



Guide technique

sur l'électrification des établissements
de santé en milieu rural

Mentions légales

Auteur

Dipl.-Ing. Salia KONATE, MSc (Cabinet ENERDON-Energy Consulting), Consultant International en Systèmes des Energies Renouvelables. Mars 2025.

Coordination technique

- **Alliance for Rural Electrification** : Inès van Oldeneel, Chargée de développement d'affaires et de marchés
- **ADEME** : Iris Nicomedi, experte internationale, Direction Europe et International

Editeur

Alliance for Rural Electrification : Jens Jaeger, Directeur Politique & développement d'affaires

Étude réalisée pour l'Alliance for Rural Electrification et soutenue par l'ADEME.

Déclinaison de responsabilité

Les analyses et conclusions de ce document sont formulées sous la responsabilité de son auteur. Elles ne reflètent pas nécessairement les points de vue de l'ARE et de l'ADEME.

Tous les efforts ont été faits pour que les informations données dans ce document soient exactes. Cependant, aucune responsabilité légale ne peut être acceptée par l'ARE, l'ADEME ou l'auteur pour toute erreur ou omission.

Table des matières

Mentions légales	2	réalisation du présent guide	16
Auteur	2	3. Echange d'expérience entre les acteurs du projet et définition des objectifs du système solaire	17
Coordination technique	2	3.1 Nécessité de l'engagement d'un professionnel (consultant-conseil) et rôle	17
Editeurs	2	3.2 Définition de l'objectif principal du système solaire à réaliser	18
Déclinaison de responsabilité	2	3.3 Préparation des bénéficiaires aux exigences d'un système solaire pv	19
Table des matières	3	3.4 Prise en compte ou non des logements du personnel soignant	20
Liste des figures	5	4. Catégorie d'établissements de santé et leur aptitude à l'alimentation solaire pv	21
Liste des tableaux	5	5. Catégories et composants de base de systèmes solaires d'alimentation électrique d'établissements de santé	23
Liste des sigles et abréviation	6	5.1 Catégories de systèmes solaires d'alimentation d'établissements sanitaires	23
Liste des unités électriques utilisées	7	5.1.1 Les systèmes solaires autonomes (off-grid backup)	23
Avant propos	8	5.1.2 Les systèmes pv hybrides avec stockage d'énergie (on-grid backup)	24
À propos de l'auteur :	8	5.1.3 Les systèmes pv d'autoconsommation ou à injection directe (on-grid)	25
Resumé	9	6. Dimensionnement d'un système solaire autonome / hybride	27
1.1 Résumé des acteurs d'un projet de réalisation d'un système solaire d'électrification d'établissements de santé et de leurs rôles respectifs	9	6.1 L'estimation des besoins électriques d'un établissement de santé	27
1.2 Résumé des recommandations clés à observer dans le processus d'électrification solaire d'établissement sanitaire	11	6.2 Le dimensionnement de systèmes solaires	29
2. Introduction	14		
2.1 Objectifs et champ d'application du présent guide technique	14		
2.2 Problématique de l'électricité dans les établissements de santé en milieu rural d'Afrique subsaharienne	14		
2.3 Opportunités de l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque	15		
2.4 Approche méthodologique de			

6.2.1 Calcul de la puissance de sortie de l'onduleur (convertisseur)	29	9. Maintenance des systèmes solaires photovoltaïques	48
6.2.2 Calcul de la quantité journalière d'énergie à produire par les panneaux solaires	30	9.1 La nécessité de la maintenance en milieu africain	48
6.2.3 Calcul de la puissance du champ solaire PV	32	9.2 Les travaux de maintenance primaire	49
6.2.4 Calcul de la capacité de stockage du parc batterie	34	9.3 Les travaux de maintenance secondaire	49
7. Modèles de financement de systèmes solaires	38	9.4 La nécessité de confier la maintenance à un prestataire professionnel	50
7.1 Le financement direct par les structures étatiques locales	38	10. Possibilités d'optimisation des systèmes solaires	51
7.2 Le financement par l'état et ses PTFS	38	10.1 La gestion automatique des sources	51
7.3 Le financement par subvention (DON) de partenaires directs des bénéficiaires	39	10.2 La gestion automatique des charges (économie d'énergie)	52
7.4 Le modèle de financement basé sur un PPP	39	10.3 Le contrôle de la consommation électrique des logements du personnel	52
8. Processus de livraison, d'installation et de mise en marche du système solaire	41	10.4 La désignation d'un monsieur ou d'une madame énergie au sein de l'établissement sanitaire	52
8.1 La nécessité de l'accompagnement d'un consultant / conseil	41	11. Conclusion	54
8.2 La livraison, l'installation et la mise en service du système solaire	42	12. Bibliographie	55
8.3 Le contrôle-qualité des composants et des travaux d'installation	43		
8.4 Formation des utilisateurs du système solaire	44		
8.5 Le service-après-vente (SAV) de système solaire	45		

Liste des figures

Figure 1	17	Figure 4	28
Irradiation horizontale globale en Afrique subsaharienne (Global Solar Atlas 2.0, 2020).		Schéma de base d'un système solaire d'autoconsommation (On-Grid) (dessin Salia KONATE, 2023)	
Figure 2	26	Figure 5	37
Schéma simplifié d'un système solaire d'alimentation de consommateurs DC (image gauche) et AC (image droite) (dessin Salia KONATE, 2023). 25		Illustration de la profondeur de décharge (DoD) et de l'état de charge (SoC) d'une batterie (SOLARIS STORE, 2025)	
Figure 3	27	Figure 6	37
Schéma de base d'un système solaire hybride (On-Grid Backup) d'alimentation d'un laboratoire d'analyse médicale (étude Salia KONATE, 2022).		Illustration de la durée de vie (nombre de cycles de charge/décharge) des batteries à plomb et lithium en fonction du taux journalier de décharge (DoD) (Powertech Systems, 2025).	

Liste des tableaux

Tableau 1	30
Exemple d'estimation des besoins d'une maternité pour son alimentation autonome au solaire (données étude de faisabilité Salia KONATE, 2021)	

LISTE DES SIGLES ET ABBREVIATION

AC Courant alternatif (Alternating current)

ADEME Agence française de la transition écologique

AGM Absorbent Glass Mat (type de batterie à plomb)

AIE Agence Internationale de l'Énergie

ARE Alliance pour l'Électrification Rurale

BM Banque Mondiale

BMS / BMU Battery Manager System / Battery Manager Unit

CEI Commission Electrotechnique Internationale

CSR Centre de Santé Rural

DAO Dossier d'Appel d'Offre

DC Courant continu (Direct current)

DoD Depth of Discharge - Taux de décharge d'une batterie ou d'un accumulateur d'énergie

ERD Energies Renouvelables Décentralisées

GES Groupe électrogène de secours

LiCoO₂ Dioxyde de Cobalt de Lithium (type de batterie au lithium)

LiFePO₄ (ou LFP) Lithium Fer Phosphate (type de batterie au lithium)

LiMn₂Co₄ Lithium Manganèse Cobalt (type de batterie au lithium)

MPPT Maximum Power Point Tracking (modèle de régulateur de charge batteries)

Off-Grid / On-Grid Zone non couverte (Off-Grid) ou couverte (On-Grid) par le réseau électrique (publique)

OMS Organisation Mondiale de la Santé

ONG Organisation Non-Gouvernementale

OOAS Organisation Ouest-Africaine de Santé

OPzS Ortsfeste Panzerplatte Spezial (en allemand) - batterie spéciale à plaque de

blindage fixe (un type de batterie à plomb avec nécessité de maintenance)

OPzV Ortsfeste Panzerplatte Verschlossen (en allemand) - batterie fermée à plaque spéciale à blindage fixe (un type de batterie à plomb sans nécessité de maintenance)

SAV Service-Après-Vente

SoC State of Charge - état de charge (d'une batterie)

UIGS-1P-3S Unité Intelligente de Gestion de charges électriques, 1 pôle avec possibilité de gestion de 3 sources.

UIGS-1P-3S Unité Intelligente de Gestion de charges électriques, 3 pôles avec possibilité de gestion de 3 sources.

UV Rayons Ultra-Violets

PPP Partenariat Public Privé

PTF Partenaire Technique et Financier

PV Photovoltaïque

PVM Pulse With Modulation (modèle de régulateur de charge batteries)

LISTE DES UNITÉS ELECTRIQUES UTILISÉES

A Ampère unité de mesure du courant (intensité) électrique

Vac Volt (de courant alternatif) unité de mesure de la tension électrique

Vdc Volt (de courant continu) unité de mesure de la tension électrique

VA / kVA Voltampère / kilovoltampère unités de mesure de la puissance apparente

fournie par source électrique ou consommée par un consommateur électrique

W / kW Watt / kilowatt unités de mesure de la puissance effective fournie par source électrique ou consommée par un consommateur électrique

Wc / kWc Watt crête / kilowatt crête unités de mesure de la puissance (nominale) électrique que peut fournir un panneau solaire ou un groupe de panneaux solaires dans les conditions idéales, c'est-à-dire les Conditions Standards de Test (STC).

Wh / kWh Wattheure / kilowattheure capacité de stockage ou quantité d'énergie que peut fournir une batterie ou un accumulateur pendant un temps donné ; ou quantité d'énergie que peut produire un panneau solaire ou un groupe de panneaux solaires pendant un temps donné ; ou quantité d'énergie que peut consommer un (ou des) consommateur(s) électrique(s) pendant un temps donné.

AVANT PROPOS

Ce guide technique a été initié par l'Alliance pour l'Electrification Rurale (ARE) et sa réalisation a été financée par l'ADEME dans le cadre de leurs missions et activités respectives pour la transition énergétique en générale et l'utilisation des énergies renouvelables en Afrique subsaharienne en particulier.

L'Alliance pour l'Electrification Rurale (ARE) est l'association internationale de l'industrie représentant 200 membres tout au long de la chaîne de valeur des énergies renouvelables décentralisées. Elle œuvre pour étendre l'accès durable à l'électricité, créer des emplois et répondre au changement climatique en Afrique, en Asie-Pacifique et en Amérique latine. Avec plus de 15 ans, l'ARE permet d'améliorer l'accès à l'énergie grâce au développement commercial, au soutien politique et marketing de ses membres tout au long de la chaîne de valeur des technologies des ERD.

L'ADEME est un établissement public français placé sous la tutelle conjointe du Ministère de la Transition Ecologique, de l'Energie, du Climat et de la Prévention des Risques et du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. L'ADEME est résolument engagée dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources. Sur tous les fronts, l'ADEME mobilise les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnant les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - l'ADEME conseille, facilite et aide au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions. À tous les niveaux, l'ADEME met ses capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ARE et **L'ADEME** collaborent sur trois projets pour faire avancer la transition énergétique en Afrique subsaharienne. Ces projets comprennent :

1. une étude de marché sur les équipements pour les usages productifs alimentés par les énergies renouvelables au Cameroun, Bénin et à Madagascar,
2. une campagne de sensibilisation sur les avantages des équipements pour les usages productifs alimentés par les énergies renouvelables au Cameroun, Bénin et à Madagascar et
3. la rédaction du présent guide technique sur l'électrification au solaire photovoltaïque des établissements de santé en milieu rural d'Afrique subsaharienne.

À propos de l'auteur :

Monsieur **Salia KONATE** est titulaire d'un Ingéniorat en « *Mécatronique et Développement de Systèmes de Précisions* » de l'Université de Sciences Appliquées FH Wiener Neustadt (Autriche) ainsi que d'un « *Master en Science des Energies Renouvelables* » de l'Université de Sciences Appliquées FH Technikum de Vienne (Autriche). Il a enseigné « *Les Concepts Energétiques* » de 2013 à 2019 à l'Université des Sciences Appliquées FH Technikum de Vienne (Autriche) et est aujourd'hui (mars 2025) Consultant en Systèmes des Energies Renouvelables et en Efficacité Energétique avec pour focus le Conseil des Institutions en politique énergétique, les études de faisabilité de projets d'énergie basés sur l'utilisation des sources renouvelables et l'assurance qualité de projets de réalisation de systèmes solaires photovoltaïques, principalement en Afrique.

1. RESUMÉ

Le présent guide, dont la réalisation a été initiée et financée par l'Alliance pour l'Electrification Rurale (association internationale) avec le soutien technique et financier de l'ADEME (Agence de la Transition Ecologique, établissement public français), est conçu pour servir de référence dans le développement de projets d'alimentation électrique d'établissements de santé en milieu rural subsaharien au moyen de l'énergie solaire photovoltaïque (PV).

Il a pour ambition de servir d'instrument pratique pour la prise de décision de la réalisation, la conception, le dimensionnement et l'installation de systèmes solaires d'alimentation d'établissements sanitaires (surtout en milieu rural) et s'adresse principalement aux :

- **décideurs** : à savoir les autorités nationales, régionales, départementales, communales et villageoises impliquées dans la mise en place et le fonctionnement d'établissements de santé en zone rurale d'Afrique subsaharienne. Ce guide vise à leur fournir toutes les informations permettant de comprendre le fonctionnement des systèmes solaires d'alimentation d'établissements de santé, et, par conséquent, de prendre des décisions en connaissance de cause permettant la réalisation de systèmes performants et durables.
- **bénéficiaires des systèmes solaires** : à savoir le personnel administratif et de soin des établissements de santé, ainsi que les structures locales (comités, associations et coopératives villageoises, etc.) impliquées dans le suivi de la gestion de ces établissements. L'objectif du guide pour ces personnes est de leur permettre de comprendre les systèmes solaires, leurs exigences et leur besoin en entretien et en financement pour la maintenance.
- **techniciens et prestataires de services d'énergie solaire** : il s'agit des concepteurs, planificateurs, fournisseurs, installateurs et maintenanciers des systèmes solaires d'alimentation des établissements de santé en milieu rural. L'objectif du guide pour ces professionnels est de servir de rappel sur le respect des normes, règles et mesures (pratiques) à appliquer pour la conception, la planification, l'installation et la maintenance des systèmes solaires.

Outre ces personnes ci-dessus citées, ce guide peut servir de base de réflexion et d'action à toute personne ou structure désirant comprendre le fonctionnement et les exigences d'un système solaire photovoltaïque.

1.1 Résumé des acteurs d'un projet de réalisation d'un système solaire d'électrification d'établissements de santé et de leurs rôles respectifs

Pour l'électrification solaire d'un établissement de santé en milieu rural d'Afrique subsaharienne, plusieurs acteurs sont nécessaires. Il s'agit principalement :

1. **des bénéficiaires (et futurs utilisateurs) du système solaire**, c'est-à-dire le personnel administratif et de soin de l'établissement à **électrifier**, les structures locales (autorités coutumières et religieuses, comités, associations et coopératives villageoises, etc.) impliquées dans la gestion de l'établissement de santé en question. **Leurs rôles** dans le projet consistent à : i) prendre l'initiative d'électrifier leur établissement de santé ; ii) approcher les autorités sanitaires compétentes et exposer les problèmes et difficultés de leur structure sanitaires liées au manque ou à l'insuffisance de l'électricité ; iii) rechercher des partenaires financiers et techniques pouvant les aider à la réalisation du projet.

2. **des décideurs**, c'est-à-dire le Ministère en charge de la santé et ses démembrés, les Autorités communales impliquées dans la gestion de l'établissement de santé, la structure décentralisée de gestion administrative et financière de l'établissement de santé en question. **Ils ont pour rôle** :
i) d'aider les futurs bénéficiaires à trouver des solutions (ou partenaires) techniques et financiers et de ii) faciliter le processus de prise de décision administrative pouvant permettre la réalisation rapide du projet.
3. **du conseil technique**, c'est à dire un Consultant individuel ou un Bureau d'Etude expérimenté en études de faisabilité de projets d'électrification solaire de structures sanitaires, en accompagnement / conseil des bénéficiaires et en suivi-contrôle qualité d'installations solaires. **Son rôle** dans le projet consiste à : i) accompagner et conseiller les bénéficiaires et décideurs tout le long du processus ; ii) analyser les besoins énergétiques et proposer (concevoir) au moins deux (2) options (optimale et minimale) de système solaire pouvant satisfaire aux besoins énergétiques de l'établissement de santé ; iii) accompagner (conseiller) les décideurs dans le choix de l'option de système solaire à réaliser ; iv) soutenir dans l'établissement du Dossier d'Appel d'Offre (DAO) ou de demande de prix, dans l'analyse des offres de potentielles entreprises réalisatrices et dans le choix de l'entreprise réalisatrice du système solaire ; v) s'assurer que les utilisateurs ont été convenablement formés par l'entreprise réalisatrice du système solaire et qu'ils peuvent exécuter les manœuvres nécessaires en cas de besoin et vi) accompagner les utilisateurs du système solaire pendant la période de garantie afin de situer les responsabilités en cas panne ou de dysfonctionnement pendant cette période.
4. **du (ou des) bailleur(s) du système solaire**, c'est-à-dire l'Etat (financement public), un(des) donateur(s) privé(s) (subvention) ou un investisseur privé (partenariat public-privé). **Leur rôle dans le projet** consiste à : i) assurer qu'une étude détaillée et complète de faisabilité soit faite ; ii) définir les conditions de financement et de durabilité du système solaire en projet ; iii) dans le cas d'un Partenariat Public-Privé (PPP), faire l'analyse de rentabilité économique du projet ; iv) assurer le financement du projet et v) veiller à ce que les clauses du contrat de financement soient respectées par toutes les parties.
5. **de l'entreprise de livraison et d'installation du système solaire**, c'est à dire une entreprise expérimentée en livraison, installation et maintenance de systèmes solaires photovoltaïques. **Son rôle dans le projet** consiste à : i) s'assurer de la faisabilité du projet (confirmer les prévisions du Conseil Technique ou proposer des améliorations) ; ii) livrer, installer et mettre en service le système solaire conformément aux exigences formulées dans le cahier des charges ; iii) former les utilisateurs du système solaire, les accompagner et les conseiller pendant au moins les 12 premiers mois suivant la mise en marche du système ; iv) assurer le service après-vente (SAV) et surtout les services liés à la garantie des composants et de l'installation ; v) proposer des solutions techniques aux problèmes rencontrés par les utilisateurs et permettant d'optimiser le système solaire et/ou d'augmenter sa rentabilité économique et sa durabilité.
6. **des maintenanciers du système solaire** : pour la **maintenance de niveau 1** (nettoyage des panneaux et des composants internes du système solaire), il s'agit de bénéficiaires/utilisateurs formellement formés au nettoyage du système solaire. Leur rôle consiste à : i) assurer le lavage régulier des panneaux solaires, le nettoyage externe des composants internes logés dans la salle technique (onduleur(s), régulateur(s), batteries et coffrets) et ii) observer le système solaire et reporter toute anomalie constatée à l'entreprise réalisatrice, au Conseil Technique ou à l'entreprise de maintenance de Niveau 2. Pour la **maintenance de niveau 2**, il s'agit d'une entreprise spécialisée dans l'installation et la maintenance de systèmes solaires. **Son rôle dans le projet** consiste à : i) faire au

moins une fois par an la révision générale du système solaire ; ii) vérifier le bon fonctionnement de tous les composants, ii) vérifier que le système fonctionne conformément à toutes les normes de sécurité des personnes et animaux.

