



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

POWERING HEALTH

OPTIONS D'ÉLECTRIFICATION POUR LES CENTRES DE SANTÉ RURAUX



POWERING HEALTH

OPTIONS D'ÉLECTRIFICATION POUR LES CENTRES DE SANTÉ RURAUX

« Nous travaillons avec un hôpital local au Rwanda qui opère souvent sans eau ni électricité. Ils ont un générateur énorme mais n'ont pas l'argent pour l'utiliser pendant une journée entière. Ils ne peuvent pas utiliser l'équipement de laboratoire ou les appareils de radiographie sans faire marcher le générateur. Le téléphone est alimenté par un petit panneau solaire qui contient une batterie de mauvaise qualité, ce qui veut dire que dès qu'un nuage apparaît, le téléphone ne fonctionne plus. L'éclairage dans l'hôpital est réduit au minimum. »

– Jeroen van't Pad Bosch, Elizabeth Glaser Pediatric AIDS Foundation

Table des matières

Objectifs et priorités : Un historique bref	1
I. Énergie fiable : Une pré-condition à la réussite.....	3
II. Comprendre les besoins généraux en matière d'énergie.....	4
III. Options en matière de production d'électricité.....	10
IV. Durabilité des systèmes	22
Annexe A : identifier la catégorie de votre centre d'examens de santé.....	25
Annexe B : estimer votre consommation énergétique	27
Notes.....	28
Glossaire.....	30
Étude de cas I : évaluer les options en matière de production d'énergie.....	32
Étude de cas II : le projet eau et électrification de l'hôpital de Kalungi.....	34
Remerciements.....	37

Objectifs et priorités : un historique bref

L'électricité est en train de devenir une commodité essentielle dans les centres de soins de santé éloignés des milieux urbains. Des améliorations récentes dans la distribution des vaccins et autres articles dépendants de la chaîne du froid, ainsi que la pression mondiale pour fournir des services et drogues antirétrovirales aux

« Les coupures d'électricité ont pour résultat une perturbation des programmes de traitement ou l'incapacité de pouvoir utiliser avec confiance des appareils électriques tels que les équipements de laboratoire. Pour les sites dépendants de générateurs, aucun d'entre eux n'a indiqué être capable de pouvoir utiliser les générateurs pour de longues périodes de temps soit à cause du coût et de la difficulté à se procurer du combustible soit à cause de la pénurie de mécaniciens locaux nécessaires pour assurer le bon fonctionnement des moteurs. »

– Eddie Kariisa, Centres pour le contrôle et la prévention des maladies, le Rwanda

patients séropositifs VIH à l'échelle mondiale, ont créé de nouvelles demandes en matière d'électricité sur des sites qui ont un accès minimal ou non-existant à une source d'électricité fiable. Les réfrigérateurs et les outils de diagnostic électroniques font partie de la norme pour ce qui est de la prestation de soins dans de nombreux centres de santé ruraux à travers le monde.

Powering Health est une ressource pour les professionnels de la santé cherchant à électrifier des centres de soins de santé qui n'ont actuellement pas de source d'énergie ou à garantir que l'alimentation énergétique sera fournie

de façon ininterrompue dans les centres qui sont reliés à un réseau électrique peu fiable. Les informations sont fournies pour aider l'utilisateur à peser le pour et le contre de systèmes énergétiques variés avec une attention particulière prêtée aux solutions appropriées et des considérations spéciales accordées aux hôpitaux et centres d'examen de santé ruraux hors réseau.

***Powering Health* couvre les domaines spécifiques suivants :**

- * Calibrer les demandes en matière d'énergie : conseils pour réaliser l'inventaire des équipements médicaux et autres afin de parvenir à une estimation des besoins du centre en matière d'énergie.
- * Comprendre les options en matière d'énergie : descriptions brèves des systèmes solaire, éolien, à mouvement alternatif, et hybrides.
- * Sélectionner un système producteur d'énergie : les facteurs qui influencent le choix d'un système, y compris la taille du centre, le type de soins, le budget, la disponibilité des ressources, et la situation géographique.
- * Réaliser des investissements durables : options pour l'entretien et la planification financière afin de garantir la durabilité et la fiabilité à long terme du système énergétique du centre.

Nous encourageons nos lecteurs à s'adresser à des experts pour obtenir la gamme entière des informations nécessaires qui pourront répondre à leurs besoins énergétiques de la façon la plus fiable et logique du point de vue budgétaire. Des chiffres représentant les coûts sont inclus dans un but illustratif, et il est fort possible que les prix sur le marché varient considérablement dans les différentes régions. Les besoins de base en matière d'entretien des différentes technologies sont discutés, mais ce guide n'est pas un manuel de l'utilisateur. Dans tous les cas, les responsables dans le domaine du développement international et le personnel des centres doivent examiner les besoins spécifiques à leur centre et discuter des options en matière d'énergie avec des experts sur la question et des entrepreneurs locaux.

I. Énergie fiable : une pré-condition à la réussite

Les professionnels de la santé dans les centres ruraux doivent faire face à des défis inattendus de façon quotidienne. Une infrastructure de mauvaise qualité peut retarder la livraison d'un approvisionnement médical critique, et des conditions météorologiques adverses peuvent rendre l'accès au centre difficile pour certains patients. Une source énergétique peu fiable rend ces défis encore plus difficiles à relever. Si la chaîne du froid ne fonctionne pas quand l'approvisionnement arrive, les vaccins, le sang, et autres médicaments peuvent devenir inutilisables. Si un centre n'a pas d'éclairage, les patients arrivant pendant la nuit doivent attendre jusqu'au matin pour recevoir des soins. Sélectionner une source appropriée d'énergie fiable et durable peut aider à mitiger certains des défis inhérents au fonctionnement d'un centre de santé dans le monde en voie de développement.

Approche graduelle à l'électrification de votre centre de santé

1. Identifier les demandes énergétiques actuelles de votre centre de santé
Complétez les espaces vides de la carte au verso de cette brochure avec les informations spécifiques à votre cas.
2. Établissez des changements à court terme
Déterminez si vos demandes énergétiques changeront dans un avenir proche.
3. Établissez une cible en kWh/jour
Complétez les espaces vides de la carte au verso de cette brochure avec les informations spécifiques à votre cas.
4. Déterminez les technologies nécessaires pour atteindre votre cible
Évaluez les technologies énergétiques.
5. Achetez, conceptualisez un système, et installez la technologie
Sélectionnez la technologie énergétique la plus appropriée.
6. Entretenez et financez votre technologie énergétique
Instituez un(des) mécanisme(s) financier(s) responsables pour les besoins et les coûts en matière d'exploitation et d'entretien.

N'oubliez pas de contacter un expert pour l'évaluation, la conception, l'achat, l'installation du système, et l'entretien des technologies énergétiques.

II. Comprendre les besoins généraux en matière d'énergie

Lorsqu'un centre étudie le type d'électrification nécessaire au maintien de ses opérations quotidiennes, il doit tout d'abord comprendre ses besoins de base. L'évaluation des besoins comprendra un inventaire des types d'équipement utilisés dans le centre et la puissance électrique nécessaire au fonctionnement de chaque dispositif. Comprendre la « charge quotidienne », ou la quantité de puissance électrique nécessaire au fonctionnement de l'équipement dans des conditions de travail normales, influencera le choix du type d'alimentation énergétique. Une fois la demande quotidienne en énergie établie, une gamme d'options d'électrification peut être passée en revue. Comprendre le besoin fournira également aux gestionnaires un budget réaliste pour l'achat, l'installation, et l'entretien du nouveau système.

