et de bonne gestion.

Il est cependant observé que les petites adductions solaires sont rarement intégrées dans les dispositifs « nationaux » de suivi. C'est pourquoi, dans de nombreux cas, ce sont les opérateurs de projets qui proposent des outils et indicateurs de suivi simplifiés pour renseigner usagers, maîtres d'ouvrage, commanditaires et partenaires extérieurs à l'origine de la création des équipements.



Retour experience, Boubacar Macina, AGED2AEP :

Au Mali, depuis 2004, le suivi technique et financier (STEFI) est assuré par 5 opérateurs dont 4 sont fonctionnels (Groupe AGED2AEP pour la région de Kayes, GCSAEP pour le district de Bamako et la région de Koulikoro, Igip Afrique pour la région de Ségou et Sikasso, et SID pour la région de Mopti), ces derniers ont été recrutés sur appel d'offres pour des zones d'intervention spécifiques spécifiées. Il concerne plus de 150 systèmes d'AEP et il est en principe obligatoire. Le suivi, assuré par semestre, comprend une visite des équipements, un examen des outils de gestion et fait l'objet d'un rapport et d'une restitution associant l'équipe d'exploitation, les usagers, les représentants de la commune (maitre d'ouvrage) et des services déconcentrés de l'Etat. Ce dispositif, financé par la vente de l'eau (coût environ 20 FCFA/m³ produit) est pérenne et a démontré sa fiabilité.

Certains opérateurs rencontrent toutefois des difficultés, dans la réalisation de leurs missions en raison notamment de faibles niveaux de consommation, ou encore d'adhésion au dispositif non suffisante.



L'information - communication : savoir expliquer les spécificités du solaire

De par ses spécificités, le solaire, plus encore que les autres solutions d'énergie utilisées pour l'adduction d'eau potable, nécessite un effort d'explication et de communication à destination des populations. Les choix

techniques mais surtout le prix du service d'adduction d'eau potable doit être présenté et justifié à l'ensemble des usagers.



5. Des synergies à étudier

Dans un village, la réalisation d'un projet de pompage solaire alimentant un château d'eau et quelques bornes fontaines, est en soi un schéma robuste, fiable et peu coûteux au regard des besoins et des enjeux sanitaires liés à l'accès à une eau de qualité. La longévité et la baisse continue du coût des panneaux photovoltaïques ne font que renforcer la compétitivité du pompage solaire par rapport à des solutions concurrentes reposant sur des combustibles fossiles.

La réalisation d'une petite centrale solaire pour alimenter un pompage peut aussi être mutualisée avec d'autres besoins, et servir à électrifier un centre de soins (pour conserver des vaccins ou réaliser des accouchements la nuit), une école, alimenter une station de recharge de batteries et de téléphones portables, ou permettre l'accès à des services partagés (réfrigérateurs, accès internet, multimédias...). Ceci donne à l'installation solaire un périmètre d'usage propre à renforcer l'activité d'un opérateur local, et à générer des ressources pour pérenniser les équipements les plus sensibles. À l'inverse, en amont de l'installation d'une AEP solaire, il peut être intéressant d'identifier d'éventuels opérateurs de mini-réseaux solaires pour encourager à la mutualisation des services : les montants d'investissement nécessaire au raccordement d'AEP sur un réseau solaire préexistant étant bien moindre que la mise en place d'un projet d'accès aux services électriques.

Concevoir un projet intégré Eau/Énergie/Services permet de répondre à une gamme plus complète de besoins essentiels et, si le dimensionnement le permet, d'anticiper l'évolution des besoins/usages des populations locales. Cependant, monter un projet intégré

ajoute des difficultés supplémentaires qui doivent être levées :

➤ **Comprendre les besoins en services énergétiques** : concevoir une solution de production d'énergie autonome implique de connaître la planification de l'accès à l'énergie dans le pays. Il est pour cela nécessaire d'identifier et de consulter les agences d'électrification rurales ou les directions dédiées au ministère de l'énergie pour identifier les projets de développement du réseau national et/ou les projets d'électrification rural en cours. Il y a le plus souvent un cadre institutionnel et réglementaire différent pour l'eau et pour l'électricité : les modalités de gestion et d'exploitation de chacun des services ne sont pas toujours compatibles. Le recours à un système autonome apportera une énergie de qualité et fiable à condition qu'il soit de qualité et bien géré. Dans le cadre d'un projet de coopération ou de solidarité, il faut veiller à ne pas entrer en concurrence avec des activités existantes et bien comprendre les usages existants afin de déterminer les besoins qui peuvent raisonnablement être couverts.