1.2 Résumé des recommandations clés à observer dans le processus d'électrification solaire d'établissement sanitaire

Pour la réalisation de systèmes solaires durables et répondant aux besoins électriques des établissements de santé en milieu rural, il est recommandé de suivre les recommandations ci-dessous résumées. Il s'agit de :

1. **la nécessité d'être accompagné par un Conseil Technique** : il est nécessaire que le projet de réalisation du système solaire soit accompagné par un professionnel (Consultant individuel ou Bureau d'étude) compétant et expérimenté dans la réalisation de systèmes solaires PV autonomes et hybrides en milieu rural et aussi capable de communiquer directement et humblement avec tous les acteurs du projet. Aussi, dans la mesure du possible, il est conseillé que le même Consultant fasse l'étude de faisabilité (phase 1 du projet) et le suivi-contrôle qualité des travaux de livraison et d'installation du système solaire (phase 2).
2. **l'importance d'éviter l'approche simpliste de demande de « devis »** : même en présence d'un budget de financement, l'approche qui consiste à demander simplement un « devis » ou une « facture pro-forma » à une entreprise prestataire de services d'énergie solaire, et à prendre unilatéralement la décision de réaliser un système solaire sur la base de ce seul devis ou de cette seule facture pro-forma et sans suivre globalement les étapes décrites dans ce guide, conduit généralement au fiasco, surtout quand les aspects de corruption ou de favoritisme s'y mêlent.
3. **la définition de l'objectif principal du système solaire** : il est d'une importance capitale que l'objectif principal et les objectifs secondaires visés avec le système solaire en projet soient clairement définis par les acteurs du projet et acceptés par tous dès le départ. Des objectifs mal définis et/ou mal compris par certains acteurs du projet sont souvent cause d'incompréhensions et d'insatisfaction après la réalisation du système solaire.
4. **la préparation des bénéficiaires / utilisateurs** : il est nécessaire que les bénéficiaires et utilisateurs du système solaire en projet soient préparés à comprendre comment leur système fonctionnera, son utilisation et aussi la nécessité d'entretien et éventuellement à l'assurer ou à payer un prestataire de services pour le faire.
5. **la nécessité de prendre en compte l'alimentation des logements du personnel soignant et de contrôler (limiter) systématiquement leur consommation** : il est conseillé de prendre en compte l'alimentation des logements de fonction du personnel par le système solaire. Dans le cas d'une alimentation de ces logements par le système solaire (centrale), il est vivement recommandé de contrôler automatiquement la consommation de ces logements et, le cas échéant, de la limiter automatiquement. Des limiteurs de puissance peuvent jouer ce rôle. Si la décision de ne pas alimenter les logements est prise, il est d'une importance capitale qu'elle soit comprise et éventuellement acceptée par le personnel soignant. Dans le cas contraire, ils pourraient ne pas se sentir concernés par la bonne gestion du système solaire et/ou tirer (illégalement) le courant dans leurs logements afin d'alimenter leurs consommations privées (non prévues lors de la conception du système), ce qui conduirait à la surcharge et/ou au dysfonctionnement du système solaire.

6. **la nécessité de choisir un modèle de système solaire adapté aux besoins et aux objectifs de l'établissement de santé** : bien dimensionnés et installés, les systèmes solaires Off-Grid Backup sont les mieux indiqués pour l'alimentation en courant alternatif (AC) d'établissements de santé (de niveau 1 et 2) situés dans des zones hors réseau (off-grid). Pour les établissements de santé ayant déjà une connexion au réseau électrique, les systèmes solaires hybrides (On-Grid Backup) sont les mieux indiqués.
7. **l'importance de choisir un modèle de financement adapté aux capacités financières de l'établissement et/ou des bénéficiaires** : pour permettre la réalisation d'un système solaire durable, le modèle de financement choisi doit prendre en compte non seulement l'investissement de base du système solaire, mais aussi le financement de sa maintenance. Comparé aux autres modèles de financement décrits dans le présent guide, le modèle basé sur un Partenariat Public-Privé (PPP) de financement d'un système solaire, aussi appelé mécanisme de compensation, a le plus grand potentiel à garantir un service énergétique optimal et durable, vu que l'investisseur a le plus grand intérêt à ce que son système solaire fonctionne à la satisfaction totale de la structure sanitaire et le plus longtemps possible.
8. **la nécessité de respecter les délais de livraison et d'installation définis dans le contrat de réalisation** : il est important que tous les acteurs travaillent au respect des délais de livraison et d'installation conclus. Si ces délais ne sont pas respectés, il peut arriver que certains modèles de composants du système solaire dont les caractéristiques ont été définies dans le Cahier des Spécifications Techniques ne soient plus disponibles et qu'il faille les remplacer par de nouveaux modèles. Si ces nouveaux modèles ne sont pas correctement analysés (par l'entreprise réalisatrice et/ou le Consultant) pour s'assurer de leur compatibilité avec les autres composants, des dysfonctionnements du système solaire peuvent survenir après son installation. Situer les responsabilités d'un tel dysfonctionnement peut s'avérer difficile et leur réparation coûteuse, car l'entreprise réalisatrice et le concepteur du système solaire peuvent s'accuser mutuellement.
9. **le choix d'une bonne stratégie de suivi-contrôle qualité des travaux de livraison et d'installation par le consultant chargé du suivi-contrôle** : la stratégie de suivi-contrôle permettant d'obtenir les meilleurs résultats doit être décidée en fonction de la bonne foi et de la compétence de l'entreprise chargée de la réalisation. Pour une entreprise ayant une mauvaise foi et/ou pas suffisamment compétente, un suivi à pied d'œuvre est indispensable, c'est-à-dire la présence permanente d'un contrôleur sur le terrain pendant tous les travaux d'installation. En revanche, pour une entreprise de très bonne foi et compétente, des contrôles ponctuels suffisent.
10. **la nécessité d'une bonne formation des utilisateurs** : cette formation doit se faire dans une langue que les stagiaires comprennent correctement. Elle doit contenir une partie théorique (explications théoriques) et une partie pratique (démonstrations sur les appareils).
11. **la nécessité de bien définir le Service après-vente (SAV) attendu de l'entreprise fournisseuse du système solaire** : il est fortement recommandé que les services après-ventes attendus de l'entreprise de livraison et d'installation du système solaire soient clairement définis dans le contrat de réalisation. En plus de cela, des mesures doivent être prises pour obliger l'entreprise à fournir le SAV en cas de besoin. Certaines de ces mesures consistent généralement à demander des garanties bancaires aux entreprises ou à retenir un pourcentage du coût de réalisation du projet jusqu'à la fin de la période de garantie.

12. **la nécessité d'assurer une bonne maintenance du système solaire** : pour garantir un bon et durable fonctionnement du système solaire, il est important que sa maintenance de niveau 1 (nettoyage régulier des panneaux et des composants internes) et celle de niveau 2 (révision générale du système au moins une fois par an) soient assurés régulièrement. Si possible, il est recommandé de confier toutes ces maintenances (niveau 1 et 2) à une entreprise spécialisée en installation et maintenance de systèmes solaires dans le cadre d'un contrat annuel de maintenance.

13. **la nécessité de désigner un Monsieur Energie ou une Madame Energie** : pour éviter que les utilisateurs du système solaire (personnel de santé et visiteurs) adoptent des comportements qui pourraient être préjudiciables au bon et durable fonctionnement du système solaire, il est recommandé de nommer un Mr Energie ou une Mme Energie secondé(e) d'un(e) adjoint(e). Ces personnes auront pour rôle (entre autres) de prendre toute mesure pouvant permettre de suivre la bonne gestion de l'énergie par le personnel et les visiteurs et patients et d'assurer la bonne communication entre tous les acteurs du système solaire.

L'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque dans le monde en général et en Afrique en particulier a un grand potentiel pouvant permettre l'accès à l'électricité ou l'augmentation de la sécurité énergétique de bon nombre de structures et l'atteinte des objectifs climatiques que l'humanité s'est fixés. En effet, dû au très bon ensoleillement du continent africain, bien dimensionné et correctement installé avec des composants de bonne qualité, un système solaire PV d'alimentation de services en général et d'établissements sanitaires en particulier permet d'éliminer l'utilisation de groupes électrogènes de secours (et avec eux leurs coûts de fonctionnement et leur pollution).



©FRES

2. INTRODUCTION

Ce guide technique rassemble les informations pratiques permettant de faciliter la prise de décision de réalisation, la conception, le dimensionnement, l'installation et la gestion optimale et durable de systèmes solaires autonomes ou hybrides (solaire + réseau électrique) d'alimentation d'établissements de santé en milieu rural d'Afrique subsaharienne.

Il a été rédigé expressément en français facile pour faciliter sa compréhension par le plus grand nombre d'acteurs.

2.1 Objectifs et champ d'application du présent guide technique

Ce guide est conçu pour servir de référence dans le développement de projets d'alimentation électrique d'établissements de santé en milieu rurale subsaharienne au moyen de l'énergie solaire photovoltaïque (PV). Il s'adresse principalement aux :

- **Décideurs** : il s'agit des autorités nationales, régionales, départementales, communales et villageoises impliquées dans la mise en place et le fonctionnement d'établissements de santé en zones rurales d'Afrique subsaharienne. Son objectif pour ces décideurs est leur fournir toutes les informations permettant de comprendre le fonctionnement des systèmes solaires d'alimentation d'établissements de santé, et par conséquent, de prendre des décisions en connaissance de cause permettant la réalisation de systèmes solaires performants et durables pour l'alimentation efficace de ces établissements de santé.
- **Les bénéficiaires** : il s'agit du personnel administratif et de soin des établissements de santé, ainsi que des structures locales (comités, associations et coopératives villageoises, etc.) impliquées dans le suivi de la gestion de ces établissements. L'objectif du guide pour ces personnes est de leur permettre de comprendre les systèmes solaires, leurs exigences et leur besoin en entretien et en financement pour la maintenance.
- **Les techniciens et prestataires de services d'énergie solaire** : il s'agit des concepteurs, planificateurs, fournisseurs, installateurs et maintenanciers des systèmes solaires d'alimentation des établissements de santé en milieu rural. L'objectif du guide pour ces professionnels est de servir de rappel sur le respect des normes, règles et mesures (pratiques) à appliquer pour la conception, la planification, l'installation et la maintenance des systèmes solaires.

Outre ces personnes ci-dessus citées, ce guide peut servir de base de réflexion et d'action à toute personne ou structures désirant comprendre le fonctionnement et les exigences d'un système solaire photovoltaïque autonome ou hybride (solaire + réseau électrique).

2.2 Problématique de l'électricité dans les établissements de santé en milieu rurale d'Afrique subsaharienne

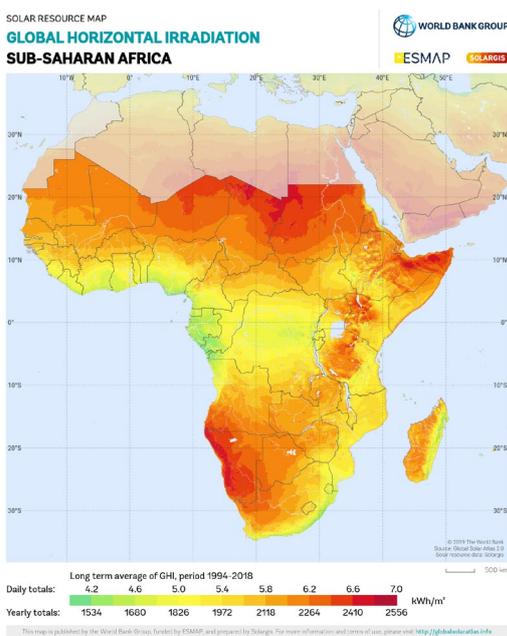
Selon les données de la Banque Mondiale, en 2021, seulement 51,6% de la population d'Afrique subsaharienne avait accès à l'électricité, avec cependant de grandes disparités entre les zones urbaines (80,7%) et rurales (30,4%), ainsi qu'entre les pays (WB-Data Bank, 2025). Aussi, dans de nombreux endroits où il y a un accès au réseau électrique, les coupures d'électricité et les délestages se produisent régulièrement.

L'Organisation Ouest Africaine de Santé (OOAS) estime que l'insuffisance d'accès à l'électricité en Afrique (de l'Ouest) a d'énormes impacts sur les services de santé (surtout en milieu rural). Ces impacts sont principalement liés au respect de la chaîne de froid pour les vaccins, les médicaments, les échantillons d'examen, etc. ainsi qu'à la qualité des services de santé tels que les accouchements et certains soins critiques, surtout pendant la nuit où l'insuffisance d'éclairage peut être un facteur aggravant. Les experts de l'OOAS précisent que dans les zones (rurales) où les structures sanitaires et le personnel de soin ont un accès suffisant et de qualité à l'électricité, on observe une nette amélioration de la quantité et de la qualité des soins offerts par les structures sanitaires, des conditions sanitaires de stockage des vaccins, médicaments et échantillons grâce à la réfrigération ainsi que l'amélioration des connaissances sanitaires du personnel de soin grâce à l'accès à l'information (médias, formation continue en ligne, etc.) (Dr Olivier Manigart, 2023).

Pour lutter contre les changements climatiques, permettre en même temps aux populations, écoles, hôpitaux et entreprises d'Afrique subsaharienne d'avoir accès à l'électricité, renforcer leur résilience face à la volatilité des prix et réduire les coûts énergétiques, la Banque Mondiale et l'Agence internationale de l'Énergie (AIE) recommandent le développement des énergies renouvelables à grande échelle et l'amélioration de l'efficacité énergétique (entre autres). Elles estiment en effet que les sources solaires et éoliennes d'Afrique subsaharienne sont abondantes et peuvent être compétitives et constituer des sources d'énergies fiables lorsqu'elles sont associées à un stockage sur batterie.

2.3 Opportunités de l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque

La technologie solaire photovoltaïque permet de transformer les rayons du soleil (appelés « photons ») en électricité et d'alimenter ainsi tout appareil conçu pour fonctionner à l'électricité, soit en courant continu (DC) ou en courant alternatif (AC). Le soleil constitue l'une des sources d'énergie primaire renouvelable les plus disponibles en Afrique. La carte ci-dessous présente une estimation du potentiel solaire en Afrique subsaharienne.



Ainsi, comme le montre la carte, chaque jour, le soleil « envoie » sur chaque mètre (m²) de la terre d'Afrique subsaharienne une énergie dont la quantité est comprise entre 4,2 et 7 kWh.

De nos jours, plusieurs facteurs militent pour l'utilisation de cette énergie pour la satisfaction des besoins électriques en général et en milieu rural (hors réseau) en particulier. Ces facteurs sont (liste non exhaustive) :

- la baisse progressive des coûts des composants solaires PV (panneaux solaires, régulateurs, onduleurs, batteries, etc.) ;
- la subvention (détaxe) d'une grande partie des composants solaires dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne ;
- la disponibilité sur les marchés nationaux d'une

Figure 1 : Irradiation horizontale globale en Afrique subsaharienne (Global Solar Atlas 2.0, 2020).

multitude de solutions (kits, lampes, torches, ventilateurs, radios, télévisions, vélos, motos, etc.) solaires à des prix (souvent) à portée des populations (y compris celles rurales) ;

- la maîtrise de la technologie solaire PV par de plus en plus de techniciens (y compris en milieu rural) ;
- l'augmentation progressive des prix des sources d'énergies fossiles (essences, gasoil, gaz, etc.) et la prise de conscience des effets négatifs (pollutions, risques de santé, dépendance énergétique, etc.) de leur utilisation.

Certes, le nombre relativement élevé d'expériences négatives vécues par certains utilisateurs de solutions solaires a occasionné des doutes dans les esprits de bon nombre de décideurs et/ou de bénéficiaires sur la maturité ou la capacité de la technologie solaire PV à constituer une alternative (sérieuse) à l'extension du réseau électrique ou aux groupes électrogènes pour l'électrification des établissements de santé en milieu rural. Cependant, l'augmentation exponentielle des systèmes solaires autonomes dans les zones hors réseau de toute l'Afrique constitue la preuve de la fiabilité de la technologie solaire PV et de son acceptabilité par la très grande majorité des populations, surtout celle en milieu hors réseau.