Calculer les besoins de votre centre en matière d'énergie

Les annexes A et B peuvent être utilisées pour aider les professionnels de la santé à identifier les demandes énergétiques générales de leur centre et répondre à cette demande avec une solution d'électrification appropriée. L'annexe A, *Identifier la catégorie de votre centre d'examen de santé* fournit des estimations de consommation énergétique pour l'équipement généralement utilisé dans des centres de santé variés. L'annexe B, le diagramme *Estimer votre consommation énergétique*, peut être utilisée pour adapter les informations figurant dans l'annexe A à un centre spécifique. Après avoir complété le diagramme avec vos données spécifiques, vous obtiendrez une estimation de la demande énergétique générale de votre centre. Ces informations, en plus d'une consultation avec un expert, vous aideront lors de la sélection d'une technologie d'électrification appropriée.

Penser de façon stratégique : s'adapter aux changements

Une fois qu'un centre a analysé en détail les demandes énergétiques pour son exploitation quotidienne, il doit déterminer s'il est probable que ces demandes changeront à l'avenir. Les gestionnaires du centre doivent envisager de façon stratégique la possibilité que les demandes énergétiques puissent augmenter à cause d'un nombre grandissant de patients, du prolongement des heures ouvrables, ou de nouveaux services. Une fois que ce processus a été complété et qu'une évaluation adéquate des besoins a été faite, le gestionnaire peut déterminer les différentes options énergétiques qui répondent à ces demandes. Ces options doivent être passées en revue en tenant compte de tous les facteurs spécifiques au centre.

Catégorisation des centres d'examens de santé

La section suivante décrit plusieurs types de centres de santé. Les demandes énergétiques d'un centre de santé seront un élément essentiel dans la sélection de la technologie d'électrification la plus appropriée. *Veillez noter : ces descriptions sont fournies en tant que lignes directrices comparatives et ne sont pas des descriptions précises d'un centre unique.*

Postes sanitaires

Les postes sanitaires sont les centres de santé les plus petits offrant les services de base. Typiquement, ces établissements n'ont pas de docteur ou d'infirmière permanente parmi le personnel. Il est possible que le poste sanitaire ait un prestataire de soins premiers à temps complet ou partiel. Les services disponibles aux postes sanitaires comprennent le traitement des maladies sans gravité, les soins pour les blessures superficielles et, dans les endroits où cela est possible, la prestation des services d'immunisation de base. En raison de la quantité limitée de l'équipement utilisé, la demande énergétique générale des postes sanitaires est relativement basse. Il est possible de répondre aux demandes énergétiques d'un poste sanitaire par les options d'électrification *Centre de santé de catégorie I*, tout en tenant compte de la demande énergétique quotidienne réduite.

Centres d'examens de santé

Les centres d'examens de santé sont en général plus grands que les postes sanitaires et emploient une ou plusieurs infirmières à temps complet. Il est possible que certains centres de la sorte emploient également un docteur à temps partiel, selon sa taille et sa situation géographique. Un centre d'examens de santé offre une gamme de services plus étendue que le poste sanitaire et possédera de l'équipement permettant des diagnostics plus sophistiqués. Les centres d'examens de santé ruraux font généralement partie d'une parmi trois catégories (*Catégories I, II et III*) selon le type et la quantité des dispositifs médicaux utilisés dans le centre et la fréquence à laquelle ils sont utilisés de façon quotidienne. Il est possible que les ressources locales rendent des options énergétiques spécifiques plus ou moins avantageuses dans chaque endroit. Les catégories figurent sur la liste de la page six.

D'autres types de centres de santé qui nécessitent une électrification fiable et durable comprennent les banques de sang, les laboratoires et pharmacies indépendantes, et les centres de traitements antirétroviraux (ARV). Selon leur taille, les banques de sang, les laboratoires indépendants, et les pharmacies utiliseront de l'équipement similaire à celui présent dans les *Centres d'examens de santé de catégorie I or II* et auront des besoins énergétiques similaires. Les centres ARV auront des demandes énergétiques considérables similaires à celles présentes dans un *Centre d'examens de santé de catégorie III* ou plus. Il est possible que les demandes énergétiques soient intenses pour certains centres ARV en raison de la technologie informatique et de l'équipement supplémentaire nécessaire pour réaliser des analyses de sang rapides.

Le *Tableau I : Besoins des centres d'examens de santé en matière d'énergie* de la page huit illustre le coût estimé de technologies énergétiques variées pour toute une gamme de

tailles de centres d'examens de santé. En général, les options d'énergie renouvelable (par exemple, les systèmes photovoltaïques) auront des coûts d'investissement plus élevés que le diesel ou d'autres options de production d'électricité à base de combustible.

Cependant, à long terme, les systèmes renouvelables auront des coûts d'exploitation plus bas et produiront peu de ou aucune émission. Dans les systèmes d'énergie renouvelable, l'entretien de la batterie, le nettoyage occasionnel, et les systèmes antivols seront les coûts récurrents importants. Un système hybride utilisant une source d'énergie alternative (par exemple, un système photovoltaïque) et un générateur traditionnel (par exemple, à diesel) aura un coût d'investissement initial plus élevé qu'un système uniquement renouvelable ; cependant, les systèmes hybrides présentent une plus grande flexibilité, y compris la capacité d'un système à assister l'autre. Dans un but illustratif, un système hybride photovoltaïque/diesel est représenté dans le *Tableau I* de la page huit. Les prix sur le marché dans un endroit donné peuvent varier considérablement par rapport à ceux figurant dans le tableau.

Centre d'examens de santé de catégorie I (demandes en énergie basses, 5 – 10 kWh/jour)

- * Typiquement situé dans un endroit éloigné avec des services limités et un personnel réduit
- * Environ 0 – 60 lits
- * Électricité nécessaire pour :
 - Éclairer le centre pendant les heures nocturnes et assister les procédures chirurgicales limitées (par exemple, les points de suture)
 - Maintenir la chaîne du froid pour les vaccins, le sang, et autres fournitures médicales. Un ou deux réfrigérateurs peuvent être utilisés
 - Utiliser l'équipement de laboratoire de base – une centrifugeuse, un mélangeur hématologique, un microscope, un incubateur, et un aspirateur manuel

Centre d'examens de santé de catégorie II (demandes en énergie modérées, 10 – 20 kWh/jour)

- * Environ 60 – 120 lits
- * Équipement médical similaire au centre d'examens de santé de catégorie I ; la fréquence d'utilisation et la quantité de dispositifs sont des facteurs de différenciation clés entre les centres d'examens de santé de catégories I et II
- * Des réfrigérateurs séparés peuvent être utilisés pour conserver les denrées alimentaires et la chaîne du froid
- * Un dispositif de communication, tel qu'une radio, peut être utilisé
- * Peut accommoder de l'équipement médical pour diagnostic plus sophistiqué et participer à la réalisation de procédures chirurgicales plus complexes

Centre d'examens de santé de catégorie III (demandes en énergie élevées, 20 – 30 kWh/jour)

- * Environ 120 lits ou plus
- * Peut servir de centre directif régional et coordonner la communication entre plusieurs centres plus petits et les hôpitaux dans les grandes villes
- * Peut avoir besoin de communiquer avec les centres de santé éloignés et les hôpitaux par téléphone, fax, ordinateur, et Internet
- * Peut avoir des dispositifs de diagnostic sophistiqués (appareil de radiographie, compteurs de CD4, équipement pour dépistage sanguin, etc.) nécessitant un apport énergétique supplémentaire

Référez-vous à l'annexe A pour une liste échantillon d'équipements variés et des demandes en énergie qui leur sont associées pour les différentes catégories de centres d'examens de santé. La réfrigération, l'éclairage, et les ordinateurs sont supposés être éconergétiques ; tous les autres dispositifs sont standard (non éconergétiques). La liste des équipements et des demandes énergétiques figurant dans l'annexe A sont des approximations conçues pour fournir au lecteur un cadre abrégé afin de mieux comprendre les informations figurant ci-dessous.