➤ **Dimensionner l'installation électrique et ses équipements** : penser un système en multi-usages va automatiquement augmenter la complexité du dimensionnement et de l'installation. Ainsi, dimensionner un kiosque de services énergétiques et d'adduction d'eau est un exercice complexe qui demande de l'ingénierie, d'autant plus que la majorité des consommations réelles des équipements sont supérieures, au démarrage, à ce qui est indiqué sur les notices techniques et correspondant à l'énergie nécessaire une fois l'appareil en marche (jusqu'à 4 fois plus pour les équipements de froid). Une des

principales contraintes à l'ajout de services supplémentaires est la nécessité d'avoir des batteries supplémentaires, qui représentent une part importante des dépenses d'investissement de capital (CAPEX) et pouvant rendre l'équilibre économique du système encore plus fragile.

➤ **Choisir un emplacement accessible** : Le choix de l'emplacement d'un lieu de service est déterminant pour la pérennité de ce dernier. En multi-usages, il faut alors combiner les besoins, usages et contraintes de l'approvisionnement en eau et en électricité. Il est très important de consulter l'ensemble des parties prenantes de la localité pour choisir cet endroit s'il n'est pas lié à une institution existante (école, centre de santé...). La question foncière et son coût doivent être compris en amont pour s'éviter des désagréments ultérieurs : si le terrain est public, il est en principe règlementé par le paiement d'une patente ou taxe sur l'emprise publique, s'il est privé, il peut s'avérer nécessaire de payer un loyer. Parfois, l'emplacement du forage (et du pompage) est éloigné des clients en services énergétiques : un réseau basse tension peut être construit, et les coûts et pertes techniques associées doivent être bien évalués. Il n'est pas toujours pertinent de combiner les deux.

➤ **Trouver les entreprises compétentes** : De même que pour les forages, on trouve des entreprises compétentes pour fournir des installations électriques solaires de qualité. Les mêmes recommandations que citées plus haut (partie 3.c) sont à prendre à compte.

➤ **Organiser le mode de gestion** : il est important d'anticiper la structure de gestion et la répartition de la valeur ajoutée et le profil du ou des gestionnaires (si la réglementation permet le fait d'avoir un seul gestionnaire d'eau et d'électricité). La tarification doit être définie avec les autorités locales et en fonction de la capacité à payer des usagers, tout en permettant une stabilité financière aux services mis en place : l'équilibre économique étant fragile.

➤ **Former aux usages et leurs limites** : une installation solaire autonome repose sur la maîtrise des usages de l'électricité et donc des équipements. La sensibilisation des usagers et la connaissance des pratiques est indispensable pour maîtriser les usages. A ce niveau, le rôle du gestionnaire est déterminant pour la durabilité de l'installation Eau/Energie.





Pour aller plus loin

Documentation

- **Éléments de décision technique concernant le choix des équipements d'un système de pompage solaire.** Jean-Pierre Mahé, Nicolas Livache, Benoit Vandewiele, 2018.
- **Le coût et la rentabilité de l'eau solaire : l'exemple du Mali.** Bernard Gay, pS-Eau, 1999.
- **Le guide méthodologique « Développer les services d'eau potable, 18 questions pour agir ».** pS-Eau, 2014.
- **L'énergie, moteur du développement durable.** Ademe, EDF, 2007 (vidéo 13 mn).
- **Le photovoltaïque et les services d'eau potable en Afrique de l'Ouest : synthèse, défis et recommandations.** Document de synthèse, mars 2018, pS-Eau.
- **Le pompage solaire appliqué aux adductions d'eau potable en milieu rural, manuel de formation.** Pratica Foundation, 2017.
- **Le pompage solaire pour l'approvisionnement en eau : exploiter l'énergie solaire dans le contexte de l'action humanitaire et du développement.** Asenath W. Kiprono et Alberto Ibáñez Llario, Pratical Action, 2021.
- **Les services d'eau et d'assainissement face au changement climatique : quels impacts ? comment agir ?** pS-Eau, 2018.
- **Systèmes d'adduction d'eau par l'énergie solaire : guide de conception et d'installation.** Water Mission, Unicef, 2020.
- **Technologies européennes du pompage solaire photovoltaïque.** Fondation Énergies pour le Monde : Bonneviot H., Courrillon M., Maigne Y., 2004.