Il est à espérer que l'utilisation judicieuse du présent guide permette de réduire drastiquement les cas d'expériences ratées de systèmes solaires et d'alimentation d'établissements de santé.

2.4 Approche méthodologique de réalisation du présent guide

Le présent guide technique a été réalisé sur la base :

- d'échanges sur la problématique de l'accès à l'électricité (notamment en milieu rural) et les solutions solaires avec des responsables chargés de politiques de santé en Afrique subsaharienne ainsi qu'avec des bénéficiaires d'établissements de santé ;
- d'échanges avec des professionnels de l'énergie solaire sur les causes de certains échecs dans l'alimentation au solaire PV d'établissements de santé en Afrique subsaharienne ;
- de recherche d'informations sur l'état actuelle de la technologie solaire PV dans le monde en général et en Afrique Subsaharienne en particulier ;
- d'expériences vécues dans les missions de réalisation d'études de faisabilité (étude des besoins, conception, dimensionnement et estimation de coûts de réalisation) de projets d'alimentation d'établissements de santé, de services et de domiciles en Afrique subsaharienne ;
- d'expériences vécues dans les missions de direction de projets de réalisation de systèmes solaires PV d'alimentation autonome et hybride de services, d'établissements de santé et de domiciles en Afrique subsaharienne ;
- d'expériences vécues dans le suivi-contrôle qualité de composants et de travaux d'installation de systèmes solaires PV ainsi que dans le diagnostic de systèmes solaires défectueux en Afrique subsaharienne.

Ce guide est la synthèse de tous ces échanges, recherches et expériences.

3. Echange d'expérience entre les acteurs du projet et définition des objectifs du système solaire

En milieu rural en Afrique subsaharienne, les établissements de santé sont généralement des structures publiques dont la gestion implique un nombre important d'acteurs tels que les structures du ministère en charge de la santé, les autorités communales (mairie, préfecture, etc.), les structures locales privées (comités, associations, coopératives, etc.) de suivi et quelques fois les autorités coutumières et/ou religieuses (chef de village, chef de cantons, prêtre, pasteur, imam, etc.) du village. Par conséquent, tout projet de développement d'établissement de santé, s'il se veut durable, doit impérativement impliquer dès le départ (phase de conception) tous ces acteurs. Les projets d'alimentation électrique autonome d'établissements de santé en milieu rural n'échappent pas à cette règle.

3.1 Nécessité de l'engagement d'un professionnel (Consultant-Conseil) et rôle

Contrairement à certaines idées répandues en milieu africain tendant à faire croire que mettre du solaire revient juste à acheter quelques panneaux solaires et les faire installer par un technicien, un projet d'électrification d'établissement de santé (rurale ou urbaine) au solaire PV nécessite l'accompagnement d'un professionnel. Ce dernier peut être un Consultant individuel ou un bureau d'étude expérimenté en étude, conception, dimensionnement et suivi-contrôle qualité de systèmes solaires autonomes et hybrides, mais doit aussi avoir de bonnes connaissances sur l'Afrique rurale subsaharienne en général et en particulier du milieu où le système solaire en question doit être réalisé.

Le **rôle du Consultant** ou **du bureau d'étude** dans le projet de réalisation du système solaire consiste à :

1. étudier la faisabilité du projet : cela inclut l'analyse de la nécessité et l'acceptabilité du projet par les (responsables des) populations bénéficiaires et, dans le cas échéant, les aider à comprendre, à accepter et à accompagner activement le projet ;
2. étudier de manière détaillée les besoins électriques de l'établissement de santé en question, y compris ceux du personnel soignant ;
3. concevoir au moins deux (2) options (une option optimale et une minimale) de systèmes solaires d'alimentation de l'établissement de santé et, éventuellement, des logements du personnel soignant ;
4. mettre à la disposition des acteurs clés (financiers, décideurs et bénéficiaires) un rapport provisoire détaillé contenant au moins : i) la liste détaillée des consommateurs électriques pris en compte y compris les puissances consommées par ces consommateurs, ii) le modèle et les caractéristiques techniques détaillées et les durées de vie (théoriques) attendues des composants de chaque option de système solaire proposée ; iii) les estimations détaillées de coût de réalisation de chaque option de système solaire proposée ; iv) les exigences en entretien/maintenance des systèmes solaires proposés ;
5. présenter aux acteurs du projet (lors d'une réunion en présentiel) les options de systèmes solaires proposées et en expliquer les avantages et inconvénients. Dans la mesure du possible, cette présentation doit se faire sous forme d'échanges directes permettant au Consultant / Conseil de répondre aux questions des acteurs et de prendre en compte leurs préoccupations et propositions

dans l'amélioration des options finales de systèmes solaires proposés.

6. mettre à la disposition des acteurs (bailleurs, décideurs et bénéficiaires) le rapport final détaillé. Ce rapport doit (aussi) contenir des propositions concrètes de solutions aux préoccupations exprimées par les acteurs ;
7. accompagner éventuellement les décideurs dans la prise de décision sur l'option finale de système solaire à réaliser ;
8. accompagner les décideurs dans l'élaboration de la documentation d'appel d'offres (dossier d'appel d'offre, bordereaux de demande de prix, cahier des charges, etc.) pour la livraison, l'installation, la mise en service ainsi que la formation et le suivi-conseil des utilisateurs du système solaire ;
9. accompagner les décideurs dans l'analyse technique des offres proposées par les entreprises ayant répondu à l'appel d'offre ;
10. assurer le suivi-contrôle qualité des composants livrés, de leur installation et la mise en service ainsi que de la formation des utilisateurs ;
11. suivre le système solaire réalisé et situer les responsabilités en cas de panne d'un composant ou de l'installation pendant la période de garantie ;
12. et proposer aux bénéficiaires – à la fin de la période de garantie - une approche (plan) de gestion du système solaire permettant de garantir son bon fonctionnement et sa longévité.

Par conséquent, pour la réalisation d'un système solaire performant et durable, il est nécessaire que le projet soit accompagné par un professionnel (Consultant ou bureau d'étude) compétant et expérimenté dans la réalisation de systèmes solaires PV autonomes et hybrides (en milieu rural) et aussi capable de communiquer directement et humblement avec tous les acteurs du projet. Aussi, ce Consultant doit être au centre du projet et se sentir concerné par tous les aspects pratiques et fonctionnels du projet.

Généralement, en fonction de la taille, de la complexité et de la forme de financement, un projet de réalisation de système solaire d'alimentation autonome ou hybride d'établissement de santé en Afrique subsaharienne peut s'étendre sur plusieurs mois et, quelques fois, sur plusieurs années.

Pour des projets dont la durée de préparation (étude de faisabilité) et de réalisation (livraison et installation) du système solaire peut s'étendre sur plus de trois (3) ans, la consultance se fait généralement en deux phases séparées : la phase 1 inclut l'exécution des points 1) à 7) par le Consultant (voir liste ci-dessus), et en phase 2 l'exécution des points 8) à 12). Chacune de ces phases se fait sur la base d'un contrat séparé conclu entre le Consultant et les acteurs du projet.

3.2 Définition de l'objectif principal du système solaire à réaliser

Plusieurs raisons peuvent motiver les responsables et/ou bénéficiaires d'un établissement de santé à vouloir alimenter ce dernier à l'énergie solaire PV.

L'objectif principal peut être **sécuritaire** (l'augmentation de la sécurité énergétique par la réduction des risques de coupure d'électricité pendant des soins critiques) **ou économique** (la réduction du coût de la facture électrique et/ou du carburant consommé par un groupe électrogène de secours (GES)). En effet, la conception et le dimensionnement d'un système solaire (autonome, hybride ou d'autoconsommation – voir chapitre 4.1) est fortement fonction de l'objectif principal que ce système doit atteindre pendant son fonctionnement.

Si un système solaire a pour **objectif principal** l'assurance (ou l'augmentation) de la **sécurité énergétique**, si ce système est autonome, l'accent sera mis autant sur la capacité de production des panneaux solaires que sur celle du stockage des batteries. Cependant, si le système solaire est hybride (solaire + réseau électrique), l'accent sera plus mis sur la capacité de stockage des batteries et moins sur celle de production des panneaux solaires (sauf si une quantité minimum d'énergie à produire par jour par le solaire est demandée). Dans ce cas de figure, si le système hybride est bien réalisé et configuré à assurer le maximum de sécurité énergétique, il éliminera les coupures d'électricité dans l'établissement de santé, mais la réduction de la facture de l'énergie consommée du réseau peut-être moins perceptible. Par conséquent, si des acteurs du projet ne jugent ce système solaire que par le seul paramètre de la réduction de la facture d'électricité (sans considération pour l'absence de coupures d'électricité), il y a de forts risques que ces derniers jugent négativement ce système solaire, malgré l'atteinte de l'objectif principal fixé au départ, qui est l'assurance maximale de la sécurité énergétique.

De l'autre côté, si un système solaire est conçu avec pour objectif principal la **réduction de la facture énergétique**, par la réduction de l'électricité consommée du réseau électrique ou de la quantité de carburant consommé par le GES, l'accent sera plus mis sur la capacité de production des panneaux solaires par l'augmentation du nombre de panneaux et moins sur la capacité de stockage des batteries. Le système solaire peut même être installé sans batteries (système On-Grid) et donc sans autonomie. Si des acteurs du projet, mal informés sur les objectifs de départ, attendent que ce système solaire soit une alternative au réseau pendant les coupures d'électricité de ce dernier, il y a également de forts risques que ces acteurs se plaignent du « non-fonctionnement du système solaire en cas de coupure d'électricité », même si l'objectif principal de réduction de la facture énergétique est largement atteint.

Par conséquent, dans un projet de réalisation d'un système solaire PV d'alimentation autonome ou hybride (solaire + réseau électrique) d'une structure en général et d'établissements de santé en particulier, il est d'une importance capitale que l'objectif principal et les objectifs secondaires visés avec le système solaire en projet soient clairement définis par les acteurs du projet et acceptés par tous dès le départ. Des objectifs mal définis et/ou mal compris par certains acteurs du projet sont souvent cause d'incompréhensions, d'insatisfaction et même de conflits ou de plaintes après la réalisation du système solaire.

3.3 Préparation des bénéficiaires aux exigences d'un système solaire PV

Dans les pays d'Afrique subsaharienne ayant de longues saisons sèches, il est fréquent de rencontrer des bénéficiaires de systèmes solaires PV se plaindre du non-fonctionnement de leur système et de constater, au travers d'un diagnostic sommaire dudit système, que ce dysfonctionnement ou arrêt total n'a été causé que par le manque d'entretien et de maintenance.

En effet, comme tout système technique, un système solaire a besoin d'entretien et de maintenance.

Cet entretien (aussi appelé « *maintenance primaire* ») se résume au nettoyage des panneaux solaires et à celui (externe) des composants internes (régulateurs, onduleurs, batteries, coffrets, etc.).

Il est par conséquent nécessaire et important que les bénéficiaires et/ou utilisateurs d'un système solaire PV d'alimentation d'établissement sanitaire soient préparés à comprendre cette nécessité d'entretien du système solaire et éventuellement à l'assurer ou à payer un prestataire de service pour le faire.

3.4 Prise en compte ou non des logements du personnel soignant

Cette question se pose pour les projets de systèmes solaires d'alimentation d'établissements de santé (surtout ceux publics) en zone rurale hors réseau. Il est très important qu'elle trouve une réponse claire et acceptée par tous.

En effet, si la décision est prise que le système solaire en projet n'alimente que les bâtiments de soins (à l'exclusion des logements du personnel de soin), il est indispensable que le personnel de santé comprenne le bien-fondé de cette décision et l'accepte.

Si la décision de ne pas alimenter les logements du personnel de soin n'est pas acceptée et comprise par ces derniers, ils pourraient ne pas se sentir concernés par la bonne gestion du système solaire et/ou tirer (illégalement) le courant dans leurs logements afin d'alimenter leurs consommations privées (non prévues lors de la conception du système), ce qui conduirait à la surcharge et/ou au dysfonctionnement du système solaire, à l'insuffisance d'énergie pour les appareils de l'établissement de santé et à la détérioration prématurée du système solaire (surtout des batteries).



©Alexandra Lebon - Benin

4. Catégorie d'établissements de santé et leur aptitude à l'alimentation solaire pv

Selon les analyses de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), dans pratiquement tous les pays d'Afrique subsaharienne, le système de santé est organisé de manière pyramidale et principalement structuré en quatre niveaux (OMS, 2018).

- **Le niveau 1** : constitué des **dispensaires** de premiers soins pour les pathologies courantes, de soins de proximité et de santé maternelle. Ce type d'établissement de santé se rencontre généralement dans les villages et campements et, en fonction des pays, il n'est pas du tout connecté au réseau électrique ou alors il est connecté au réseau mais avec des coupures répétitives de courant et/ou des chutes de tension.

Les besoins électriques des établissements sanitaires de niveau 1 sont très limités, en plus de cela, ces établissements disposent très généralement de suffisamment de place pour la pose des panneaux solaires. Aussi, il est facile de trouver des personnes au sein de la population bénéficiaire de ces établissements qui, bien formées, peuvent assurer la maintenance primaire du système solaire et même servir de relais pour les techniciens de la maintenance secondaire. Par conséquent, le solaire PV constitue une solution idéale pour l'alimentation électrique autonome ou hybride (solaire + réseau) des établissements sanitaires de niveau 1

- **Le niveau 2** : composé des établissements de type **centre de santé** ou **hôpital de district** qui offrent des soins en médecine, pédiatrie, chirurgie, maternité et des services d'urgence. Ce type d'établissements sanitaires sont généralement connectés au réseau électrique ou, en fonction des pays, alimentés par des GES suivant des horaires d'alimentation et de délestages définis. Aussi, dû à ce mode d'alimentation électrique, ce type d'établissement de santé connaît des instabilités de tension et/ou de fréquences d'alimentation, ce qui peut avoir de néfastes conséquences sur les services de l'établissement et jouer négativement sur la durée de vie des appareils électriques.

Les besoins électriques des établissements sanitaires de niveau 2 sont certes souvent élevés (comparés à ceux des établissements de niveau 1), mais, tout comme ces derniers, les établissements de niveau 2 disposent souvent de suffisamment de place pour la pose des panneaux solaires permettant de satisfaire entièrement à ces besoins électriques. Aussi, vu que ces établissements sont situés dans de petites et moyennes villes, il est facile de trouver des entreprises solaires locales capables d'assurer la maintenance primaire et même secondaire du système solaire. Par conséquent, le solaire PV constitue une bonne solution pour stabiliser la tension et la fréquence d'alimentation, éliminer ou réduire considérablement l'utilisation, le coût de fonctionnement et la pollution d'éventuels GES et réduire la facture électrique de l'établissement.

- **Le niveau 3 :** ce sont les **hôpitaux régionaux** ou **de référence sur le plan national** avec des services de spécialités. Ces établissements se rencontrent dans les moyennes et grandes villes et sont par conséquent connectés au réseau électrique assisté par un groupe électrogène de secours.
- **Le niveau 4 :** ce sont les **centres hospitalo-universitaires** avec la quasi-totalité des spécialistes dont dispose le pays. Ils sont en plus chargés de l'enseignement dans les facultés de médecine du pays. Ces établissements de santé sont généralement dans les grandes villes et connectés au réseau électrique assisté de GES et très souvent d'onduleurs stabilisateurs de tension.

Les besoins électriques des établissements de santé de niveau 3 et 4 sont très élevés. Leur alimentation solaire autonome est souvent impossible à cause du fait qu'ils sont situés dans les villes et disposent par conséquent généralement de très peu de place pour la pose de panneaux solaires, ainsi que pour la construction de la salle technique pour les composants internes du système solaire. Certes, ces établissements disposent de grands bâtiments dont les toits peuvent théoriquement être utilisés comme support des panneaux solaires ; malheureusement, ces bâtiments et/ou ces toits sont très généralement trop vieux, trop détériorés et/ou insuffisamment dimensionnés pour supporter des charges supplémentaires (occasionnées par des panneaux solaires).

Par conséquent, pour les établissements sanitaires de niveau 3 et 4, si les conditions pratiques ne sont pas réunies pour l'installation d'un système solaire pouvant alimenter tout l'établissement, le solaire PV peut se limiter à :

- l'alimentation de zones où des appareils sensibles sont utilisés tels que les réfrigérateurs à médicaments, les tables de réanimation du nouveau-nés, les incubateurs fermes pour nouveau-nés, l'éclairage de salle d'accouchement etc. ceci afin d'éliminer les microcoupures → utilisation de systèmes solaires hybrides avec stockage d'énergie (On-Grid Back-up) ;
- l'élimination de l'utilisation des GES dans des zones où la pollution sonore (et atmosphérique) d'un GES n'est pas autorisée → utilisation de systèmes solaires hybrides avec stockage d'énergie (On-Grid Back-up) ;
- la réduction de la facture électrique et/ou de carburant de l'établissement par l'exploitation des espaces des toits pouvant supporter des panneaux solaires → utilisation de systèmes solaires d'autoconsommation sans stockage d'énergie (On-Grid).



©Mzumbe Kalokola - Tanzania

5. Catégories et composants de base de systèmes solaires d'alimentation électrique d'établissements de santé

En fonction de l'accès ou pas d'un établissement de santé au réseau électrique, de son mode de financement (étatique ou donateurs) et des objectifs visés par le projet d'alimentation solaire de l'établissement (réduction/élimination des coupures d'électricité ou réduction de la facture d'électricité ou de carburant du GES), les options de systèmes solaires décrites dans les lignes suivantes peuvent être envisagées.