Tableau I : Besoins de centres d'examens de santé en matière d'énergie

5 kWh/JOUR				
Technologie	Taille du système	Capital (\$)	Exploitation (\$/an)	Hypothèses exploitation & entretien
Système photovoltaïque solaire avec batteries	Panneaux de 1 200 W ; batteries de 20 kWh	Système à 12 000 \$; batteries à 2 000 \$	500 \$	1% du coût annuel du système (comprend l'entretien et le remplacement des composants, ne comprend pas la sécurité) ; coût du remplacement des batteries amorti tous les cinq ans (20% du coût des batteries)
Turbines éoliennes avec batteries	Turbine de 1 750 W ; 20 batteries de 20 kWh	Système à 10 000 \$; batteries à 2 000 \$	600 \$	2% du coût annuel du système ; coût du remplacement des batteries amorti tous les cinq ans
Générateur à moteur diesel	2,5 kW	2 000 \$	1 400 \$	Entretien à 0,0075 \$/kWh ; combustible à 0,67 \$/kWh (1 \$/litre pour le combustible consommé) ; exploitation à 4 kWh par jour à 50% de capacité, et remplacement du moteur tous les dix ans
Systèmes hybrides	Panneaux de 1 200 W ; batteries de 10 kWh ; moteur de 500 W	Système photovoltaïque à 12 000 \$; batteries à 1 000 \$; générateur à 500 \$	450 \$	1% du coût annuel du système photovoltaïque ; remplacement des batteries tous les cinq ans ; 200 heures d'exploitation annuelle du moteur ; remplacement du moteur tous les dix ans
Extension de réseau	Néant	10 000 \$ ou plus le mile	200 \$	Courant à 0,10 \$/kWh

15 kWh/JOUR				
Technologie	Taille du système	Capital (\$)	Exploitation (\$/an)	Hypothèses exploitation & entretien
Système photovoltaïque solaire avec batteries	Panneaux de 3 600 W ; batteries de 60 kWh	Système à 36 000 \$; batteries à 6 000 \$	1 550 \$	Identique au précédent
Turbines éoliennes avec batteries	Turbine de 5 250 W ; 20 batteries de 20 kWh	Système à 28 000 \$; batteries à 6 000 \$	1,750 \$	Identique au précédent
Générateur à moteur diesel	2,5 kW	2 000 \$	3 900 \$	Identique au précédent avec exploitation à 15 kWh par jour à 50% de capacité
Systèmes hybrides	Panneaux de 3 500 W ; batteries de 30 kWh ; moteur de 1,5 kW	Système photovoltaïque à 35 000 \$; batteries à 3 000 \$; générateur à 1 000 \$	1 350 \$	Identique au précédent avec 200 heures d'exploitation annuelle du moteur
Extension de réseau	Néant	10 000 \$ ou plus le mile	550 \$	Identique au précédent

25 kWh/JOUR				
Technologie	Taille du système	Capital (\$)	Exploitation (\$/an)	Hypothèses exploitation & entretien
Système photovoltaïque solaire avec batteries	Panneaux de 6 000 W ; batteries de 100 kWh	Système à 55 000 \$; batteries à 10 000 \$	2 550 \$	Identique au précédent
Turbines éoliennes avec batteries	Turbine de 8 750 W ; batteries de 100 kWh	Système à 44 000 \$; batteries à 10 000 \$	2 900 \$	Identique au précédent
Générateur à moteur diesel	2,5 kW	2 000 \$	6 400 \$	Identique au précédent avec exploitation à 15 kWh par jour à 67% de capacité
Systèmes hybrides	Panneaux de 6 000 W ; batteries de 50 kWh ; moteur de 2,5 kW	Système photovoltaïque à 55 000 \$; batteries à 5 000 \$; générateur à 2 000 \$	2 200 \$	Identique au précédent avec 200 heures d'exploitation annuelle du moteur
Extension de réseau	Néant	10 000 \$ ou plus le mile	900 \$	Identique au précédent

Éconergie : réduire la consommation et réduire le coût

Comme le tableau ci-dessous l'indique, un centre de santé peut réduire ses demandes énergétiques de façon considérable en utilisant des appareils et des dispositifs éconergétiques. Typiquement, les équipements et appareils éconergétiques sont plus chers que les modèles à rendement standard. Cependant, le coût plus élevé est généralement recouvert par les coûts d'investissement et d'exploitation réduits d'un système de production d'électricité plus petit.

Description	Demande énergétique ou consommation énergétique d'un modèle éconergétique	Demande énergétique ou consommation énergétique d'un modèle à rendement standard
Ordinateur	15 - 20 W (Ordinateur portable)	40 - 80 W (ordinateur de bureau sans moniteur)
Moniteur d'ordinateur	30 W (Moniteur LCD 15")	65 - 120 W (Moniteur CRT de 15" à 21")
Lampe électrique	15 W (Lampe compacte fluorescente)	60 W (Lampe incandescente avec une capacité d'éclairage comparable)
Réfrigérateur/congélateur	800 Wh/jour	De 1 800 à 2 500 Wh/jour

Installer de l'équipement à meilleur rendement est un composant important de la conservation énergétique, mais de bonnes pratiques de gestion sont tout aussi importantes. Celles-ci comprennent entretenir l'équipement de façon adéquate, isoler tout endroit qui est chauffé ou refroidi, éteindre l'éclairage ou l'équipement non utilisé où cela est possible, et surveiller la consommation d'énergie. Tous les membres du personnel des centres de santé doivent connaître les mesures nécessaires pour répondre aux besoins énergétiques du centre et doivent être encouragés à participer à la conservation de l'énergie.

III. Options en matière de production d'électricité

Après avoir déterminé la consommation énergétique quotidienne typique de votre centre, il est temps d'évaluer les technologies énergétiques disponibles pour l'électrifier. Les centres d'examen de santé ruraux ont un certain nombre d'options à leur disposition pour établir une source fiable d'électricité. La meilleure option pour une application donnée dépend d'un certain nombre de facteurs, et dans certains cas une combinaison de mesures peut s'avérer être la meilleure solution.

Certains facteurs à prendre en considération comprennent :

- * Fiabilité du réseau local
- * Ressources locales en énergie renouvelable (éolienne, solaire, biomasse)
- * Coût et disponibilité locaux des ressources d'énergie conventionnelles (diesel, propane, essence)
- * Disponibilité locale de systèmes, pièces, entreprises de service, et techniciens
- * Politiques et mesures d'encouragement gouvernementales
- * Conditions de fiabilité des systèmes
- * Capacité technique et financement pour l'entretien et le remplacement des systèmes
- * Considérations spéciales ou caractéristiques opérationnelles désirées – c'est-à-dire, bruit, émissions, etc.

Options

Des caractéristiques clés sont discutées pour les technologies/options suivantes :

- * Photovoltaïque
- * Éolienne
- * À mouvement alternatif (générateurs)
- * Systèmes hybrides
- * Extension du réseau

Éléments moteur des technologies énergétiques

Le coût d'investissement est le coût initial pour acheter et installer l'équipement. Dans de nombreux cas, une portion de ce coût peut être prise en charge par des subventions ou d'autres formes d'assistance. Les centres doivent être conscients que l'équipement électrique – y compris les générateurs, convertisseurs, contrôleurs de charge, et batteries – peuvent varier grandement en coût et en qualité. Dans de nombreux cas, les modèles de haute qualité coûteront plus chers, mais peuvent avoir un retour sur l'investissement appréciable grâce à une meilleure fiabilité du courant l'électricité et à une plus longue durée de vie du système. Les coûts varient aussi considérablement selon le marché local. Faire des recherches auprès de marques spécifiques est essentiel.