Sites web

- **Atlas des projets eau et assainissement :** https://www.pseau.org/outils/actions/action_atlas.php
- **Bibliothèque du pS-Eau en ligne :** www.pseau.org/outils/biblio
- **Centre de ressources photovoltaïque, ADEME :** <https://www.photovoltaique.info/fr/preparer-un-projet/quelles-demarches-realiser/choisir-son-modele-economique/>.
- **Énergie et changement climatique :** <https://librairie.ademe.fr/2886-changement-climatique-et-energie>
- **Observatoire des énergies renouvelables :** www.energies-renouvelables.org
- **Pédag'Eau - base de données des outils pédagogiques :** <http://www.pedag-eau.org/>
- **Solargis - plates-forme recensant des données météorologiques et logiciels pour faciliter les investissements dans l'énergie solaire :** <https://solargis.com/>



programme
Solidarité-Eau

Le **programme Solidarité-Eau** est un réseau multi-acteurs français qui s'engage pour garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement, en préservant les ressources en eau et en accord avec les cibles de l'ODD 6. Privilégiant le soutien aux acteurs locaux, il permet les échanges et organise la concertation entre les acteurs de la coopération décentralisée et non gouvernementale depuis près de 40 ans. Présent en France et à l'étranger avec des points focaux dans les pays de concentration de l'aide française, il produit de la connaissance, accompagne les initiatives locales et promeut la solidarité pour l'eau et l'assainissement. Ses activités, animées par une équipe aux compétences multiples, visent à augmenter le nombre et la qualité des actions de coopération. Il est soutenu par l'Agence Française de Développement, le Ministère de l'Europe et des Affaires Étrangères, l'Office Français pour la Biodiversité, les agences de l'eau et de nombreuses collectivités territoriales françaises.

Plus d'information : www.pseau.org

Contact : pseau@pseau.org



Le **réseau Cicle** est le réseau français traitant des problématiques relatives à l'accès aux services énergétiques, en référence à l'ODD7. Il offre à l'ensemble des acteurs impliqués dans la solidarité internationale dans les domaines de l'énergie et du climat, un espace de dialogue et d'échange.

Le réseau Cicle se donne pour mission de promouvoir, faciliter et accompagner les actions de coopération internationale ayant pour finalité l'amélioration des conditions de vie des populations bénéficiaires et la protection de l'environnement naturel, en donnant une priorité aux actions de coopération décentralisée des collectivités territoriales.

Créé en 2015, ce réseau multi-acteurs travaille pour une meilleure intégration de ces problématiques au profit des populations les plus vulnérables. Devenu en 2020 un programme du pS-Eau, le réseau Cicle dispose de son propre comité de pilotage et d'une équipe d'animation, basée France. Il est soutenu par l'ADEME, le Ministère de l'Europe et des Affaires Étrangères et l'Agence Française de Développement.

Plus d'informations : www.reseau-cicle.org

Contact : clement.lugagne@reseau-cicle.org

Le pompage solaire, des repères pour l'action : options techniques et retours d'expériences.

Les préoccupations dictées par les enjeux de développement durable, et le souci de maîtriser les coûts d'exploitation incitent à étudier de près le recours à l'énergie solaire pour le développement des services d'eau potable, mais aussi plus largement pour l'accès aux services énergétiques.

La technologie du photovoltaïque a énormément évolué ces dernières années tant en termes de performance énergétique que de réduction des coûts d'investissement et d'exploitation. Les technologies sont mieux connues, mieux adaptées et plus répandues, notamment en Afrique subsaharienne.

Les expériences terrains et l'évolution des technologies permettent aujourd'hui de combiner les technologies pour répondre aux différents enjeux et permettre la mise en place de services plus viables et plus pérennes.

Ainsi, les enseignements issus de ces projets sont précieux à connaître et à diffuser, c'est pourquoi le Programme Solidarité Eau vous propose ce guide actualisé, outil d'aide à la compréhension des enjeux dans le cadre du recours à l'énergie solaire dans les projets de solidarité pour l'accès à l'eau.

Accédez à la version numérique en scannant le QR code.

Pour plus d'informations :
www.pseau.org/fr/recherche-developpement/production/pompage-solaire