5.1 Catégories de systèmes solaires d'alimentation d'établissements sanitaires

De manière générale, les systèmes solaires photovoltaïques (PV) d'alimentation électrique d'établissements sanitaires peuvent être classés en ces trois grandes catégories :

1. Les **systèmes solaires PV autonomes** (Off-Grid Backup) ;
2. Les **systèmes solaires PV hybrides** avec stockage d'énergie (On-Grid Backup) et
3. Les **systèmes solaire PV d'autoconsommation ou à injection directe** (On-Grid).

Les lignes suivantes décrivent chacune de ces catégories.

5.1.1 Les systèmes solaires autonomes (Off-Grid Backup)

Comme leur nom l'indique, ces systèmes solaires ont pour objectif principal d'alimenter des consommateurs électriques de manière autonome, c'est-à-dire sans l'assistance d'un réseau électrique ou d'un groupe électrogène de secours (GES). Ils sont utilisés dans les zones hors réseau, d'où le terme « Off-Grid » (= hors réseau en anglais). Vu qu'ils doivent alimenter les consommateurs électriques de jour comme de nuit, ils sont équipés de batteries de stockage, d'où le terme « Backup » (c'est-à-dire sauvegarde en anglais).

Il existe deux sous-catégories de systèmes solaires Off-grid Backup :

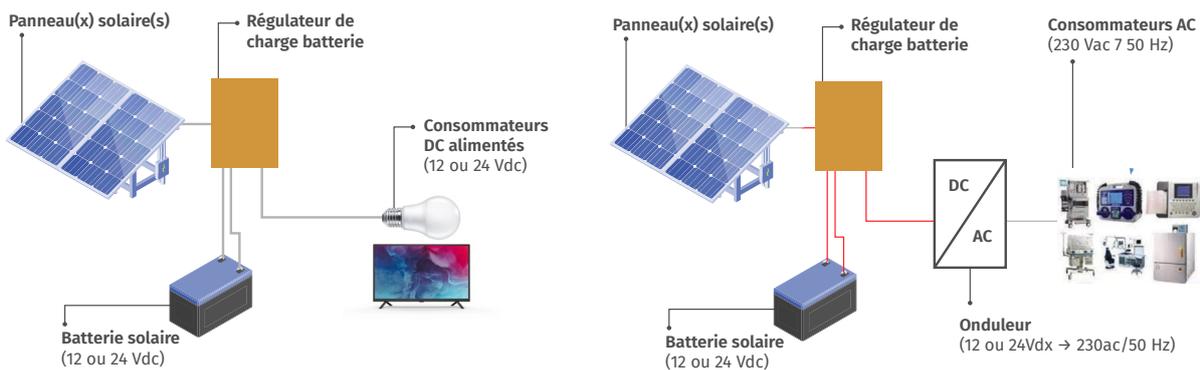
- a. Les systèmes solaires d'alimentation de consommateurs à courant continu (DC)** (= *Direct Current* en anglais) : ils sont les plus simples et sont, de par leur simplicité et accessibilité financière en coût d'investissement, les plus répandus en milieu rural et en zones péri-urbaines hors réseau d'Afrique. Ils servent à alimenter des appareils électriques à courant continu (DC), communément appelés « appareils solaires » tels que les lampes solaires, les téléphones solaires, les ventilateurs solaires etc., ou à recharger les appareils portables (téléphones, torches, radios, etc.). Ils sont composés principalement d'une (ou de plusieurs) panneau(x) solaire(s), du (ou des) régulateur(s) de charge batterie(s) et d'une (ou plusieurs) batterie(s) solaire(s). Les tensions standard de sortie de ces systèmes DC sont 6 Vdc, 12 Vdc, 24 Vdc et (dans quelques rares cas) 48 Vdc.

Les systèmes solaires DC ne pouvant alimenter que des appareils à courant continu (DC), ils ne sont pas très indiqués pour l'alimentation d'établissements de santé, qui généralement utilisent des appareils à courant alternatif (AC).

b. Les systèmes solaires d'alimentation de consommateurs à courant alternatif (AC) (= *Alternating Current* en anglais) : ils sont comme les systèmes d'alimentation à courant continu décrits ci-dessus, mais équipés d'un onduleur permettant de transformer le courant DC (12 Vdc, 24 Vdc, etc.) en courant AC (220 à 240 Vac / 50 Hz), de sorte que le système solaire puisse alimenter les appareils électriques à courant alternatif (comme le fait le courant du réseau électrique publique).

Bien dimensionnés et bien installés, les systèmes solaires Off-Grid Backup sont les mieux indiqués pour l'alimentation en courant alternatif (AC) d'établissements de santé (de niveau 1 et 2) situés dans des zones hors réseau (off-Grid). Pour de telles zones (hors réseau), des onduleurs sinusoïdaux simples, c'est-à-dire non hybrides et sans fonction de recharge de batteries, peuvent être utilisés, ce qui peut permettre de réduire le coût de réalisation du système solaire.

Les images suivantes montrent les schémas de base des deux sous-catégories ci-dessus décrites de systèmes solaires autonomes (*Off-Grid Backup*) :



Système solaire Off-Grid Backup pour consommateurs à courant DC

Système solaire Off-Grid Backup pour consommateurs à courant AC

Figure 2: Schéma simplifié d'un système solaire d'alimentation de consommateurs DC (image gauche) et AC (image droite) (dessin Salia KONATE, 2023).

5.1.2 Les systèmes PV hybrides avec stockage d'énergie (On-Grid Backup)

Ces systèmes, comme leur nom l'indique, permettent une alimentation *hybride* de consommateurs électriques en courant AC. Le terme *hybride* signifie que les consommateurs sont alimentés conjointement par l'énergie du réseau électrique (On-Grid) et par celle du système solaire équipé de batteries de stockage (Backup). Ainsi, en cas de coupure du réseau électrique, le système solaire peut assurer seule l'alimentation des consommateurs.

La composition de base d'un système solaire hybride On-Grid-Backup est pratiquement la même que celle d'un système solaire Off-Grid-Backup avec la seule différence qu'un *onduleur hybride* est utilisé (en lieu et place d'un onduleur sinusoïdal simple). L'onduleur hybride, aussi connu sous l'appellation

d'« onduleur-chargeur batterie », a au moins une entrée supplémentaire offrant la possibilité de raccorder l'onduleur au réseau électrique (ce qui n'est pas le cas chez un onduleur simple).

Ainsi, en fonction de la configuration (programmation) du système solaire, l'onduleur hybride peut utiliser le courant du réseau électrique pour charger les batteries du système solaire ; ce qui permet aux batteries d'être en permanence chargées et d'alimenter les consommateurs en cas de défaillance (coupure ou mauvaise tension) du réseau électrique ou en cas de faible ensoleillement.

L'image schéma montre, à titre d'exemple, la composition de base du système solaire hybride On-Grid Backup en projet de réalisation pour l'alimentation du laboratoire régional d'analyse médicale de Saint Louis au Sénégal dans le cadre du projet PROLAB1 de l'Organisation Ouest-Africaine de Santé (OOAS) :

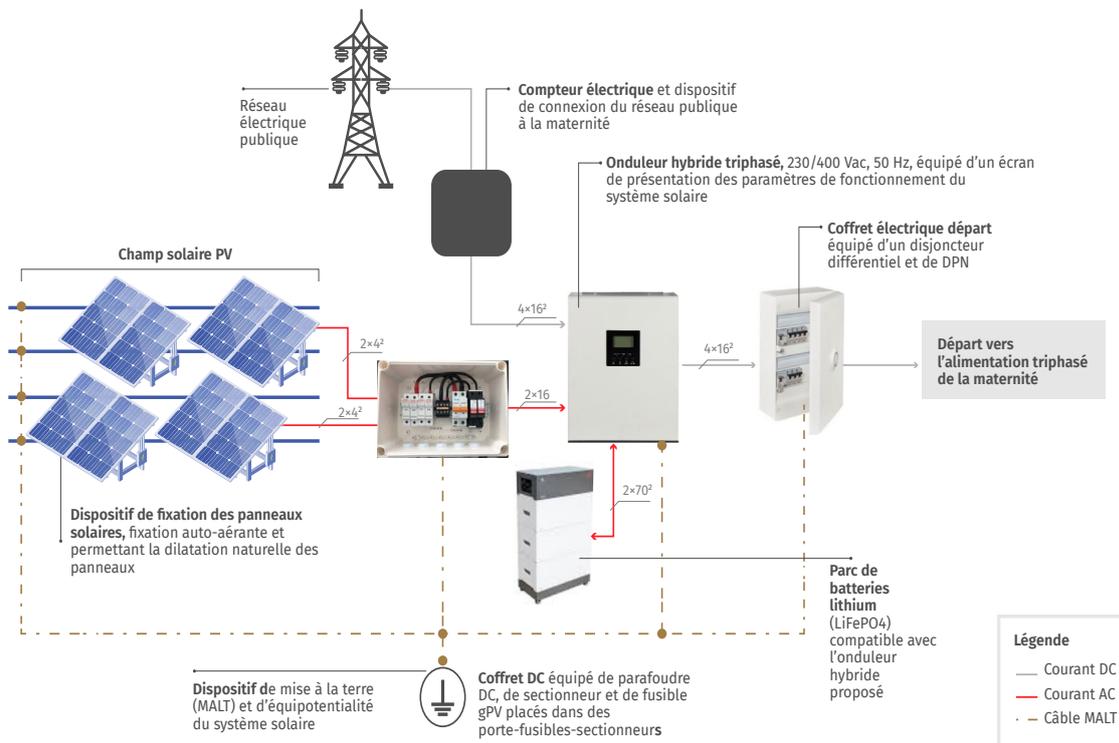


Figure 3: Schéma de base d'un système solaire hybride (On-Grid Backup) d'alimentation d'un laboratoire d'analyse médicale (étude Salia KONATE, 2022).

5.1.3 Les systèmes PV d'autoconsommation ou à injection directe (On-Grid)

Les systèmes solaires On-Grid sont aussi appelés *systèmes solaires d'autoconsommation ou à injection*

1 Le projet PROLAB a été initié à la suite à l'épidémie de 2014-2016 de la maladie à virus Ebola (EVD). Il est financé par le Gouvernement Allemand (à hauteur de 10 millions d'Euro) via la Banque Allemande de Développement (kfW) et piloté par l'Organisation Ouest Africaine de la Santé (OOAS). Le projet est intitulé « *Renforcement des services épidémiologiques et des systèmes de santé dans les pays de la CEDEAO* », il couvre 9 pays de la CEAO et est composé de trois volets à savoir le volet adaptation (réfection) des bâtiments des laboratoires de référence identifiés pas l'OOAS, le volet équipements sanitaires (installation d'équipements modernes) et le volet « renforcement de l'offre électrique » dont le but est d'éliminer les (micros) coupures dans ces laboratoires de référence au moyen de la technologie solaire PV.

directe. L'appellation (assez populaire) d'*autoconsommation* prête à confusion car, hormis les grandes centrales solaires (étatiques) construites pour injecter la totalité de leur électricité dans le réseau public, pratiquement tous les systèmes solaires ont pour premier objectif de produire de l'énergie pour l'autoconsommation. En fait, le seul objectif d'un système solaire On-Grid est économique, à savoir produire l'énergie solaire pour réduire la facture électrique. En effet, un système solaire On-Grid ne peut fonctionner que si le réseau électrique fonctionne. En d'autres termes, si le réseau électrique s'arrête pour quelque raison que ce soit, le système solaire On-Grid arrête aussi la production d'énergie, et ce quelle que soit la qualité de l'ensoleillement.

Par conséquent, les systèmes solaires On-Grid ne sont pas indiqués pour alimenter des établissements de santé en milieu rural Africain, car ils ne peuvent ni stabiliser la tension d'alimentation de l'établissement de santé, ni assurer la continuité du service électrique en cas de coupure du réseau électrique. Cependant, ils peuvent constituer, surtout pour les établissements de santé connectés à un réseau électrique stable, une solution idéale pour réduire la facture électrique. Aussi, bien dimensionné et surtout bien configuré (programmé), un système solaire On-Grid peut permettre de réduire (mais pas d'éliminer) la consommation de carburant du groupe électrogène de secours.

L'image suivante montre la composition de base d'un système solaire On-Grid :

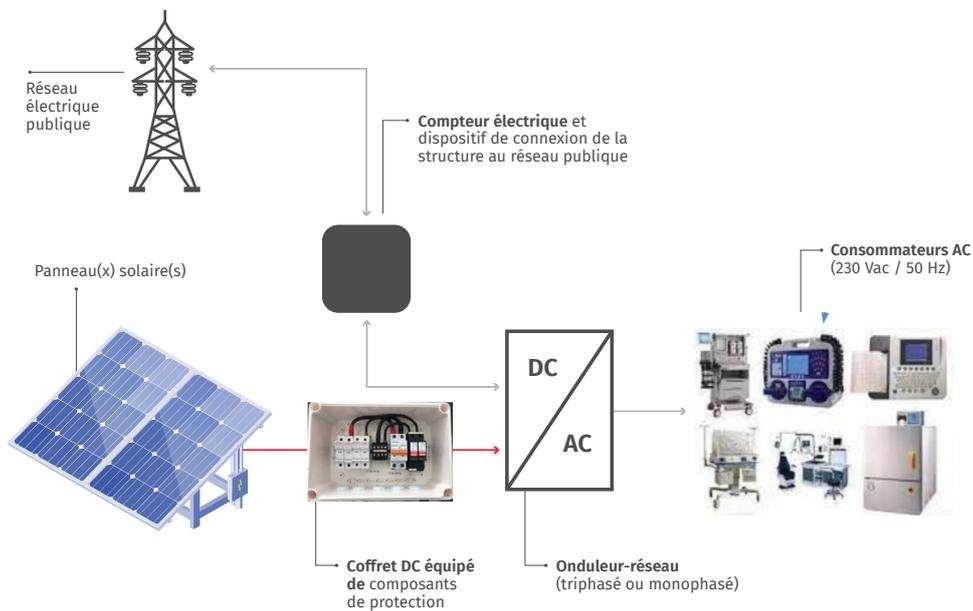


Figure 4 : Schéma de base d'un système solaire d'autoconsommation (On-Grid) (dessin Salia KONATE, 2023)

6. DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME SOLAIRE AUTONOME / HYBRIDE

La capacité d'un système solaire PV autonome (Off-Grid) ou hybride (On-Grid Backup) à satisfaire les besoins électriques des consommateurs dépend de plusieurs facteurs dont les plus importants sont :

- la bonne estimation des besoins en puissance (courbe journalière de puissance consommée) et en énergie des consommateurs électriques à alimenter ;
- le bon dimensionnement du système solaire en fonction des besoins (puissance et énergie) estimés ;
- l'utilisation de composants (solaires) pouvant fonctionner durablement dans les (difficiles) conditions africaines (chaleur, poussière, erreurs de manipulation, éventuellement surcharges, défauts dans le circuit électrique des consommateurs électriques à alimenter ou non respects des normes d'installation électriques domestiques, etc.).
- la pratique d'une technique d'installation qui tient compte non seulement des normes de sécurité (parafoudre, équipotentialité, protection contre les courts-circuits et les fuites de terres, etc.), mais aussi des réalités sur le terrain (pertes de chaleur et de saletés, risques d'endommagement et éventuellement de vol des panneaux solaires, etc.).
- la bonne formation des utilisateurs du système solaire ; et
- l'entretien et la maintenance régulière du système solaire.

Les lignes suivantes proposent un exemple d'approche pratique d'estimation des besoins électriques d'un établissement de santé et de dimensionnement du système solaire nécessaire pour l'alimentation des consommateurs électriques de cet établissement.

6.1 L'estimation des besoins électriques d'un établissement de santé

Les établissements de santé bien fréquentés par le public sont généralement très dynamiques en demande de puissance et en consommation journalière d'énergie électrique, ce qui rend assez complexe l'estimation de ces besoins. Cet exercice est cependant absolument indispensable si une alimentation autonome (Off-Grid Backup) ou hybride (On-Grid Backup) est souhaitée.

Contrairement au branchement d'un établissement de santé au réseau électrique où la puissance maximale simultanée des consommateurs électriques de l'établissement doit être déterminée, l'alimentation autonome au solaire nécessite la détermination de plusieurs paramètres qui sont :

- la puissance (kVA) maximale simultanée des appareils à alimenter,
- la consommation journalière en énergie (en kWh/jour) de tous les appareils pendant les heures de bon ensoleillement (entre environ 8h et 16h dans le contexte climatique africain) : si le système solaire est bien dimensionné et bien conçu, pendant les jours non nuageux, l'énergie consommée en cette période de la journée (entre environ 8h et 16h) n'a pas besoin de passer par les batteries. Elle est produite par les panneaux solaires, ensuite elle passe par le (les) régulateur(s) qui la transmet(tent) directement à l'onduleur (ou aux onduleurs) pour la transformation en courant alternatif (AC) et est directement consommée par les consommateurs.
- la consommation journalière en énergie (en kWh/jour) pendant les heures de faible ou de non ensoleillement (environ 16h à 8h) : la majeure partie de cette énergie doit être stockée dans les batteries solaires.

Le **Tableau 1** suivant présente l'exemple d'estimation des besoins électriques d'un Centre de Santé Rural (CSR) avec des services avancés de maternité à alimenter à 100% au solaire PV.