Le coût d'exploitation comprend le coût du combustible (où cela est applicable), de l'exploitation et de l'entretien, de la sécurité, et des pièces achetées pour les réparations. Les coûts des contrats d'entretien et/ou de la formation du personnel du centre doivent être inclus dans les coûts d'exploitation. Les coûts d'exploitation varieront plus que les coûts d'investissement en raison de différences parmi les :

- * Prix du combustible au fil du temps et de pays à pays.
- * Habitudes d'utilisation. Les systèmes seront sujets à un stress plus ou moins prononcé au cours d'une journée donnée selon le nombre d'heures d'exploitation, la quantité de puissance électrique qu'ils fournissent, et le type d'équipement consommant les charges (par exemple, un équipement à haute densité tel que les appareils de radiographie comparé à un équipement à basse densité tel que l'éclairage).
- * Conditions environnementales.

La durabilité est la durée de vie typique d'un système, exprimée soit en années soit (pour les générateurs de moteur) en heures de fonctionnement.

La fiabilité est exprimée en tant que fraction de temps au cours de laquelle l'équipement est disponible pour fournir du courant électrique. Les générateurs ont besoin d'être débranchés pour être entretenus de temps en temps, et les systèmes électriques éoliens et solaires nécessitent des conditions météorologiques optimales pour fournir un rendement maximum. Les systèmes peuvent généralement atteindre une fiabilité plus poussée en y ajoutant des éléments de rechange/de secours, bien que généralement cela en augmente le coût et la complexité.

Les émissions des générateurs comprennent les polluants formant le smog, les particules atmosphériques, et les gaz à effet de serre.

Des considérations spéciales existent pour chaque technologie. Celles-ci peuvent comprendre la disponibilité des ressources, les questions pratiques liées au déploiement ou à l'exploitation, ou les risques et dangers associés à l'équipement. Les experts notent qu'un élément important à considérer et commun à de nombreux programmes d'électrification est la coopération du gouvernement hôte à tous les niveaux. Les frais tels que la douane, les permis, ou les forfaits de raccordement, ainsi que les délais associés à ces processus, peuvent rendre un système beaucoup plus cher qu'il ne le serait autrement.

Les systèmes photovoltaïques produisent de l'électricité à partir du rayonnement du soleil capturé par des panneaux solaires. L'énergie capturée de cette façon peut être utilisée pour fournir un courant électrique direct à de l'équipement électrique, ou bien elle peut être emmagasinée dans des batteries pour fournir du courant indirect. Avec l'apport d'une batterie, les systèmes photovoltaïques sont excellents pour prendre en charge des charges de petite à moyenne taille dans des endroits où l'électricité de réseau n'est pas disponible. Ils sont hautement modulaires, il est donc facile de personnaliser le système selon vos besoins et d'ajouter des unités si votre demande énergétique augmente. Les systèmes photovoltaïques ne font pas de bruit et ne produisent aucune émission. Les systèmes photovoltaïques fournissent du courant continu (direct). Des convertisseurs, qui convertissent ce courant continu en courant alternatif, doivent être ajoutés à la plupart des systèmes alimentant l'équipement médical utilisé dans les centres d'exams de santé de catégories II ou plus.

Les systèmes photovoltaïques sont évalués en termes de courant électrique maximum (en watts ou kilowatts) qu'ils peuvent produire. Celui-ci est multiplié par le facteur des heures de soleil maximum afin de déterminer l'énergie (en kilowattheures) produite chaque jour. Un environnement optimal en Afrique peut recevoir l'équivalent de cinq heures de soleil maximum ou plus par jour. Dans ce cas-là, un système de 1-kW produirait 5 kWh par jour. Vu qu'il y a toujours une certaine perte de puissance par rapport au débit estimé, dans notre analyse nous avons donc augmenté de façon conservatrice les tailles des systèmes de 20% par rapport à la charge estimée afin de garantir que l'alimentation électrique soit suffisante pour répondre aux besoins identifiés.

Considérations concernant le coût

Selon la taille du système, les systèmes photovoltaïques installés peuvent coûter 8,00-12,00 \$/watt. Cependant, des frais inhabituels tels que le transport des modules, les frais de douane, ou les frais liés aux permis peuvent augmenter ce coût. Si le système n'a pas d'autre dispositif de

rechange/de secours, la batterie doit être calibrée de façon appropriée afin de pouvoir fournir du courant électrique après plusieurs jours de temps couvert ; par conséquent, les situations météorologiques locales peuvent influencer le coût du système. Dans une configuration hybride, les

batteries peuvent être beaucoup plus petites car le générateur peut prendre la relève en cas de périodes prolongées de temps couvert. Les panneaux photovoltaïques sont les pièces les plus chères d'un système électrique solaire ; en tant que tel, ils sont parfois la cible des voleurs. Le vandalisme peut également être un problème. Pour les charges plus importantes, leur coût d'investissement élevé peut les faire apparaître comme une option

« Sur les 121 centres de santé que nous avons visités dans le Rwanda, 49% utilisaient l'énergie solaire. La majorité des équipements existants pour l'eau et l'électricité fonctionnait, à l'exception de l'équipement d'énergie solaire ; dans environ un tiers (37%) des centres de santé, l'équipement solaire ne fonctionnait pas au moment de l'étude car son entretien avait été négligé. »

-Laura Hoemeke, IntraHealth International

moins rentable si les extensions de réseau ou le combustible pour générateur sont facilement disponibles.

Considérations concernant l'entretien

Les systèmes photovoltaïques ont été le centre d'intérêt de multiples efforts d'électrification rurale. Les panneaux eux-mêmes ont typiquement une durée de vie très longue (20-30 ans). Malheureusement, les programmes d'installation ne comprennent pas toujours un élément service suffisant. De nombreux centres de santé décrivent des expériences avec des systèmes photovoltaïques comportant des batteries qui fonctionnaient pas, ce qui eut pour résultat, par exemple, que les téléphones fonctionnaient uniquement lorsque le soleil brillait. L'entretien régulier des batteries est essentiel ; elles doivent être vérifiées chaque mois et leur niveau d'électrolyte doit être ajusté au besoin. Entretien correctement, les batteries devraient durer plusieurs années avant de devoir être remplacées. Alors que la formation du personnel hospitalier local à l'entretien du système est essentielle pour l'entretien routinier, un technicien professionnel devrait également faire un contrôle d'entretien annuel consistant à examiner les raccords de câblage, les boulons de fixation, et le fonctionnement du convertisseur.

Leçons apprises sur les systèmes photovoltaïques

- * Les systèmes photovoltaïques ont typiquement des coûts d'investissement plus élevés, mais des coûts d'exploitation plus bas comparés avec d'autres options de production d'énergie.
- * La disponibilité de composants de remplacement (modèle et marque) chez les fournisseurs locaux doit être prise en compte lors de l'achat des composants premiers d'un système.
- * Les attentes des utilisateurs finaux des systèmes solaires sont souvent irréalistes – une éducation sur l'application pratique des systèmes solaires doit accompagner la conception et l'installation du système.
- * Des normes nationales pour le placement, la conception, l'achat, l'installation, et l'entretien des systèmes photovoltaïques peuvent aider à en améliorer la durabilité.
- * Les systèmes photovoltaïques financés par des donateurs souvent ne fonctionnent pas à cause d'un manque de financement pour leur exploitation ou de l'absence d'infrastructure des services locaux.
- * Des manuels détaillés de l'utilisateur sont indispensables – surtout dans les cas où le changement de personnel est fréquent.
- * Une propriété locale, souvent établie à travers une contribution au coût initial du système, est essentielle pour la durabilité du système.

Déterminer la disponibilité des ressources locales

La disponibilité de ressources renouvelables est une considération clé lors du choix de la technologie de production d'énergie appropriée. Pour toutes informations supplémentaires concernant la disponibilité de ressources locales, veuillez consulter les ressources suivantes :

Insolation solaire

La National Aeronautics and Space Administration (NASA) fournit des informations extensives sur les ressources solaires par mois pour tout endroit dans le monde. Ces données comprennent le rayonnement solaire moyen (en kWh par mètre carré par jour), le nombre typique de jours non ensoleillés consécutifs, et le rayonnement solaire minimum typiquement disponible chaque mois. Il est conseillé de consulter cette ressource, ou toute autre de qualité similaire, lors de la conception d'un système comprenant un composant photovoltaïque.

<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

Ressources éoliennes

Sur le plan local, les ressources éoliennes varieront plus que les ressources solaires. Si aucun autre système éolien ne se trouve dans les environs, l'entrepreneur devra alors mener des études d'observation sur le site pour au moins plusieurs mois avant toute installation.

<http://www.wwindea.org/home/index.php>

<http://www.afriwea.org/>

Systèmes hybrides

L'outil HOMER, développé par le U.S. National Renewable Energy Laboratory (NREL), est utile lors de la conception ou de la modélisation de systèmes hybrides. L'outil HOMER récupère automatiquement les informations sur l'insolation solaire de la NASA.

<http://www.nrel.gov/homer/>

Tableau II : caractéristiques des technologies énergétiques

Technologies énergétiques	Coût d'investissement	Coût E&E	Fiabilité	Durabilité	Considérations spéciales	Émissions	Usage optimal	
Technologies énergétiques	Très élevé	Bas	Élevée (si entretenu correctement) ou basse (dans le cas contraire)	20-30 ans (système photovoltaïque) ; 5 ans (batteries)	Vol (batteries ou panneaux) ; vandalisme (panneaux) ; disponibilité de techniciens formés	Aucune	Petites charges ; zones où le combustible est cher ou difficile à obtenir	
Turbine éolienne avec batteries	Élevé	Bas-moderé	Élevée (si entretenu correctement) ou basse (dans le cas contraire)	20 ans (turbine) ; 10 ans (lames); 5 ans (batteries)	Vol (batteries) ; manque de données sur les ressources éoliennes	Aucune	De nombreuses charges modérées où la ressource est suffisante	
À mouvement alternatif (Générateur)	Diesel	Modéré-élevé	Élevé	Élevée	25 000 heures de fonctionnement	Déversements de combustible ; émissions	Très élevées	charges plus importantes
	Essence	Bas	Très élevé	Modérée	1-2 000 heures de fonctionnement	Déversements de combustible ; émissions ; inflammabilité	Élevées	Générateur de rechange/de secours
	Gaz	Modéré	Élevé	Modérée	3 000 heures de fonctionnement	La disponibilité du propane est limitée, mais du biogaz peut être utilisé	Basses	Composant d'un système hybride ou indépendant
Système hybride	Très élevé	Bas-moderé	Très élevée	Varie, l'optimisation augmente considérablement la durée de vie du générateur et de la batterie	Complexité de l'entretien	Basses	Charges de moyenne à grande taille	
Extension du réseau	Varie	Aucun	Varie	Élevée	Vol ; l'extension du réseau permet le raccordement des habitations près du réseau	Non locales	Là où le réseau est fiable et pas trop éloigné	

Les turbines éoliennes produisent de l'électricité sans émission d'une ressource d'énergie renouvelable. Placer une turbine éolienne sur un site exige des mesures précises des conditions venteuses. Alors que des cartes extensives sur les ressources solaires existent, il n'en est pas de même pour les ressources éoliennes. Des petites turbines éoliennes sont disponibles avec des capacités de quelques à plusieurs centaines de watts. Les turbines plus grandes offrent des économies d'échelle substantielles. À l'instar des systèmes photovoltaïques, les turbines éoliennes doivent être branchées sur un réseau ou un système à batteries pour fournir un courant électrique fiable.

Considérations concernant le coût

Les systèmes éoliens installés coûtent typiquement 4,00-6,00 \$/watt pour les petits systèmes, le coût par watt baissant de façon substantielle au fur et à mesure que la taille des turbine augmente. Le coût d'investissement pour les turbines éoliennes est plus bas que pour les systèmes photovoltaïques pour ce qui est des charges de moyenne à grande taille. Comme le photovoltaïque, les systèmes éoliens n'ont pas besoin de combustible.

Considérations concernant l'entretien

Les exigences d'entretien pour les turbines dépendent grandement des conditions locales. En raison des pièces mobiles, l'entretien des turbines éoliennes est légèrement plus laborieux que celui des systèmes photovoltaïques. Normalement, une turbine doit recevoir un contrôle d'entretien tous les trois mois. L'entretien nécessaire comprend le graissage des pièces mobiles, le contrôle des boulons et des raccords électriques, le contrôle des haubans de soutien pour garantir une tension juste, et l'examen des divers composants pour vérifier la corrosion. Les aubes mobiles et les appuis ont normalement besoin d'être remplacés après environ 10 ans. En général, les petites turbines (moins de 10 kW) n'ont pas besoin de boîtes à engrenage, qui sont un composant qui exige souvent de l'attention dans les systèmes plus importants.

Les systèmes à mouvement alternatif (petits générateurs) sont la forme la plus courante de petit générateur. Un moteur à mouvement alternatif est similaire au moteur d'une voiture en utilisant la combustion d'un combustible pour faire fonctionner les pistons. Dans les systèmes uniquement à générateur, le générateur doit être évalué pour pouvoir prendre en charge la charge maximum prévue, mais le système prend fréquemment en charge des charges plus basses à rendement réduit.

Considérations concernant le coût

Les générateurs à moteur ont typiquement un coût d'investissement bas comparé avec d'autres possibilités, mais des coûts d'exploitation plus élevés en raison du besoin en combustible. Le coût d'investissement initial sera d'environ 2 000 \$ pour 2,5 kW, variant selon la taille et le type du générateur. Les coûts d'exploitation varieront selon le niveau d'utilisation. Les moteurs offrent véritablement des économies d'échelle lorsque les tailles augmentent, mais utiliser plusieurs unités plus petites est généralement préférable. Cela permet d'avoir un système de rotation des générateurs pour l'entretien, et permet également l'utilisation d'une ou de deux unités à charge maximale plutôt qu'une unité plus grande à charge réduite. Une banque de batteries peut également être ajoutée à un

système à base de générateur pour gagner du temps et économiser sur les frais de combustible.

Options en matière de combustible pour les générateurs

Le diesel est l'option la plus courante comme combustible de générateur. Les moteurs diesel ont tendance à être plus chers que les générateurs à essence, mais ils sont également plus fiables et ont des durées de vie plus longues. Le combustible ne brûle pas aussi proprement que le propane ou le biogaz.

L'essence est facilement disponible et est utilisée dans de nombreux générateurs. Les générateurs à essence sont moins chers que les générateurs à diesel et sont disponibles dans des tailles plus petites. Ils sont normalement utilisés comme générateurs de rechange en cas d'urgence en raison de leur durée de vie plus courte lorsqu'ils sont utilisés.