No. d'ordre	Désignation des consommateurs à alimenter	Puissance Unitaire [VA]	Nombre	Puissance Totale [VA]	Fonctionnement entre 8h et 16h		Fonctionnement entre 16h et 8h		Observations
					Nombre d'heures de service [h/jour]	Total Energie [kWh/jour]	Nombre d'heures de service [h/jour]	Total Energie [kWh/jour]	
Formule de calcul è		(a)	(b)	(c) = (a)*(b)	(d)	(e) = (c)*(d)/1000	(f)	(g) = (c)*(f)/1000	
Eclairage et équipements de bureaux									
1	Lampes économiques (LED) internes	18	22	396	0	0	4	1,584	Allumées de 18h à 22h
2	Lampes économiques (LED) externes	20	18	360	0	0	12	4,32	Allumées de 18h à 6h
3	Ventilateurs	60	8	480	8	3,84	2	0,96	
4	Ordinateur + écran plat (bureaux)	100	2	200	3	0,6	1	0,2	
5	Imprimante	60	1	60	1	0,06	0	0	
6	Réfrigérateur de bureau	150	1	150	4	0,6	8	1,2	Fonctionne au 1/2, c'est à dire 0,5h de service effectif par heure
Equipements Sanitaires									
7	Aspirateur de mucosités	120	1	120	2	0,24	1	0,12	
8	Ventouse obstétricale	150	1	150	1	0,15	1	0,15	
9	Autoclave de paillasse	1500	1	1 500	0,5	0,75	0	0	
10	Concentrateur d'oxygène	600	2	1 200	5	6	3	3,6	
11	Lampe d'examen	50	5	250	3	0,75	3	0,75	
12	Table radiante	900	1	900	2	1,8	2	1,8	
13	Hémoglobinomètre	15	1	15	2	0,03	1	0,015	
14	Réfrigérateur à médicaments	300	1	300	4	1,2	8	2,4	
15	Table de réanimation du nouveau-né	1500	1	1 500	2	3	1	1,5	
Logement personnel 1									
16	Lampes économiques (LED)	20	6	120	0	0	5	0,6	Allumées de 18h à 23h
17	Ventilateurs	60	3	180	2	0,36	4	0,72	

No. d'ordre	Désignation des consommateurs à alimenter	Puissance Unitaire [VA]	Nombre	Puissance Totale [VA]	Fonctionnement entre 8h et 16h		Fonctionnement entre 16h et 8h		Observations
					Nombre d'heures de service [h/jour]	Total Energie [kWh/jour]	Nombre d'heures de service [h/jour]	Total Energie [kWh/jour]	
Formule de calcul è		(a)	(b)	(c) = (a)*(b)	(d)	(e) = (c)*(d)/1000	(f)	(g) = (c)*(f)/1000	
18	Téléviseur	75	1	75	1	0,075	3	0,225	
Logement personnel 2									
19	Lampes économiques (LED)	20	6	120	0	0	5	0,6	
20	Ventilateurs	60	3	180	2	0,36	4	0,72	
21	Téléviseur	75	1	75	1	0,075	3	0,225	
Logement personnel 3 t									
22	Lampes économiques (LED)	20	6	120	0	0	5	0,6	
23	Ventilateurs	60	3	180	2	0,36	4	0,72	
24	Téléviseur	75	1	75	1	0,075	3	0,225	
TOTAL :				8 706		20,33		23,23	

Tableau 1 : Exemple d'estimation des besoins d'une maternité pour son alimentation autonome au solaire (données étude de faisabilité Salia KONATE, 2021)

En résumé des calculs faits dans le Tableau 1 ci-dessus, la puissance brute maximale de tous les consommateurs électriques de cet établissement sanitaire est de 8 706 VA (= env. 8,71 kVA), l'énergie consommée directement par les appareils dans la journée (de 8h à 16h) sans l'apport des batteries est estimée à 20,33 kWh/jour et celle à stocker dans les batteries pour alimenter les consommateurs électriques pendant les moments de faible et de non-ensoleillement est de 23,23 kWh/jour.

6.2 Le dimensionnement de systèmes solaires

Le dimensionnement d'un système solaire consiste à calculer les tailles des composants nécessaires pour sa réalisation, à savoir la puissance du champ solaire, du (ou des) onduleur(s) / convertisseur(s), la capacité du parc batteries, etc.

6.2.1 Calcul de la puissance de sortie de l'onduleur (convertisseur)

Dans la pratique, tous les appareils d'un établissement sanitaire ne sont jamais en service en même temps. En d'autres termes, la puissance brute maximale calculée (8 706 VA dans le Tableau 1) ne sera pratiquement jamais demandée. C'est pour cette raison que les réseaux électriques appliquent un facteur de simultanéité (ks) dans le calcul de la puissance de branchement d'une structure au réseau. Ce facteur se situe entre 0,75 et 0,85 selon le type d'appareil et les pays. Le facteur de simultanéité doit refléter le nombre d'appareils et leur fréquence d'utilisation. Plus le nombre est élevé, plus le foisonnement est fort. Les normes CEI 61439, NF C 63-410 et UTE C15.105 donnent des indications pratiques sur l'estimation du facteur de simultanéité.

Un facteur de simultanéité de 0,85 signifie dans la pratique qu'au maximum 85% de la puissance totale brute des appareils à alimenter peut être demandée simultanément. Par conséquent, la puissance totale de sortie du (ou des) onduleur(s) du système solaire doit être supérieure ou égale puissance simultanée calculée.

Dans le cas des appareils électriques de centres de santé en milieu rural d'Afrique de l'Ouest, différentes mesures de courbes de puissances faites dans le cadre de projets d'alimentation au solaire ont donné des facteurs de simultanéité dont la valeur maximale est comprise entre 0,51 et 0,63. Ces faibles valeurs se justifient par les faibles taux de fréquentation des établissements sanitaires en milieu rural. En effet, selon les analyses de l'OMS, les systèmes de santé en milieu rural d'Afrique n'atteignent (en moyenne) que 49% de leurs niveaux de fonctionnalité possible (OMS, 2018).

Ainsi la puissance apparente minimale de sortie ($P_{min, onduleur}$) à fournir par l'onduleur (ou les onduleurs) d'un système solaire autonome ou hybride se calcule suivant la formule :

$$P_{min, onduleur} = P_{max, brute} * k_s \quad \text{(Formule 1)}$$

Avec :

$P_{min, onduleur}$	la puissance apparente minimale de sortie du (ou des) onduleur(s) du système solaire en [VA].
$P_{max, brute}$	la puissance apparente brute maximale en [VA] de tous les consommateurs électriques à alimenter par le système solaire.
k_s	le facteur de simultanéité (sans unité), calculé sur la base de mesures effectives de la courbe de puissance ou estimé sur la base des informations fournies par le personnel soignant sur l'utilisation (simultanée) des appareils et/ou sur la base d'observation.

Dans le cas des appareils listés dans le **Tableau 1**, un facteur de simultanéité de 0,56 a été pris en compte sur la base des échanges avec le personnel soignant de l'établissement et des observations faites sur le terrain. Ainsi, le (ou les) onduleur(s) du système solaire d'alimentation de l'établissement doit (doivent) avoir une puissance (totale) de sortie d'au moins :

$$P_{min, onduleur} = P_{max, brute} * k_s = 8706 \text{ VA} * 0,56 = 4875 \text{ VA} \quad \text{(Formule 2)}$$

6.2.2 Calcul de la quantité journalière d'énergie à produire par les panneaux solaires

En plus de la puissance à fournir, un système solaire autonome doit être à mesure de produire pendant les heures d'ensoleillement toute la quantité d'énergie dont l'établissement de santé a besoin par jour. Une partie de cette énergie sera consommée directement sans passer par les batteries et une autre sera stockée dans les batteries pour être consommée pendant les heures de faible et de non-ensoleillement (environ 16h et 8h) et aussi pendant les moments de fortes activités où la puissance

venant directement des panneaux solaires peut ne pas suffire pour couvrir la puissance (instantanée) demandée par les consommateurs et qu'il faille la compléter par les batteries.

Si des batteries solaires au plomb sont utilisées, le processus de charge peut occasionner des pertes pouvant aller jusqu'à 20% (PowerTech Systems, 2025). Ces pertes doivent être ajoutées à l'énergie à stocker dans les batteries. Ainsi, la quantité totale (minimale) d'énergie () à produire par jour par les panneaux du système solaire se calcule suivant la formule :

$$E_{Besoin/jour} = E_{CD} + (E_{u,Batt} * f_{pc,Batt}) \quad \text{(Formule 3)}$$

Avec :

$E_{Besoin/jour}$	la quantité totale (minimale) d'énergie en [kWh/jour] dont les appareils à alimenter ont besoin par jour.
E_{CD}	l'énergie en [kWh/jour] consommée directement par les appareils sans recours aux batteries.
$E_{u,Batt}$	l'énergie utile en [kWh/jour] à stocker dans les batteries pour être consommée pendant les heures de faible et non ensoleillement.
$f_{pc,Batt}$	le facteur de pertes de charge des batteries. Il peut aller de 1,052 ² pour les batteries Lithium Fer Phosphate (LiFePo4) (c'est-à-dire 5% de pertes de charge) à (maximum) 1,20 pour les batteries au plomb (c'est à dire 20% de pertes de charge).

Si le budget d'un projet d'alimentation d'établissement de santé au solaire PV le permet, il est de nos jours conseillé d'utiliser des batteries au lithium en lieu et place de celles au plomb. En effet, nombre de projets d'utilisation de l'énergie solaire PV ont échoués en Afrique à cause de la très faible durée de vie des batteries au plomb. En Afrique de l'Ouest, les expériences pratiques avec ces batteries au plomb ont donné des durées de vie de 1 an (si le taux journalier de décharge- DoD - dépasse 80%) à maximum 4 ans (si le DoD ne dépasse pas 60% par jour), comparées à celles des batteries au lithium avec des durées de vie allant de 8 à 12 ans (voir plus) avec des DoD pouvant aller à 80%.

Ainsi, dans le cas des appareils (exemple) de l'établissement sanitaire listés dans le **Tableau 1**, si des **batteries au plomb** sont utilisées, le besoin journalier en énergie est :

2 Exemple des batteries lithium de marques BYD, modèles LVS Premium de 4 kWh/bloc et modèle LV Flex Lite 5 kWh/bloc : Des mesures pratiques de performance ont été effectuées par mon équipe dans le cadre d'audits de systèmes solaires sur ces batteries et les résultats ont donné des pertes de 5% en moyenne.

$$E_{Besoin/jour} = 20,33 \frac{kWh}{jour} + (23,23 \frac{kWh}{jour} * 1,20) = 48,21 \frac{kWh}{jour} \quad (\text{Formule 4.1})$$

En revanche, avec des **batteries lithium** (de bonne qualité), le besoin journalier en énergie sera de :

$$E_{Besoin/jour} = 20,33 \frac{kWh}{jour} + (23,23 \frac{kWh}{jour} * 1,05) = 44,72 \frac{kWh}{jour} \quad (\text{Formule 4.2})$$

Pour que les appareils de l'établissements de santé à alimenter soient suffisamment fournis en énergie (sans coupures involontaires de courant), le champ solaire doit produire par jour une quantité d'énergie () au moins égale à la quantité (minimum) d'énergie () dont les appareils ont besoin.

$$E_{champ PV} \geq E_{Besoin/jour} \quad (\text{Formule 5.1})$$

Cependant, dans la pratique, pour permettre aux batteries de couvrir les demandes de puissances instantanées et aussi éviter des taux journaliers de décharge (DoD) de plus de 80%, une marge d'au moins 20% est souvent ajoutée, ainsi :

$$E_{champ PV} \geq E_{Besoin} * 1,20 \quad (\text{Formule 5.2})$$

6.2.3 Calcul de la puissance du champ solaire PV

L'énergie à produire par les panneaux solaires (champ solaire) se calcule théoriquement suivant la formule (BRE, 2006) :

$$E_{champ PV} = \frac{P_{champ PV}}{P_{iSTC}} * E_i * f_{PR} \quad (\text{Formule 6})$$

Partant de la Formule 6, la puissance crête (minimale) du champ solaire à installer est :

$$P_{champ PV} = \frac{E_{champ PV} * P_{iSTC}}{E_i * f_{PR}} \quad (\text{Formule 7})$$

Avec :

$E_{champ PV}$	la quantité d'énergie (minimale) en [kWh/jour] que le champ solaire doit produire chaque jour.
$P_{champ PV}$	la puissance crête (minimale) en [kWc] que le champ solaire photovoltaïque doit avoir.
P_{iSTC}	la puissance radiative dans les conditions standard de test (STC) exprimée en [kW/m ²]. Dans ces STC, = 1 kW/m ² .

E_i	l'irradiation solaire en [kWh/m ² /jour]. Elle dépend du lieu géographique où le système solaire est installé (confère Figure 1) et doit aussi prendre en compte l'orientation et l'inclinaison du champ photovoltaïque. Les données d'irradiation solaire de chaque pays peuvent être obtenues sur certains sites tels que Global Solar Atlas ou https://meteonorm.com/ .
f_{PR}	le ratio de performance ou indice de performance de l'installation photovoltaïque. Il est le rapport entre la production réelle (pratique) d'énergie d'un champ solaire PV avec la production théorique de l'irradiation du soleil reçu par ce champ solaire. Les différentes pertes (de réflexion, thermique, de saleté, etc.) subies par les panneaux solaires sont prises en compte dans ce facteur. Sa valeur se situe entre 0,55 et 0,75 (Indice de Performance, SMA 2025) en fonction du fait que les panneaux solaires soient très peu ou bien aérées et que le régulateur de charge ou l'onduleur soit équipé ou pas de la fonction MPPT (IBGE, 2025). Dans le cas des pays où le taux de poussière est élevé, un de 0,6 est souvent utilisé dans la pratique.

L'exploitation de la Formule 7 pour le dimensionnement d'un champ photovoltaïque reste délicate et complexe. Dans la pratique, les professionnels utilisent soit des logiciels de dimensionnement de systèmes solaires PV ou, pour le dimensionnement de petits et moyens systèmes solaires (moins de 500 kWp), se réfèrent à des méthodes plus pratiques basées sur l'utilisation de la *production spécifique ou relative de système photovoltaïque* dans la zone donnée. Cette valeur, qui est une donnée d'expérience exprimée en kWh/kWc/jour, est prise du fonctionnement de systèmes solaires PV (bien installés) en service dans la zone d'installation prévue, ou fournie par des sites tels que <https://globalsolaratlas.info/>.

Elle tient compte des différentes pertes de transformation et de transport de l'énergie entre les panneaux solaires et la sortie des onduleurs vers les consommateurs électriques. Sa valeur (à titre d'exemple) est de 4,027 kWh/kWp/jour pour Cotonou (Bénin), 3,881 pour Yaoundé 1 (Cameroun) et 4,262 pour Coliah (Guinée) (Global Solar Atlas, 2025).

En passant par ce chemin pratique, la puissance crête (minimale) d'un champ solaire se calcul suivant la formule :

$$(Formule 8) \quad P_{champ PV} = \frac{E_{Besoin/jour}}{E_{PVOut}}$$

Avec :

$P_{champ PV}$	la puissance crête (minimale) en [kWc] que le champ solaire photovoltaïque doit avoir.
$E_{Besoin/jour}$	la quantité totale (minimale) d'énergie en [kWh/jour] dont les appareils à alimenter ont besoin par jour (y compris les pertes de transformation).
E_{PVOut}	la production spécifique ou relative en [kWh/kWc/jour] d'un système photovoltaïque bien installé (avec le moins de pertes possibles) dans la zone donnée.

Ainsi, reporté à l'exemple de l'établissement de santé dont les appareils sont listés dans le **Tableau 1** avec 4,262 kWh/kWc/jour de production spécifique (EPVOut), si des **batteries au plomb** sont utilisées, la puissance crête (minimale) du champ solaire PV à installer sera :

$$P_{\text{champ PV}} = \frac{E_{\text{Besoin/jour}}}{E_{\text{PVOut}}} = \frac{48,21 \frac{\text{kWh}}{\text{jour}}}{4,262 \frac{\text{kWh}}{\text{kWc} \cdot \text{jour}}} = \mathbf{11,32 \text{ kWc}} \quad (\text{Formule 9.1})$$

En revanche, si des **batteries au lithium** sont utilisées, le champ solaire devrait avoir une puissance PV minimum de :

$$P_{\text{champ PV}} = \frac{E_{\text{Besoin/jour}}}{E_{\text{PVOut}}} = \frac{44,72 \frac{\text{kWh}}{\text{jour}}}{4,262 \frac{\text{kWh}}{\text{kWc} \cdot \text{jour}}} = \mathbf{10,493 \text{ kWc}} \quad (\text{Formule 9.2})$$

En résumé, pour produire l'énergie journalière permettant d'alimenter convenablement l'établissement sanitaire, le champ solaire PV doit avoir une puissance d'au moins **11,32 kWc** si des **batteries au plomb** sont utilisées pour le stockage de l'énergie, ce qui correspond de nos jours (Mars 2025) à au moins 20 panneaux solaires de 580 Wc chacun). En revanche, si des **batteries au lithium** sont utilisées, le champ solaire PV nécessaire est d'au moins **10,493 kWc**, ce qui correspond à 18 panneaux de 580 Wc chacun.

En termes d'espace nécessaire pour la pose des panneaux solaires (sur un toit de maison ou de hangar de l'établissement de santé), si des batteries au plomb sont utilisées, une superficie³ d'au moins 57 m² sera nécessaire. Avec des batteries au lithium, le besoin en superficie sera de 51 m² (AESOLAR, 2025).

6.2.4 Calcul de la capacité de stockage du parc batterie

Comme indiqué dans les Formules 4.1 et 4.2, une partie de l'énergie journalière consommée par les appareils alimentés par le système solaire doit être stockée dans les batteries solaires pour les moments de faible et de non-ensoleillement (la nuit) ainsi que pour compenser à l'aide des batteries une éventuelle demande accrue des consommateurs en puissance instantanée. Il faut donc que les batteries soient capables de stocker cette énergie et de la restituer en cas de besoin.

Dans le calcul de la capacité de stockage d'un parc batteries, la *profondeur de décharge* journalière (DoD) à ne pas dépasser (régulièrement) doit être pris en compte. Le DOD exprime en % le rapport entre la capacité déjà consommée et celle nominale totale de la batterie ou du parc batterie. Ainsi, si une batterie est pleine, son DoD est 0% et si elle est complètement vidée (déchargée), son DoD est 100%. La figure suivante illustre la capacité de stockage, la profondeur de décharge (DoD) et l'état de charge (SoC) d'une batterie.

3 Le besoin en superficie a été estimée avec l'exemple de panneaux « AE CMD-144BDS 580W » de AESOLAR (Allemagne) dont chaque panneau mesure 2278 mm de longueur sur 1133 mm de largeur, soit une superficie de 2,58 m²/panneau. La superficie totale calculée a été majorée de 10% pour permettre d'insérer des passages entre les panneaux pour leur entretien.

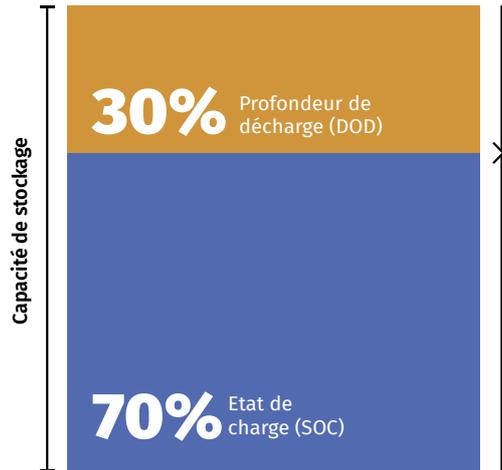


Figure 5 : Illustration de la profondeur de décharge (DoD) et de l'état de charge (SoC) d'une batterie (SOLARIS STORE, 2025)

La durée de vie d'une batterie (surtout celle au plomb) dépend fortement de la profondeur de décharge (DoD) journalière appliquée à la batterie. Les batteries au Plomb AGM ne sont pas conçues pour être déchargées profondément. Contrairement aux batteries lithium où des taux de décharge journalière de maximum 70 à 80% peuvent être appliqués sans de graves conséquences sur la durée de vie la batterie, celles au plomb n'ont une capacité utile (DoD recommandée) que d'environ 30% à 60% de sa capacité réelle. Si les cycles de décharges sont plus profonds, il en résulte une dégradation rapide de la batterie et une durée de vie fortement limitée. L'image suivante montre le nombre de cycles de charge/décharge (durée de vie) des batteries plomb AGM et lithium en fonction de la DoD journalier appliquée :

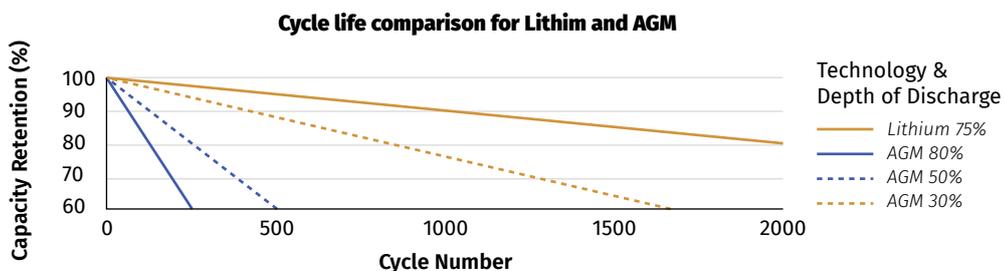


Figure 6 : Illustration de la durée de vie (nombre de cycles de charge/décharge) des batteries à plomb et lithium en fonction du taux journalier de décharge (DoD) (Powertech Systems, 2025).

Le DoD journalier maximum recommandé par différents fabricants de batteries solaires est de 80% pour les batteries lithium et 60% pour les batteries au plomb AGM et GEL. En d'autres termes, la capacité utile d'une batterie lithium est de 80% et celle d'une batterie à plomb est de 60% de sa capacité totale nominale.

Ainsi, tenant compte de ces réalités, la capacité totale nominale du parc batteries se calcule suivant la formule :

$$C_{Tot\ Batt} = \frac{E_{u,Batt}}{f_{DoD}} \quad \text{(Formule 10)}$$

Avec :

$E_{u,Batt}$	la capacité totale nominale du parc batteries en [kWh]
$C_{Tot\ Batt}$	l'énergie utile en [kWh/jour] à stocker dans les batteries pour être consommée pendant les heures de faible et non ensoleillement (la nuit).
f_{DoD}	la profondeur de décharge journalière maximale souhaitée. La valeur recommandée est de 90% par jour pour les batteries lithium et de 60% par jour pour les batteries au plomb AGM et GEL.

Ainsi, reporté à l'exemple de l'établissement de santé dont les appareils sont listés dans le **Tableau 1**, si des **batteries au plomb** sont utilisées, le parc batteries doit avoir une capacité nominale totale de :

$$C_{Tot\ Batt} = \frac{E_{u,Batt}}{f_{DoD,Plomb}} = \frac{23,23 \frac{kWh}{jour}}{60\% \text{ jour}} = 38,72 \text{ kWh} \quad \text{(Formule 10)}$$

Si des **batteries au lithium** sont utilisées (conforme **Tableau 1**), le parc batteries doit avoir une capacité nominale totale de :

$$C_{Tot\ Batt} = \frac{E_{u,Batt}}{f_{DoD,Lithium}} = \frac{23,23 \frac{kWh}{jour}}{80\% \text{ jour}} = 29,04 \text{ kWh} \quad \text{(Formule 11)}$$

En résumé, le système solaire d'alimentation de l'établissement de santé (maternité) dont les consommateurs électriques sont listés dans le **Tableau 1** devrait être composé :

- d'un **champ solaire** PV d'au moins 11,32 kWc si **des batteries au plomb** sont utilisées pour le stockage de l'énergie, ce qui correspond à 20 panneaux de 580 Wc chacun. Avec des batteries au lithium pour le stockage, un champ solaire de **10,493 kWc** est nécessaire, ce qui correspond à 18 panneaux de 580 Wc chacun. Dans la pratique et si le budget le permet, 22 panneaux (si batteries au plomb) ou 20 panneaux (si batteries au lithium) d'au moins 580 Wc chacun seront pris en compte dans le calcul des coûts, ceci dans le but de constituer 2 panneaux de réserve au cas un panneau se cassait.
- éventuellement de **régulateurs de charge batteries** capables d'absorber la puissance d'entrée PV fournie par le champ solaire.
- un **onduleur-chargeur batteries** ayant une puissance de sortie d'au moins 4 875 VA. Dans la pratique et si le budget le permet, un onduleur (sinusoïdale ou hybride) d'une puissance nominale de sortie de 5 kVA (= 5 000 VA) sera pris en compte dans le calcul des coûts.
- **des batteries lithium** d'une capacité totale de stockage d'au moins 29 kWh. Dans la pratique et si le budget le permet, un parc batteries lithium de 30 kWh (option 1 de système solaire) sera pris en compte dans le calcul des coûts. Si le budget ne permet pas d'acquérir des batteries lithium

(qui sont plus chères que celles au plomb), des batteries au plomb OPzS de 40 kWh seront pris en compte (option 2 de système solaire).



©Electriciens sans frontières - Madagascar



©Electriciens sans frontières

7. MODÈLES DE FINANCEMENT DE SYSTÈMES SOLAIRES

De manière générale, les établissements de santé en milieu rural d'Afrique subsaharienne sont très souvent des structures publiques gérées par l'Etat dont le fonctionnement est assuré par les fonds publics. Les populations rurales d'Afrique (subsaharienne) sont celles qui ont le moins accès aux sources financières (manque d'entrées régulières de fonds comme des salaires, manque d'accès aux crédits bancaires, etc.). Tous ces aspects limitent considérablement les possibilités de financement par des investisseurs privés dans ce milieu. Cependant, les modèles décrits dans les lignes suivantes peuvent être envisagés pour le financement de projets de réalisation de systèmes solaires PV de structure sanitaire.

7.1 Le financement direct par les structures étatiques locales

Ce modèle de financement est très fréquent. Dans ce cas de figure, le financement et la gestion du projet sont généralement assurés par des structures étatiques locales telles que la commune (mairie) ou le département.

Ce modèle de financement a l'**avantage** de permettre de réaliser à court terme le projet d'électrification d'une structure sanitaire locale une fois que les besoins en coûts sont plus ou moins clairement définis, étant donné que les décideurs sont généralement des élus locaux (maire, député, etc.) auxquels les populations ont facilement accès.

Cependant dans bon nombre de pays, ce modèle de mise en œuvre de financement peut présenter l'**inconvenient** d'une implication plus limitée des communautés, ce qui peut affecter la durabilité à long terme des projets.

Pour remédier à cette difficulté, et en s'appuyant sur des expériences internationales, la mise en place d'un Conseil Technique chargé de superviser l'exploitation et la maintenance pourrait renforcer la pérennité du projet.

7.2 Le financement par l'Etat et ses PTFs

Ces dernières années, plusieurs Etats d'Afrique Subsaharienne ont initié de vastes programmes d'électrification solaire de structures de santé en milieu rural. Ces programmes sont souvent cofinancés (subventionnés) par l'Etat et par un ou plusieurs Partenaires Techniques et Financiers (PTF).

Contrairement au modèle de financement direct par les structures étatiques locales (communes, départements, etc.), les projets financés par l'Etat (central), éventuellement assisté par ses PTFs, sont généralement de bien meilleure qualité, car le processus de réalisation des projets financés par de tels programmes est plus rigoureux avec des aspects liés à la gestion de l'après installation et à la durabilité. Aussi, ce type de programmes intègrent les professionnels (Consultant ou Bureau d'Etude) et les populations bénéficiaires (via le mécanisme de création de cadre de concertation des acteurs du projet).

Pour bénéficier de tels programmes, les populations bénéficiaires de la structure sanitaire doivent s'informer auprès du Ministère en charge de la Santé sur les programmes de financement en cours de réalisation ou de préparation et travailler à intégrer leur projet dans un de ces programmes. Pour

cela, le soutien de personnes ressources ressortissantes de la localité où la structure sanitaire doit être électrifiée peut-être d'une importance capitale pour la recherche des informations, le lobbying et le montage du dossier, etc.

7.3 Le financement par subvention (don) de partenaires directs des bénéficiaires

Ce mode de financement, aussi appelé financement philanthropique, est souvent fait par des ONGs, associations ou donateurs (locaux ou étrangers) aux populations bénéficiaires qui ont exprimé de manière plus ou moins structurée leur intention ou besoins (ARE, 2025).

Pour que ce genre de financement aboutisse dans des délais raisonnables et à la satisfaction des bénéficiaires, il est important que la demande de financement adressée aux potentiels donateurs philanthropiques soit bien structurée. Ici également s'impose la nécessité que les responsables des (futurs) bénéficiaires du système solaire en projet soient accompagnés par un Conseil Technique (Consultant). Ce dernier serait en charge de réaliser l'étude technique de faisabilité du projet d'électrification de la structure sanitaire et de remettre un rapport détaillé contenant au moins la problématique liée au manque ou à l'insuffisance de l'électricité dans la structure sanitaire, les besoins électriques à satisfaire de manière optimale et minimale (2 options à proposer), les composants nécessaires et le coût total détaillé de réalisation des deux options (optimale et minimale) du projet. La demande de financement adressée aux potentiels donateurs est alors accompagnée du rapport détaillé ci-dessus décrit.

Pour augmenter les chances de succès d'une telle demande, il est conseillé que les demandeurs expliquent dans leur demande quel pourrait être leur pourcentage de co-financement et le complément qu'ils souhaitent obtenir (en don) au potentiel donateur.

De nos jours, la majorité des donateurs, s'ils répondent positivement à une telle demande de financement (don), optent pour une subvention. Généralement, le projet de réalisation du système solaire est confié à une entreprise spécialisée en livraison, installation et maintenance de systèmes solaires (en milieu rural). Cette dernière analyse les besoins électriques de la structure sanitaire et propose des solutions d'alimentation. La documentation fournie par l'entreprise mandatée doit contenir au moins une analyse des besoins, une offre technique avec au moins deux options d'alimentation (une option minimale et une option optimale), une offre financière de livraison, d'installation et d'entretien / maintenance du système solaire pendant une durée donnée pour chacune des options proposées. Aussi, souvent le donateur, avant de s'engager, mène des discussions (directement ou via une personne ou structure mandatée) avec les demandeurs (les futures bénéficiaires du système solaire) sur les conditions de gestion durable du système solaire en projet.

7.4 Le modèle de financement basé sur un PPP

Le modèle de financement basé sur un Partenariat Public Privé (PPP), aussi appelé « mécanisme de compensation », consiste à ce qu'un investisseur privé – généralement une entreprise de prestation de services solaires – s'engage à réaliser entièrement le système solaire PV d'électrification de la structure de santé en question et à garantir son bon fonctionnement contre paiement (après réalisation) par une structure publique (commune, Ministère en charge de la santé, etc.). Cet engagement se fait sur la base d'une convention entre la structure publique, l'investisseur privé et les (futurs) bénéficiaires, convention dans laquelle les droits et devoirs de chaque partie sont clairement définis.

Un système solaire financé en modèle PPP peut se faire suivants l'une des deux variantes suivantes :

- 1. Variante basée sur le remboursement du coût du système solaire à l'investisseur privé après réalisation et fonctionnement pendant un temps défini :** dans cette variante du modèle de financement PPP, l'investisseur privé préfinance le système solaire conformément à un cahier des charges. Ce dernier est une partie de la convention qui lie l'investisseur privé, la structure mandataire et les bénéficiaires. Une fois réalisé, l'investisseur privé met le système solaire en service et assure son fonctionnement (entretien / maintenance) pendant une durée d'observation bien définie dans la convention. Cette durée se situe entre 3 mois et 3 ans. Le (bon) fonctionnement du système est suivi par la structure étatique adjudicatrice et par les bénéficiaires. Au bout de la période définie, si le fonctionnement du système solaire satisfait aux exigences du cahier des charges, le coût de réalisation conclu est alors remboursé intégralement à l'investisseur privé (suivant un modèle de décaissement prévu dans la convention). Généralement, jusqu'au remboursement intégrale du coût de réalisation du système, il reste la propriété de l'investisseur privé. Une fois le remboursement réalisé, le système solaire devient propriété de la structure publique adjudicatrice et/ou des bénéficiaires (population locale), qui alors se charge de son entretien et de sa maintenance.
- 2. Variante basée sur le rachat de l'électricité produite :** dans cette variante du modèle de financement PPP, l'investisseur privé préfinance la réalisation du système solaire. Cependant, contrairement à la variante précédente, il n'est pas remboursé après réalisation et mise en service du système, mais payé chaque mois (ou suivant une période bien définie) proportionnellement à l'énergie fournie. Dans cette variante également, une convention définit les droits et devoirs de chaque partie (investisseur privé, structure publique mandataire et les bénéficiaires), le coût d'achat du kWh produit et les pénalités en cas de non-fourniture de l'électricité dans la qualité et quantité souhaitées. La durée de rachat de l'électricité est souvent illimitée ou suffisamment longue pour permettre à l'investisseur privé d'amortir son investissement.

Comparé aux trois (3) autres modèles de financement ci-dessus décrits, le modèle de financement de systèmes solaires basé sur une des deux variantes ci-dessus décrites a le plus grand potentiel à garantir un service énergétique optimal et durable à la structure sanitaire, vu que l'investisseur (ou son opérateur) a le plus grand intérêt à ce que son système solaire fonctionne à la satisfaction totale de la structure sanitaire et le plus longtemps possible (ARE, 2025).



Health centre with mesh-grids - SAO Energy, Okra Solar

8. PROCESSUS DE LIVRAISON, D'INSTALLATION ET DE MISE EN MARCHÉ DU SYSTÈME SOLAIRE

Cette étape est la 2ème dans le processus de réalisation d'un projet d'installation d'un système solaire PV. Elle n'est entamée que quand :

1. l'objectif principal et les objectifs secondaires du système solaire en projet ont été clairement définis par les acteurs du projet, compris et acceptés de tous ;
2. les avantages mais aussi les exigences (en coût de financement, besoin d'espace et en entretien/maintenance après réalisation) sont compris et acceptés par tous ;
3. l'étude de faisabilité, c'est-à-dire l'étude des besoins électriques de l'établissement de santé, le dimensionnement et l'estimation du coût de réalisation du système solaire ont été faits ;
4. les résultats de l'étude de faisabilité ont été présentés aux acteurs et leurs avis, préoccupations et propositions ont été pris en compte dans la solution finale du système solaire à réaliser ;
5. les mesures nécessaires ont été prises pour que le budget disponible puisse réaliser l'option finale, acceptée par tous les acteurs, du projet ;
6. sur la base de tout ce qui précède, la décision finale de réaliser le système solaire en projet a été prise par qui de droit.

Même en présence d'un budget de financement, l'approche qui consiste à demander simplement un « devis » ou une « facture pro-forma » à une entreprise prestataire de services d'énergie solaire, et à prendre unilatéralement la décision de réaliser un système solaire d'alimentation d'établissement sanitaire public (surtout en milieu rural) sur la base de ce seul devis ou de cette seule facture pro-forma (sans suivre globalement les étapes ci-dessus énumérées), conduit généralement au fiasco, surtout quand les aspects de corruption ou de favoritisme s'y mêlent. Beaucoup de systèmes solaires réalisés suivant cette approche simpliste ne fonctionnent pas au-delà des 12 à 24 mois de garantie souvent exigée dans les dossiers d'appel d'offres.