Le propane, lorsque disponible, est un autre combustible de générateur. Les générateurs à propane font moins de bruit, sont plus propres, et ne sont pas nocifs pour l'environnement ; le propane déversé s'évapore au lieu de contaminer un site. Les générateurs à propane conviennent bien aux systèmes hybrides avec composant solaire ou éolien, bien qu'ils ne soient pas optimaux pour servir en tant que source unique (ou première) d'énergie. Le propane peut également être utilisé pour alimenter directement un réfrigérateur. Dans cette application, le réfrigérateur a été conçu pour fonctionner grâce à la chaleur de la combustion du propane plutôt que grâce à l'électricité. L'utilisation d'un générateur à propane comme composant d'un système hybride, et l'utilisation de l'électricité pour le fonctionnement du réfrigérateur, permettent une plus grande versatilité et l'alimentation d'une gamme étendue d'appareils par le système.

Considérations concernant l'entretien

Les moteurs ont plusieurs exigences d'entretien. L'huile moteur et le filtre à huile doivent être changés après environ 1 000 heures d'exploitation. Il est possible que la culasse du moteur ait besoin d'être remise en état après 8 000 heures. Il en est de même pour le bloc moteur après 16 000 heures. Le personnel du centre peut examiner le générateur chaque jour pour le combustible, l'huile, ou les fuites de fluide de refroidissement. La zone autour du générateur ne doit avoir aucun débris qui puisse poser un danger ou en rendre l'accès difficile. Les niveaux d'huile et de fluide de refroidissement doivent être vérifiés chaque semaine. Des contrôles d'entretien plus poussés doivent être effectués par des professionnels chaque mois, deux fois par an ou chaque année. Ces contrôles d'entretien varieront selon la conception du moteur et son cycle de service (selon sa capacité de source première d'énergie ou d'unité de rechange/de secours).

L'expertise pour entretenir les générateurs diesel ou à essence est facilement disponible car les unités sont similaires, sans être identiques, aux moteurs de voiture. Dans certains cas, les pièces détachées pour certains générateurs peuvent être difficiles à obtenir.

Leçons apprises sur les systèmes à mouvement alternatif

- * Les moteurs à mouvement alternatif ont typiquement des coûts d'investissement plus bas, mais des coûts d'exploitation plus élevés comparés avec les technologies renouvelables.
- * La disponibilité et le coût du combustible sont des considérations clés pour cette technologie.

Les systèmes hybrides emploient un certain nombre de technologies différentes. Un système peut comprendre des panneaux photovoltaïques, une turbine éolienne, des batteries, et un générateur. Avec des ressources solaires et éoliennes fiables, ce système aurait rarement besoin d'avoir recours à un générateur. Du fait que le générateur peut recharger les batteries durant les périodes prolongées de conditions météorologiques adverses, la banque de batteries dans un système hybride peut être beaucoup plus petite que celle d'un système à batterie photovoltaïque et aura peut-être besoin d'emmagasiner seulement la quantité d'énergie nécessaire pour un ou deux jours. Le cycle de service bas prolonge la durée de vie du générateur.

Considérations concernant le coût

Le coût d'investissement d'un système hybride est nettement plus élevé que celui d'un système utilisant uniquement des générateurs propane (ou des générateurs diesel) ; cependant, le système hybride démontre des économies substantielles sur une durée de vie de 20 ans, principalement dues aux économies sur les coûts de l'entretien et du combustible. La durée de vie d'un générateur dans un système hybride est prolongée parce qu'il ne fonctionne pas aussi souvent que dans d'autres systèmes. Lorsque les économies sur les émissions sont prises en compte, les avantages du système hybride deviennent encore plus évidents. Pour une explication plus détaillée, référez-vous à l'*Étude de cas I : Évaluer les options en matière de production d'énergie*.

Considérations concernant l'entretien

Un contrôle mensuel est recommandé pour les systèmes hybrides. Le générateur n'a pas été conçu pour une utilisation poussée au sein d'un système hybride, mais nécessite néanmoins une attention périodique. Un programme d'entretien régulier aidera également à maintenir à jour les connaissances du personnel à propos de l'exploitation correcte du système.

Leçons apprises sur les systèmes hybrides

- * Les systèmes hybrides (y compris l'énergie renouvelable, les batteries, et les générateurs de rechange/de secours) sont une option réaliste pour les charges de moyenne à grande taille.
- * Les coûts d'exploitation réduits compenseront au fil du temps pour les coûts d'investissement initiaux élevés.
- * La complexité grandissante des systèmes hybrides exige des programmes d'entretien solides et des techniciens formés.

Les extensions de réseau relient le centre au service public local. Ceci implique faire passer des fils électriques à travers ce qui est, pour de nombreux centres d'exams de santé ruraux, un terrain souvent difficile. Le coût des extensions de réseau varie selon le service public, le terrain, la distance à couvrir, et la taille de la charge à servir. Si le réseau local est relativement fiable et à quelques miles de distance, obtenir un devis pour le coût d'investissement d'une extension du réseau et le coût récurrent de l'électricité offrira des points de comparaison lorsque d'autres options seront prises en considération. Cependant, si l'électricité provenant du réseau est généralement peu fiable, une forme d'énergie de secours sera nécessaire même avec une extension du réseau.

Considérations concernant le coût

Une extension de réseau a typiquement un coût d'investissement élevé, mais offre plusieurs avantages. Tout d'abord, dans la plupart des cas, le coût varie peu avec la taille de la charge à servir. Ceci rend l'extension peu économe pour les petites charges, mais une meilleure option pour les charges de grande taille. Deuxièmement, une fois que le réseau a été étendu jusqu'au centre, il peut servir d'autres charges locales. Troisièmement, l'exploitation et l'entretien sont la responsabilité du service public.

Composants clés des systèmes photovoltaïques, éoliens et autres

Batterie

Les batteries ne sont pas une technologie porteuse de courant électrique, mais un moyen d'emmagasiner le courant produit par d'autres systèmes. Elles sont fréquemment utilisées en conjonction avec des systèmes photovoltaïques ou éoliens, et peuvent également être utilisées avec d'autres systèmes. Les batteries plomb-acide sont facilement trouvables et relativement peu chères ; cependant, elles ont des durées de vie plus courtes que les options plus récentes. L'électrolyte des batteries plomb-acide doit être périodiquement régénéré avec de l'eau distillée (l'eau du robinet peut contenir des minéraux qui ont un effet néfaste sur la performance et la durée de vie de la batterie). Les niveaux d'électrolyte doivent être vérifiés chaque mois, et de l'eau fraîche est normalement nécessaire environ tous les trois mois, bien que cela varie selon les conditions locales.

Pour certains centres reliés à un réseau, les batteries peuvent être utilisées pour fournir du courant électrique de secours durant les coupures électriques. Cependant, si le courant provenant du réseau est absent pendant une longue période de temps, un autre système serait utile pour recharger les batteries. La durée de vie des batteries est en partie dépendante du cycle de service (chargement et déchargement) auquel elles sont sujettes, mais même les batteries qui ne sont pas souvent utilisées se détérioreront au fil du temps.

L'entretien des batteries est relativement simple et ne prend pas beaucoup de temps, mais il est essentiel. Les plaques de batterie doivent rester submergées dans de l'acide et ne doivent pas être exposées à l'air, ou cela pourrait causer des dégâts sérieux sur le système. Du fait que seule l'eau s'évapore de la batterie, seule l'eau a besoin d'être remplacée (à moins qu'un déversement ne se produise). Les centres de santé devraient établir un budget pour les frais et le transport associés à l'acquisition d'eau distillée. La chaleur excessive peut également réduire la durée de vie d'une batterie. La durée de vie typique d'une batterie est d'environ 5 ans.

L'élimination des batteries à la fin de la durée de vie du système est une considération importante. Les batteries plomb-acide peuvent contaminer l'approvisionnement en eaux souterraines si elles ne sont pas éliminées correctement. Recycler les batteries dans un centre écologiquement sûr est une option préférable.