8.1 La nécessité de l'accompagnement d'un Consultant / Conseil

Entre la phase de réalisation de l'étude de faisabilité et celle de recrutement de l'entreprise de réalisation, il peut se passer des mois sinon des années. Il est rare qu'un Consultant s'engage formellement par un contrat pendant tout ce temps d'attente. Dans la pratique, le Consultant intervient séparément dans les deux phases ; c'est-à-dire qu'il réalise d'abord (dans le cadre d'un contrat) l'étude de faisabilité conformément au processus décrit précédemment. Le contrat de cette étape se termine avec la remise du rapport final validé et accepté par les acteurs. S'en suit, en fonction du type de projet, un temps de décision et/ou de mobilisation du budget de financement avant que la phase 2 ne débute.

Tout comme dans la phase 1 (étude de faisabilité), il est vivement conseillé d'engager un consultant pour accompagner et conseiller les acteurs pendant la phase de réalisation effective du projet également. Dans la mesure du possible, il est conseillé de réengager le même Consultant qui a réalisé l'étude de faisabilité, ceci pour (entre autres) garder la dynamique entamée pendant la phase d'étude et éviter la remise en cause de certaines approches par un nouveau Consultant.

La **mission du Consultant dans cette seconde phase du projet** consiste à :

1. actualiser (si nécessaire) les caractéristiques techniques des composants et travaux nécessaires pour la livraison, l'installation, la mise en marche et la formation des utilisateurs du système solaire défini pendant la phase d'étude ;
2. accompagner les décideurs dans l'élaboration du Cahier des Spécifications Techniques pour le Dossier d'Appel d'Offre (DAO) ou du Cahier des Charges pour la demande de cotation qui sera mise à la disposition des potentielles entreprises réalisatrices ;
3. accompagner les décideurs dans l'analyse des offres techniques des potentiels entreprises réalisatrices ;
4. assurer le contrôle de qualité des composants et des travaux d'installation de l'entreprise sélectionnée pour la réalisation du système solaire ;
5. valider les résultats des tests de fonctionnement réalisés par l'entreprise installatrice du système solaire et sa mise en service ;
6. valider le contenu de la formation proposée par l'entreprise réalisatrice pour la formation des utilisateurs et contrôler la bonne exécution de cette formation ;
7. accompagner les décideurs dans le processus de réception provisoire du système solaire ;
8. accompagner les bénéficiaires / utilisateurs du système solaire pendant les 12 premiers mois de fonctionnement dans le but de situer les responsabilités en cas d'éventuels dysfonctionnements.

Ces travaux du Consultant sont accompagnés de rapports intermédiaires et d'un rapport final (en fonction des termes du Contrat de Consultance conclu).

8.2 La Livraison, l'installation et la mise en service du système solaire

Cette phase est la plus critique du projet et mérite la plus grande attention du Consultant, des décideurs et bénéficiaires du projet. Aussi, il convient de rappeler que les composants livrés doivent être conformes à toutes les normes de qualité exigées et que leur installation doit être faite selon les règles de l'art.

Une fois le contrat conclu avec l'entreprise bénéficiaire du marché de réalisation du système solaire,

il est important de tout mettre en œuvre (décideurs, Consultant et entreprise de réalisation) pour que les travaux de livraison, d'installation et de mise en marche du système solaire se fassent dans les délais définis et acceptés par toutes les parties.

En effet, si les délais de livraison et d'installation conclus ne sont pas respectés, il peut arriver que certains modèles de composants dont les caractéristiques ont été définies dans le Cahier des Spécifications Techniques ne soient plus disponibles et qu'il faille les remplacer par de nouveaux modèles. Si ces nouveaux modèles ne sont pas correctement analysés (par l'entreprise réalisatrice et/ou le Consultant) pour s'assurer de leur compatibilité avec les autres composants, des dysfonctionnements du système solaire peuvent survenir après son installation. Situer les responsabilités d'un tel dysfonctionnement peut s'avérer difficile et leur réparation coûteuse, car l'entreprise réalisatrice et le concepteur du système solaire peuvent s'accuser mutuellement.

8.3 Le contrôle-qualité des composants et des travaux d'installation

Par expérience, en Afrique subsaharienne, la mission de contrôle de qualité des composants et travaux d'installation des systèmes solaires est l'une des missions ayant le plus grand potentiel de risques d'incompréhensions, de conflits et éventuellement d'enlisement du projet. La réussite de la mission dépend non seulement de la compétence (et de la diplomatie) de la personne mandatée pour le suivi-contrôle qualité, mais aussi du sérieux, de la bonne foi et de la compétence de l'entreprise mandatée pour la réalisation du système solaire ainsi que des acteurs (surtout décideurs) du projet.

En effet, il peut arriver qu'une entreprise réalisatrice de mauvaise foi achète des composants de moindre qualité que celle exigée dans le Cahier des Charges et qu'elle réétiquète (illégalement) ces mauvais composants avec des étiquettes (fabriquées illégalement) avec les composants exigés.

Non seulement la détection d'une telle manœuvre peut nécessiter beaucoup d'efforts et de moyens, mais en plus, même détectée, il reste à la personne chargée du suivi-contrôle qualité de le prouver et aussi de convaincre les décideurs de sa bonne foi. Le facteur aggravant d'une telle situation est quand les aspects de corruption de personne(s) dans les cercles des décideurs par l'entreprise réalisatrice rentrent en jeu. Il en va de même pour le contrôle de la qualité des travaux d'installation.

Si l'entreprise réalisatrice est de bonne foi et compétente, un contrôle à pied d'œuvre des travaux, c'est-à-dire une présence permanente du (ou des) contrôleur(s) sur le chantier, n'est pas nécessaire. Des contrôles ponctuels suffisent dans ce cas pour garantir la qualité des travaux. Cependant, si la recherche du gain maximum est le fil conducteur de l'entreprise réalisatrice, sans contrôle à pied d'œuvre les travaux d'installation seront bâclés.

A titre d'exemple, il nous est arrivé de vivre des expériences d'entreprises réalisatrices de mauvaise foi dans certaines de nos missions de contrôle-qualité de travaux d'installation de systèmes solaires d'alimentation de structures publiques. En effet, il était exigé dans le Cahier des Spécifications Techniques des trous de 45 cm de profondeur pour le passage des câbles électriques souterrains, ainsi que des tubes PVC pour la protection des câbles enterrés dans ces trous. A notre présence, les ouvriers de l'entreprise réalisatrice commencèrent à creuser les trous à la profondeur souhaitée. Mais dès

que nous avons quitté le chantier, ils ont ramené la profondeur à 25 cm, creusé rapidement tous les trous de passage et enterré les câbles sans tubes PVC de protection. A notre retour sur le chantier, tous les trous étaient refermés et les ouvriers ont juré avoir fait les choses telles qu'exigées. Il a fallu que nous ouvrons certaines parties des trous de passage pour constater la manœuvre et demander la reprise de tout le travail. La suite des travaux a nécessité un suivi-contrôle à pied d'œuvre, énormément de discussions, de temps et bien évidemment de frustrations.

Il est par conséquent du devoir et de la responsabilité du Consultant chargé du suivi-contrôle qualité des composants et des travaux d'installation d'un système solaire de bien analyser le sérieux, la bonne foi et la compétence de l'entreprise chargée de la réalisation et de définir conséquemment la stratégie de suivi-contrôle permettant d'obtenir les meilleurs résultats. Cela peut se faire (entre autres) par la visite de certains systèmes réalisés auparavant par l'entreprise en question, ce qui peut permettre de juger du niveau de compétence de l'entreprise. Aussi, l'inspection minutieuse de la qualité des composants livrés, surtout ceux dont les caractéristiques techniques n'ont pas été bien détaillées dans le cahier des charges permet de juger de la bonne foi de l'entreprise installatrice.

8.4 Formation des utilisateurs du système solaire

Il est nécessaire qu'au moins deux personnes dans le cercle des utilisateurs soient formées à comprendre dans l'essentiel le fonctionnement du système solaire et les manœuvres à exécuter en cas de dysfonctionnement.

En principe, un système solaire bien dimensionné, équipé de composants de qualité, bien installé et utilisé conformément aux prévisions n'a pas besoin d'interventions régulières de personne pour effectuer correctement son travail. Cependant, même bien fait, il peut arriver qu'un système solaire s'arrête automatiquement si :

- le système détecte un courant différentiel (courant de défaut) supérieur au seuil autorisé (risque d'électrocution de personne ou d'animaux) ;
- le système détecte un court-circuit (risque d'incendie) ;
- une charge supérieure à la capacité du système solaire est branchée.

Dans des cas pareils, le système solaire DOIT s'arrêter ; c'est une exigence des normes de sécurité d'un système solaire. En principe, dès que la cause de l'arrêt du système solaire est éliminée, il reprend automatiquement le service. Cependant, si l'erreur persiste, il peut s'avérer nécessaire de le redémarrer manuellement, après l'élimination de la cause de son arrêt automatique. Par conséquent, les utilisateurs doivent comprendre tous ces aspects et savoir comment agir si un tel arrêt survenait.

La formation des utilisateurs d'un système solaire d'alimentation d'établissement sanitaire doit contenir :

1. la composition de leur système solaire et la fonction principale de chaque composant ;
2. les potentiels risques liés à chaque composant du système solaire et les comportements à adopter

pour minimiser au maximum ces risques ;

3. les possibles causes pouvant conduire au dysfonctionnement du système solaire et les comportements à adopter pour les éviter ;
4. les possibles causes pouvant conduire à l'arrêt automatique (prévu) du système solaire et les comportements à adopter pour éviter de tels arrêts ;
5. la procédure de recherche d'une cause d'arrêt automatique du système solaire et de son élimination ;
6. la procédure de remise en marche du système solaire suite à un arrêt automatique (dont la cause a été éliminée) ;
7. les noms et les possibilités de contact d'au moins deux personnes de l'entreprise qui a livré et installé le système solaire et l'explication sur leur rôle en cas de dysfonctionnement du système solaire ;
8. le nom et les possibilités de contact du Consultant / Conseil des bénéficiaires et l'explication sur son rôle en cas de dysfonctionnement du système solaire ;
9. les explications sur les facteurs généraux pouvant permettre un bon et durable fonctionnement du système solaire et le rôle possible que ces personnes formées peuvent jouer pour cela. Ces facteurs généraux sont (entre autres), l'économie d'énergie (pour éviter les surcharges du système solaire) ; le maintien de la salle technique dans de bonnes conditions d'aération (pour permettre aux composants internes du système solaire de bien fonctionner et d'avoir une longue durée de vie) ; l'évitement des manipulations abusives du système solaire et le contrôle de son accès aux « personnes étrangères au service ».

La formation des utilisateurs du système solaire doit se faire dans une langue que les personnes à former comprennent correctement. Elle doit contenir une partie théorique (explications théoriques) et une partie pratique (les démonstrations sur les appareils). Il est nécessaire de répéter les manipulations (démonstrations) pratiques dans un intervalle de temps jusqu'à ce que les apprenant les maîtrisent.

Aussi, il est important d'expliquer clairement aux utilisateurs formés leurs limites dans leurs interventions sur le système solaire. Ils ne devraient en aucun cas s'adonner à des tâches réservées aux techniciens de la maintenance secondaire tel qu'ouvrir des coffrets et/ou serrer des connexions de câbles. Ces travaux ne sont réservés qu'à des techniciens ayant de très bonnes connaissances et expériences en techniques solaires et en réalisation de travaux électriques.

8.5 Le Service-Après-Vente (SAV) de système solaire

Le SAV des systèmes solaires est très négligé par bon nombre d'entreprises de livraison et d'installation de systèmes solaires photovoltaïques en Afrique subsaharienne.

Un bon service-après-vente de système solaire consiste à :

1. suivre le système solaire et accompagner (conseiller) ses utilisateurs pendant au moins douze (12) mois à partir de la date (officielle) de sa mise en service. Dans le contexte africain, cette durée permet de suivre minutieusement le comportement du système solaire pendant toutes les saisons et périodes climatiques que compte l'année dans la zone d'installation du système ;
2. assurer la formation continue et le suivi-conseil des utilisateurs du système solaire jusqu'à ce qu'ils maîtrisent parfaitement les manœuvres à faire en cas de besoin. En effet, surtout sur les systèmes solaires bien installés et fonctionnant correctement sans interventions pour raison de dysfonctionnement, il n'est pas rare de constater que les utilisateurs formés ont oublié après un certain temps les manœuvres qu'on leur a apprises. Même après le temps de garantie, une entreprise solaire avec un bon SAV devrait pouvoir répéter gratuitement aux utilisateurs les connaissances dont ils ont besoin pour intervenir sur leur système solaire en cas de besoin.
3. corriger (parfaire) la configuration et programmation du système solaire au cours des 12 mois d'observation dans le but d'optimiser son fonctionnement, la durée de vie des composants et éventuellement l'économicité du système solaire, surtout s'il s'agit d'un système solaire hybride (solaire + réseau électrique) ;
4. réparer gratuitement toute anomalie ou dysfonctionnement si elle/il n'est pas imputable à un abus de manipulation ou d'utilisation ;
5. assurer les services de garantie en cas de panne d'un composant encore sous garantie. Ces services peuvent être la réparation ou le remplacement gratuits du composant défectueux (si le défaut n'est pas dû à un abus de manipulation ou d'utilisation).
6. accompagner (même après la période de garantie) les utilisateurs à trouver des solutions aux problèmes éventuels auquel ils font face. Cet accompagnement après la période de garantie peut être facturé, mais il doit être disponible.

En tout état de cause, le fait de livrer et d'installer un système solaire, de répondre une ou deux fois aux appels de détresse du client pour régler des dysfonctionnements du système en question, et de disparaître ensuite dans la nature laissant le client seul avec ses problèmes liés au dysfonctionnement du système solaire est à bannir dans le milieu solaire en général et pour un système d'alimentation d'établissement de santé en particulier.

Et pourtant, le service-après-vente est partie intégrante de tout contrat de livraison et d'installation de systèmes solaires, et ce même si cela n'est pas expressément écrit dans le contrat. Il doit être fourni par l'entreprise qui a livré et installé les composants solaires. Si les composants ont été installés par une entreprise autre que celle qui les a livrés, le SAV lié à la garantie des composants (défaut de fabrication) est généralement à la charge de l'entreprise de livraison et le SAV relatif à l'installation est à la charge de l'entreprise installatrice des composants, à moins que les termes du contrat, formellement accepté par toutes les parties, définisse autrement les responsabilités du SAV de chacune de ces deux entreprises.

Pour cette raison, il est fortement recommandé que les services-après-ventes attendus soient clairement définis dans le contrat de réalisation. En plus de cela, des mesures doivent être prises pour obliger les entreprises à fournir le SAV en cas de besoin. Certaines de ces mesures consistent généralement à demander des garanties bancaires aux entreprises ou à retenir un pourcentage du coût de réalisation du projet jusqu'à la fin de la période de garantie.



Healthcare electrification in Burundi - ©ENERSOL



©FRES

9. MAINTENANCE DES SYSTEMES SOLAIRES PHOTOVOLTAIQUES

Une des attentes (infondées) de certains utilisateurs de systèmes solaires en Afrique subsaharienne est que, après installation, le système fonctionne « éternellement » sans entretien ni maintenance, « *vu que le soleil est toujours là* », comme argumentent quelques défenseurs d'une telle attente.

9.1 La nécessité de la maintenance en milieu Africain

Dans bon nombre de cas de systèmes solaires non fonctionnels ou qui fonctionnent avec beaucoup de peine, la cause principale est le dépôt (massif) de poussière, de déjections d'oiseaux, de feuilles d'arbres, morceaux de tissu ou de sachets, etc. sur la surface productive (cellules) des panneaux solaires. Ainsi, les cellules couvertes de saletés n'arrivent plus à capter correctement l'énergie du soleil, et les panneaux solaires ne peuvent donc plus produire assez d'énergie pour alimenter les appareils et recharger (en même temps) les batteries comme il se doit.

Ainsi, dans quelques cas de systèmes solaires où les panneaux sont couverts de saletés, même en pleine période d'ensoleillement, l'énergie des panneaux (même bien dimensionnés), ne suffit plus à couvrir les besoins des consommateurs électriques, ce qui oblige le système à recourir à l'énergie des batteries. Ainsi, cette énergie des batteries, étant en bonne partie déjà consommée dans la journée, ne suffit plus à faire fonctionner le système la nuit, d'où son arrêt dès que la nuit tombe.

Dans des conditions de fonctionnement d'un système solaire où les panneaux sont couverts de saletés, non seulement les consommateurs électriques alimentés par le système solaire n'auront pas assez d'énergie pour fonctionner (toute la nuit), pire, les batteries solaires permanemment mal chargées au cours de la journée et complètement déchargées chaque nuit (DoD journalier de 100%) se détériorent très rapidement (en moins de 2 ans). En outre, à un certain niveau de détérioration des batteries (si la tension DC trop basse à l'entrée DC de l'onduleur), le système solaire ne peut plus fonctionner (même dans la journée en présence de l'ensoleillement).

Au niveau des régulateurs de charge batteries et onduleurs / convertisseurs, le manque d'entretien peut avoir des conséquences très dommageables. En effet, en fonction du milieu et de l'index de protection (IP) de l'appareil, la poussière et quelque fois de petits insectes peuvent s'infiltrer dans l'appareil et s'accumuler de sorte à créer des courts-circuits dans les cartes électroniques. De tels courts-circuits peuvent sérieusement endommager l'appareil de sorte qu'il faille le remplacer complètement.

Pour toutes ces raisons ci-dessus décrites, l'entretien régulier des panneaux solaires et des composants internes (coffrets DC, régulateurs de charge batteries, onduleurs / convertisseurs, coffrets AC, etc.) est indispensable au bon et durable fonctionnement d'un système solaire.