Convertisseur

Un convertisseur est un composant de tout système à éléments photovoltaïques ou à batterie et est utilisé pour convertir le courant continu en courant alternatif, ce qui est souvent exigé par certains équipements médicaux. Les convertisseurs ont des besoins d'entretien différents selon leur conception. Ils doivent être examinés pour garantir leur bonne exploitation au moins tous les trois mois, voire plus souvent. À l'instar des batteries, il est préférable de garder les convertisseurs à température modérée. Dans de nombreux cas, les pièces de rechange ne seront pas disponibles localement et devront être commandées auprès des fabricants.

Contrôleur de charge

Un contrôleur de charge régularise le voltage et le courant provenant des panneaux solaires (ou du vent ou d'un générateur) et allant à la batterie pour prévenir toute surcharge ou décharge excessive. La plupart des contrôleurs modernes maintiennent la régulation du voltage du système électroniquement en variant la largeur des impulsions du courant continu qu'ils envoient aux batteries. Plus l'impulsion est large, plus la quantité du courant allant aux batteries est importante.

IV. Durabilité des systèmes

Importance de l'entretien

- * L'entretien régulier et opportun de tout équipement d'électrification est essentiel au bon fonctionnement de l'équipement.
- * L'entretien routinier, de même que les révisions générales et le remplacement de composants essentiels, ont besoin d'être planifiés et budgétés à l'avance.
- * Tout manque d'entretien aura en fin de compte un impact négatif sur la fiabilité de l'alimentation électrique.
- * Les problèmes d'entretien sont souvent facilement évitables, et sont pourtant fréquemment négligés.
- * Les générateurs de secours en cas d'urgence doivent être contrôlés périodiquement même s'ils sont rarement utilisés.
- * Un entretien incorrect ou insuffisant peut entraîner des coûts substantiels à l'avenir.

Un entretien régulier rembourse son coût, et les programmes d'installation de systèmes énergétiques dans les centres d'examen de santé ou autres doivent garantir un engagement à entretenir le système. Les experts recommandent de former le personnel local à l'entretien de ces systèmes ou d'obtenir un contrat d'entretien à long terme.

Financement : options innovatrices

Les gestionnaires pour les centres d'examen de santé doivent développer un moyen durable pour payer pour l'entretien et l'exploitation d'un système afin d'assurer la continuité de l'exploitation du centre. Les centres devraient considérer les aspects incorporatifs des structures financières innovatrices décrites ci-dessous dans leurs pratiques financières et d'exploitation.

Redevance d'utilisation

Un système à « redevance d'utilisation » implique incorporer le coût de l'énergie dans le coût général des services médicaux – passant ainsi le coût au patient. La plupart des centres médicaux ruraux ont du mal à percevoir de façon sûre des fonds d'exploitation suffisants en raison de leur incapacité à passer les coûts véritables des services médicaux aux utilisateurs qui manquent de ressources pour payer les coûts effectifs. L'incapacité des patients à payer, ajoutée au défi de gérer la réception et le versement des fonds, rend cette approche difficile à mettre en œuvre.

Vente du surplus d'électricité

La vente de surplus d'électricité offre une approche prometteuse pour financer les opérations. En installant un système à capacité excédentaire, le revenu provenant de la

vente du courant électrique supplémentaire peut compenser, soit partiellement soit entièrement, pour les coûts d'exploitation du système.

Vente en vrac (vente en gros)

En exploitant le système producteur d'électricité comme une petite entreprise, le surplus d'électricité peut être vendu à des villages, des fabriques, des écoles ou

« Le Centre de la Sainte Bushara Health Clinic dans le Rwanda sert une population d'environ 21 000 personnes et traite en moyenne 1 300 patients chaque mois. Ses 14 systèmes photovoltaïques sont utilisés pour fournir de l'éclairage, de la réfrigération, et du courant électrique pour certains équipements de diagnostic du centre. L'hôpital est financé en grande partie par une coopérative communautaire pour la santé. Chaque année, les résidents locaux paient 3 500 francs rwandais à la coopérative, et sont ainsi traités gratuitement s'ils ont besoin de services médicaux. Une portion de l'argent est budgétée pour l'entretien et la maintenance des systèmes photovoltaïques. »

Source : Solar Light for Africa, 2006

des centres dans le voisinage. Le système doit être calibré pour accommoder à la fois le centre de santé et la clientèle potentielle. Les clients doivent être à une proximité rapprochée du système ou les coûts de transmission rendront rapidement cette approche trop chère. Les exigences d'entretien sont également plus complexes.

Vente au point d'utilisation (vente au détail)

Quand des acheteurs potentiels d'électricité sont trop éloignés pour l'obtenir par des lignes de transmission, le centre d'examen

pour la santé peut la vendre sur place ou dans les environs. Une petite centrale électrique peut être établie avec des forfaits facturés selon la quantité d'électricité utilisée, si un compteur est disponible, ou selon la durée. Pour les clients avec des dispositifs transportables tels que des outils électriques, une petite zone de travail avec des prises électriques peut être construite à côté de la centrale électrique où les utilisateurs peuvent brancher de l'équipement. Les habitants des villages peuvent utiliser ces zones pour des activités produisant des revenus.

Il est même parfois possible d'établir une « mini zone industrielle » près du système électrique du centre, fournissant ainsi un endroit avec des ateliers (couture, tissage ou services de réparation) ou des boutiques permanentes. Les centres d'examen de santé pourraient toucher des revenus provenant du loyer de l'espace de l'atelier/la boutique, de la vente d'électricité, et du pompage de l'eau.

Gestion institutionnelle

Établir une entité qui ait un intérêt dans la réussite de l'exploitation continue du système est crucial à l'entretien d'un sens de propriété envers l'exploitation continue du système. Les systèmes de financement innovateurs doivent être gérés de façon correcte par les organisations et les individus qui utilisent et paient l'électricité.

Les structures de gestion comprennent la gestion existante du centre, les villages ou centres dans le voisinage, ou une nouvelle organisation dédiée à fournir une supervision du système énergétique telle qu'une coopérative entre villages. La coopérative peut

comprendre un accord avec le centre d'examen de santé pour la gestion de tout arrangement financier décrit ci-dessus. Le niveau de responsabilité de la coopérative peut aller de l'exploitation et la gestion totales du système à simplement tenir les comptes de la consommation et des paiements.

Synthèse

Cette publication a présenté les thèmes fondamentaux à prendre en considération lors de l'étude des besoins énergétiques des centres de santé ruraux hors réseau. Les professionnels de la santé enquêtant sur les options pour améliorer les services énergétiques dans les centres de santé doivent tenir compte des points suivants :

- * De nombreuses options d'électrification sont disponibles – chacune a des avantages et des inconvénients qui doivent être pris en considération avec soin dans un contexte spécifique.
- * Les systèmes de production d'énergie doivent être conçus pour répondre aux besoins spécifiques d'un centre de santé.
- * L'achat de technologies non appropriées, de systèmes commerciaux standard mal calibrés, et une attention insuffisante portée aux programmes d'entretien peuvent revenir cher et résulter en un système défaillant.
- * Les systèmes hybrides (y compris l'énergie renouvelable, les batteries, et les générateurs classiques) sont une option réaliste pour les charges de moyenne à grande taille.
- * La vente de surplus d'électricité (ou du pompage d'eau potable) offre une approche prometteuse pour les centres de santé pour financer les coûts d'exploitation et d'entretien.

Lors de la conception d'un programme national de reconfiguration des centres de santé ou du choix de la technologie appropriée pour un site spécifique, nous encourageons vivement nos lecteurs à chercher conseil auprès d'experts indépendants. Ces conseils d'expert peuvent aider à garantir qu'un système soit conçu de façon appropriée et que des sauvegardes adéquates sont mises en place pour en garantir la durabilité.