9.2 Les travaux de maintenance primaire

La *maintenance primaire* d'un système solaire, également connue sous les appellations de « *maintenance de niveau 1* » ou « *entretien de système solaire* », consiste dans le contexte climatique d'Afrique subsaharienne :

- au **nettoyage périodique des panneaux solaires**. Ce nettoyage se fait à l'eau simple sans savon ni autre produit. Aussi, pour ne pas abimer (par des égratignures) les surfaces actives des cellules photovoltaïques, **il est déconseillé d'utiliser des chiffons, torchons et autres morceaux de tissu dont la composition n'est pas connue**. Si des outils d'aide sont nécessaires, il est alors indispensable d'utiliser du matériel adapté, à savoir un **balai télescopique** doté d'une brosse douce et non abrasive qui permet de nettoyer facilement la surface des panneaux et/ou un **chiffon doux** qui permet de nettoyer la surface des cellules photovoltaïques sans créer de micro-rayures. Certains fabricants de panneaux recommandent d'utiliser de l'eau déminéralisée ou filtrée pour éviter les dépôts calcaires sur les panneaux solaires. Mais dans le contexte d'Afrique Subsaharienne, cela reste difficile.
- au **nettoyage externe** périodique des composants installés dans la salle (ou **le local**) **technique**, à savoir les batteries, les régulateurs de charge, les onduleurs / inverseurs, les coffrets DC et AC, etc. Ce nettoyage se fait avec des morceaux de tissu légèrement mouillés à l'eau simple (sans savon ni autre produit).
- à **l'observation visuelle des composants** du système solaire dans le but de signaler toute anomalie constatée.

La fréquence du nettoyage dépend principalement de l'environnement géographique et climatique et varie en fonction du taux de poussière dans la zone où le système solaire est installé, mais aussi de la rapidité du milieu à produire des saletés nuisibles pour les composants du système solaire (chutes de feuilles d'arbres sur les panneaux solaires, transport de poussière dans la salle technique par les vents, etc.). Dans les zones à très fort taux de poussière en Afrique subsaharienne, il est recommandé de nettoyer les panneaux tous les 10 à 15 jours, c'est-à-dire 2 à 3 fois par mois, et les composants de la salle technique (nettoyage externe) 1 à 2 fois par mois. Dans les pays à très faible taux de poussière ou pendant les moments où il pleut régulièrement, la périodicité est à adapter au besoin de nettoyage.

La maintenance primaire peut être faite par un personnel non qualifié, mais formellement instruit (formé) pour la cause. En d'autres termes, il n'est pas absolument nécessaire que les maintenanciers primaires d'un système solaire soient des techniciens professionnels, même si cela est recommandé, notamment dans le cadre d'un contrat annuel de maintenance de 1er et 2ème niveau (voir point suivant).

9.3 Les travaux de maintenance secondaire

Aussi appelée « *maintenance de niveau 2* », la maintenance secondaire d'un système solaire dans le contexte d'Afrique subsaharienne consiste à :

- s'assurer de la bonne connexion des circuits électriques (branchements) de tous les composants du système solaire ;

- faire le nettoyage interne des composants ouvrables (onduleurs, régulateurs de charge, coffrets DC et AC, etc.).
- s'assurer de la fonctionnalité de tous les composants de protection et de commande du système solaire, à savoir les fusibles, les disjoncteurs, les commutateurs, etc.;
- s'assurer de la solidité mécanique des supports et fixation des panneaux solaires, régulateurs, onduleurs, coffrets DC et AC, etc.
- s'assurer de la capacité du système solaire à réagir aux dysfonctionnements (court-circuit, fuite de courant, surcharge, etc.) ;
- vérifier la capacité de production des panneaux du système solaire et, le cas échéant, prendre les mesures nécessaires permettant de rétablir la production optimale ;
- vérifier et corriger toute anomalie ou dysfonctionnement signalée par les utilisateurs.

La maintenance secondaire d'un système solaire doit être effectuée au moins une fois par an par un personnel qualifié et expérimenté en installations solaires photovoltaïques et en installations électriques. Les travaux et tests effectués au cours de cette maintenance ainsi que les résultats des tests doivent être documentés dans un rapport détaillé de maintenance mis à la disposition des responsables de l'établissement sanitaire en question. Ce rapport doit en outre contenir d'éventuelles recommandations permettant un fonctionnement et une exploitation optimale du système solaire.

Pour faire efficacement face à toutes ces exigences, il est souvent conseillé de confier les travaux de maintenance primaire et secondaire à une entreprise expérimentée de prestation de services solaires dans le cadre d'un contrat annuel de maintenance. Ledit contrat doit contenir de manière détaillée les travaux de maintenance à réaliser par l'entreprise de maintenance, les périodicités d'entretien et de maintenance ainsi que le coût (mensuel, trimestriel, semestriel ou annuel) de cette maintenance. Aussi, il est important de clarifier dans le contrat les responsabilités concernant les coûts de réparation de composants défectueux.

9.4 La nécessité de confier la maintenance à un prestataire professionnel

Assurer la maintenance périodique d'un système solaire nécessite du personnel, un savoir-faire et de la logistique, à savoir (entre autres) les moyens d'accéder aux panneaux solaires, un raccord de transport de l'eau du robinet aux panneaux solaires, et quelques fois un surpresseur pour renforcer la pression de l'eau si la pression du robinet ne suffit pas pour enlever les saletés sur les panneaux solaires. Aussi, la maintenance nécessite une documentation régulière des activités réalisées et de la production du système solaire.

10. POSSIBILITÉS D'OPTIMISATION DES SYSTÈMES SOLAIRES

Comme décrit dans les chapitres précédents, la conception et le dimensionnement d'un système solaire d'alimentation autonome ou hybride (solaire + réseau) d'un établissement sanitaire se fait sur la base des besoins électriques des consommateurs à alimenter. Cependant, dans la pratique, ces besoins sont non seulement très dynamiques, mais, par expérience, augmentent généralement d'années en année. Vu que la capacité de production d'un système solaire ne peut pas être agrandie permanemment pour l'adapter à la dynamique des besoins électriques, des mesures sont souvent nécessaires pour assurer un fonctionnement harmonieux du système solaire. Ces mesures sont (entre autres) la gestion automatique de sources et/ou des charges.

10.1 La gestion automatique des sources

Malgré la très bonne performance actuelle de bon nombre d'onduleurs hybrides, la combinaison du courant du réseau électrique et de celui d'un système solaire ne permet pas de garantir la disponibilité permanente de l'électricité dans tous les scénarios possibles de non-disponibilité de l'une ou l'autre des sources (solaire, batteries ou réseau électrique). Par conséquent, dans une alimentation hybride (solaire + réseau électrique) d'un établissement sanitaire, si une coupure d'électricité doit absolument être évitée, l'utilisation d'une Unité de Gestion Intelligente des Sources (UGS) peut s'avérer nécessaire.

Une telle UGS est généralement placée entre les sources (solaire et réseau électrique) et les consommateurs. Ainsi, en fonction de la programmation, l'UGS balance (connecte) les consommateurs soit sur le système solaire ou sur le réseau électrique (ou autres sources spécifiées tel qu'un groupe électrogène de secours). Elle peut permettre d'augmenter sensiblement la rentabilité économique du système solaire ou la durée de vie des batteries de stockage. En effet, pendant les moments de bon ensoleillement (entre 8h et 16h de la journée), consommer l'énergie solaire est plus généralement plus économique que la consommation de l'énergie du réseau. Pendant ces moments, l'UGS peut être programmée à balancer et maintenir les consommateurs à 100% sur le solaire, ce qui permet de réduire la consommation de l'énergie du réseau et, par conséquent, la facture électrique. Pendant les moments de faible ou de non-ensoleillement (entre 16h et 8h), la consommation de l'énergie solaire (principalement l'énergie des batteries) peut s'avérer plus coûteuse que celle du réseau à cause du vieillissement prématuré des batteries qu'une décharge profonde peut occasionner. Par conséquent, pour éviter cela, l'UGS peut être programmée à balancer les consommateurs sur le réseau pendant ces moments de faible ou de non-ensoleillement et à ne revenir sur l'énergie des batteries qu'en cas de coupure de réseau.

10.2 La gestion automatique des charges (économie d'énergie)

Une fois l'électricité disponible dans une structure de santé, les charges subissent une augmentation d'année en année. Cette évolution ne tient généralement pas compte des capacités de la source électrique (solaire, réseau et/ou GES). Si l'établissement de santé est alimenté par un système solaire autonome, une solution de gestion automatique des charges peut s'avérer nécessaire afin d'économiser l'énergie et d'adapter automatiquement et intelligemment les charges à la puissance (énergie) disponible.

Contrairement aux sources, il n'existe malheureusement pas de solution standard de gestion automatique des charges. Chaque situation doit être correctement analysée et la solution (d'électrotechnique

ou électronique) adaptée doit être conçue et développée conséquemment.

10.3 Le contrôle de la consommation électrique des logements du personnel

Comme décrit dans les chapitres précédents, dans les zones hors réseau d'Afrique subsaharienne, l'alimentation des consommateurs de base du personnel de soin d'un établissement de santé (surtout publique) par le système solaire de l'établissement peut s'avérer nécessaire ; ceci pour (entre autres) éviter des frustrations et des comportements du personnel de soin qui peuvent être nuisibles au bon et durable fonctionnement du système solaire.

Cependant, dépendamment de la bonne ou mauvaise foi de ce personnel de soin et/ou de leur famille, l'alimentation de consommateurs privés peut constituer un véritable casse-tête et une source de dysfonctionnement et même d'instabilité du système solaire.

Par conséquent, quand les consommateurs électriques privés des logements du personnel de soin d'un établissement sanitaire doivent être alimentés par le système solaire (central), il est vivement recommandé de contrôler automatiquement la consommation de ces consommateurs et, dans le cas échéant, de limiter automatiquement cette consommation. Des limiteurs de puissance ou gestionnaires d'énergie peuvent permettre d'atteindre ces objectifs.

Les (bons) limiteurs de puissance ou gestionnaires d'énergie offrent des fonctions de contrôle et de gestion automatique de la puissance électrique consommée par des consommateurs. A titre d'exemple, le modèle OM-611 de la marque F&F permet de contrôler des charges de 115 W et 1150 W. En cas de dépassement de la puissance autorisée, le limiteur de puissance coupe l'alimentation (après 4 à 40 secondes programmables), et ce pendant 15 à 300 secondes (programmables) (Reeline, 2025).

10.4 La désignation d'un Monsieur ou d'une Madame Energie au sein de l'établissement sanitaire

L'arrivée pour la première fois du courant électrique (surtout solaire) dans un établissement de santé (en milieu rural) peut occasionner au sein des utilisateurs (personnel de l'établissement et patients) des comportements que même les meilleurs outils de gestion automatique de l'énergie ne peuvent gérer. Ces comportements, s'ils ne sont pas gérés de manière optimale et durable, peuvent avoir un impact négatif sur le bon fonctionnement et/ou la durabilité du système solaire. Pour cette raison, il est conseillé de désigner un « Monsieur Energie » ou une « Madame Energie » assisté(e) d'un(e) adjoint(e) au sein de l'établissement de santé. Ces personnes seront alors formées par l'entreprise réalisatrice du système solaire :

- au suivi de la bonne gestion de l'énergie par le personnel sanitaire et par les visiteurs et patients. Ce suivi inclut la sensibilisation des utilisateurs sur la nécessité d'éviter le gaspillage de l'énergie et les comportements à adopter pour cela.
- à la coordination de la (bonne) communication entre les acteurs, à savoir la structure sanitaire, les représentants des bénéficiaires, le Conseil Technique, les entreteneurs/maintenançiers ainsi que l'entreprise fournisseuse et installatrice du système solaire;

- au contrôle systématique des appareils privés (chargeurs de téléphones, chauffe-eaux électriques mobiles, etc.) que les utilisateurs pourraient amener de l'extérieur pour les brancher au système solaire et à la vérification de l'aptitude de ces appareils à fonctionner sur le réseau électrique de l'établissement de santé.

En effet, il arrive quelques fois qu'un système solaire autonome soit mis à l'arrêt par un simple chargeur de téléphone de très mauvaise qualité et que de longues (et quelques fois coûteuses) fouilles soient nécessaires pour retrouver la cause du dysfonctionnement. Pour éviter cela, il est souvent conseillé que des mesures pratiques soient prises pour que chaque appareil à brancher sur le réseau électrique de l'établissement de santé soit au préalable visé par « Monsieur ou Madame Energie ».



11. CONCLUSION

L'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque dans le monde en général et en Afrique en particulier a un grand potentiel pouvant permettre l'accès à l'électricité ou l'augmentation de la sécurité énergétique de bon nombre de structures et l'atteinte des objectifs climatiques que l'humanité s'est fixés.

En effet, dû au très bon ensoleillement du continent africain, bien dimensionné et correctement installé avec des composants de bonne qualité, un système solaire PV d'alimentation de services en général et d'établissement sanitaire en particulier permet d'éliminer l'utilisation de groupes électrogènes de secours (et avec eux leurs coûts de fonctionnement et leur pollution).

Il y a certes plusieurs obstacles qui freinent encore l'utilisation du solaire photovoltaïque en Afrique subsaharienne ; obstacles qui sont (entre autres) le coût encore relativement élevé de certains composants solaires, la méconnaissance du potentiel de l'utilisation du solaire (en lieu et place de groupe électrogènes de secours) par un bon nombre de bailleurs de fonds, de décideurs et/ou de bénéficiaires, ainsi que le nombre (encore) relativement élevé d'expériences ratées d'alimentation de structures (sanitaires) par des systèmes solaires. Cependant, dû au fait que de plus en plus de mesures sont prises par les acteurs du solaire et les pouvoirs publics dans les différents pays africains pour éliminer ces obstacles, les tendances actuelles sont très bonnes pour l'utilisation massive du solaire.

Le présent document, dont la réalisation a été initiée et financée par l'Alliance pour l'Électrification Rurale (association internationale) avec le soutien technique et financier de l'ADEME (Agence de la Transition Ecologique, établissement public français), est destiné aux décideurs financiers et administratifs, aux bénéficiaires d'établissements sanitaires, ainsi qu'aux techniciens concepteurs, installateurs et maintenanciers de systèmes solaires photovoltaïques en Afrique subsaharienne. Il a pour ambition de servir de guide pratique dans la prise de décision de réalisation, dans la conception, le dimensionnement et l'installation de systèmes solaires d'alimentation d'établissements sanitaires (surtout en milieu rural).

Nous espérons que le suivi des conseils et des approches de dimensionnement, d'installation et de gestion optimale et durable des systèmes solaires photovoltaïque proposées dans ce guide permettent de réaliser des systèmes performants pour l'alimentation de structures en général et d'établissement sanitaires en particulier.



Matongo Birthing Clinic - ©Schneider Electric

12. BIBLIOGRAPHIE

- [1] WB-Data Bank, 2025 : World Bank Data Bank Banque mondiale, Sustainable Energy for All (SE4ALL), dernière consultation en ligne le 9 mars 2025 de [Sustainable Energy for All | Data-Bank](#)
- [2] Dr Olivier Manigart, 2023 : Interview avec le Dr Olivier Manigart, Senior Team Leader pour GFA Consulting Group en appui à l'Organisation Ouest Africaine de la Santé (OOAS) dans le cadre du projet PROLAB, financement Banque Allemande de Développement (KfW), pour l'approvisionnement électrique de 19 laboratoires de référence dans 10 pays d'Afrique de l'Ouest via l'énergie solaire PV
- [3] PowerTech Systems, 2025: PowerTech Systems, dernière consultation en ligne le 9 mars 2025 de [Les Avantages du Lithium-ion vs Batteries plomb.](#)
- [4] Global Solar Atlas, 2025: dernière consultation en ligne le 9 mars 2025 de <https://globalsolaratlas.info/map>.
- [5] Indice de Performance, SMA 2025 : dernière consultation en ligne le 9 mars 2025 de <https://files.sma.de/downloads/Perfratio-T1-fr-11.pdf>
- [6] IBGE, 2025 : Les facteurs influençant la production PV, IBGE, Institut Bruxellois pour la gestion de l'Environnement, dernière consultation en ligne le 9 mars 2025 de https://document.environnement.brussels/opac_css/electfile/IF%20ENERGIE%20Mod4%20Facteurs%20production%20FR
- [7] SOLARIS STORE, 2025 : Expert de l'autonomie solaire, dernière consultation en ligne le 9 mars 2025 de <https://www.solaris-store.com/>
- [8] Powertech Systems, 2025: Advanced Energy Storage Systems, dernière consultation en ligne le 9 mars 2025 de <https://www.powertechsystems.eu>.
- [9] ARE, 2025: Best Practices for Electrifying Rural Health Care Facilities with Decentralised Renewables, Alliance for Rural Electrification (ARE), dernière consultation en ligne le 9 mars 2025 de https://www.ruralelec.org/wp-content/uploads/2023/11/2020-07-30-Best-Practices-for-Electrifying-Rural-Health-Facilities_Final.pdf .
- [10] Reeline, 2025 : grossiste en ligne de matériel électrique, dernière consultation en ligne le 9 mars 2025 de <https://reeline.fr/>
- [11] AESOLAR, 2025: caractéristiques techniques des panneaux solaires AE CMD-144BDS Series 560W-580W, dernière consultation en ligne le 9 mars 2025 de https://www.ae-solar.com/documents/solar_panels/Meteor/AE_CMD-144BDS_560W-580W_Ver24.1.1.pdf
- [12] BRE, 2006: Photovoltaics in Buildings, Guide to the installation of PV systems, 2nd Edition GUIDE, BRE, EA Technology, Halcrow Group, SunDog Energy, (2nd Edition: Sundog Energy, Halcrow Group, Energy Saving Trust), 2006.



**Alliance for Rural
Electrification**



**Rue d' Arlon 63
1040 Bruxelles, Belgique
Tel : +32 2 400 10 00
E-mail : are@ruralelec.org**