Annexe A : identifier la catégorie de votre centre d'examens de santé

		A	B	C = A x B	D	E = C x D	F = E/1 000
Description des dispositifs	Consommation en électricité et en énergie pour un centre d'examens de santé de catégorie I	Quantité	Puissance (watts)	Total des watts	Durée de fonctionnement (heures/jour)	Puissance en watts (heures/jour)	kWh/jour
	Réfrigérateur/congélateur pour vaccins	1	60	60	6,0-12,0	360-720	0,36-0,72
	Petit réfrigérateur (usage non médical)	1	300	300	5,0	1 500	1,5
	Centrifugeuse	1	575	575	1,0-1,5	575-862,5	0,575-0,8625
	Mélangeur hématologique	1	28	28	1,0-1,5	28-42	0,028-0,042
	Microscope	1-2	15	15-30	3,0-4,0	45-120	0,045-0,12
	Éclairage	2	10	20	2-10	40-200	0,040-0,2
	Incubateur	1	400	400	2,0-12,0	800-4 800	0,8-4,8
	Bain marie	1	1 000	1 000	1,0-2,0	1 000-2 000	1-2
	Radio VHF de communication	1					
	En veille		2	2	12,0	24	0,024
	En état de transmission		30	30	1,0-2,0	30-60	0,030-0,060
	Total :			4 744-5 159		10,569-21 519	10,6 - 21,5

		A	B	C = A x B	D	E = C x D	F = E/1 000
Description des dispositifs	Consommation en électricité et en énergie pour un centre d'examens de santé de catégorie II	Quantité	Puissance (watts)	Total des watts	Durée de fonctionnement (heures/jour)	Puissance en watts (heures/jour)	kWh/jour
	Réfrigérateur/congélateur pour vaccins	2	60	120	6,0-12,0	720-1 440	0,72-1,44
	Petit réfrigérateur (usage non médical)	1	300	300	5,0	1 500	1,5
	Centrifugeuse	1	575	575	2,0	1 150	1,15
	Mélangeur hématologique	1	28	28	2,0	56	0,056
	Microscope	2	15	30	5,0	150	0,15
	Éclairage	2-3	15	30-45	10,0	300-450	0,3-0,45
	Four de stérilisation (autoclave de laboratoire)	1	1 564	1 564	1,0	1 564	1 564
	Incubateur	2	400	800	2,0-12,0	1 600-9 600	1,6-9,6
	Bain marie	1	1 000	1 000	2,0	2 000	2
	Radio VHF de communication	1					
	En veille		2	2	12,0	24	0,024
	En état de transmission		30	30	2,0-3,0	60-90	0,060-0,090
	Ordinateur de bureau	1-3					
	Mode Économie d'énergie		50	50-150	7,0	350-1 050	0,35-1,05
	En état d'utilisation		150	150-450	5,0	750-2 250	0,750-2,25
Imprimante	1	65	65	3,0	195	0,195	
Total :			4 744-5 159		10 569-21 519	10,6 - 21,5	

		A	B	C = A x B	D	E = C x D	F = E/1 000
Consommation en électricité et en énergie pour un centre d'examens de santé de catégorie III		Quantité	Puissance (watts)	Total des watts	Durée de fonctionnement (heures/jour)	Puissance en watts (heures/jour)	kWh/jour
Description des dispositifs	Réfrigérateur/congélateur pour vaccins	3	60	180	6,0-12,0	1 080-2 160	1,08-2,16
	Petit réfrigérateur (usage non médical)	1	300	300	5,0	1 500	1,5
	Centrifugeuse	1	575	575	3,0	1 725	1 725
	Mélangeur hématologique	1	28	28	3,0	84	0,084
	Microscope	3	15	45	6,0	270	0,27
	Éclairage	3-4	15	45-60	10,0	450-600	0,45-0,6
	Four de stérilisation (autoclave de laboratoire)	1	1 564	1 564	1,0	1 564	1 564
	Incubateur	3	400	1 200	2,0-12,0	2 400-14 400	2,4-14,4
	Bain marie	1	1 000	1 000	2,0	2 000	2
	Radio VHF de communication	1					
	En veille		2	2	12,0	24	0,024
	En état de transmission		30	30	3,0-4,0	90-120	0,090-0,120
	Ordinateur de bureau	3-6					
	Mode Économie d'énergie		50	150-300	7,0	1 050-2 100	1,05-2,1
	En état l'utilisation		150	450-900	5,0	2 250-4 500	2,25-4,5
	Imprimante	1	65	65	4,0	260	0,26
	Appareil radiographique portable	1	3 000	3 000	1,0	3 000	3
	Total :			8 634-9 249		17 597-34 157	17,6 - 34,2

Annexe B : estimer votre consommation énergétique

Description du dispositif	A Quantité	B Puissance ² (watts)	C = A x B Total des watts	D Durée de fonctionnement ³ (heures/jour)	E = C x D Puissance en watts (heures/jour) (Total des watts x durée de fonctionnement)	F = E/1000 kWh/jour
Total :						
Autres facteurs à prendre en considération	Commentaires					
Nombre de lits						
Moyenne de patients assistés/jour						
Accès à la télécommunication						
Ressource solaire ⁴						
Ressource éolienne ⁵						
Qualité des routes						
Disponibilité et coût de l'essence						
Disponibilité et coût du propane						
Disponibilité et coût du diesel						

²Pour trouver les informations sur la puissance en watts pour un dispositif en particulier, consulter le manuel de l'utilisateur ou cela peut être écrit au dos du dispositif.

³La durée de fonctionnement quotidien typique pour un compresseur de réfrigérateur standard est de 5-6 heures/jour.

⁴Référez-vous au site suivant pour les données sur les ressources solaires : <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

⁵Référez-vous au site suivant pour les données sur les ressources éoliennes : <http://www.wwindea.org/home/index.php>

Notes

Glossaire

Ampère – Une mesure du flux de courant électrique.

Batterie – Un dispositif qui emmagasine de l'énergie et la rend disponible sous forme d'électricité.

Chaîne du froid – Système de personnes et d'équipements qui essaie de conserver les vaccins et le sang à des températures adéquates au fur et à mesure qu'ils sont distribués du fabricant ou fournisseur aux sites où ils sont administrés.

Charge – La quantité de courant électrique ou d'énergie fournie ou exigée à tout moment spécifique à ou d'un système.

Contrôleur de charge – Contrôle le flux du courant de et à la batterie pour protéger contre toute surcharge ou décharge excessive.

Convertisseur – Un dispositif à l'état solide qui produit une sortie de courant alternatif d'une entrée de courant continu.

Courant alternatif – Un courant électrique dans lequel la direction du flux oscille à des intervalles fréquents, réguliers.

Courant continu – Un courant électrique qui circule en une seule direction.

Coût d'exploitation – Les frais quotidiens d'utilisation et d'entretien d'une propriété.

Coût d'investissement – Le coût initial pour acheter et installer de l'équipement.

Durabilité – La durée de vie typique d'un système, exprimée soit en années soit (pour les générateurs à moteur) en heures de fonctionnement.

Électricité – Energie rendue disponible par le flux de charge électrique à travers un conducteur.

Énergie – La capacité d'un système physique à effectuer du travail. Les unités d'énergie sont les joules.

Énergie renouvelable – Energie dérivée de ressources non classiques ; comprend l'énergie produite par les systèmes photovoltaïques, à turbine éolienne, hydroélectriques, et à biomasse.

Insolation – La quantité de rayonnement du soleil baignant une zone au cours d'une année, souvent mesurée en watts par mètre carré.

Kilowatt (kW) – Mille watts.

Kilowatt Heure (kWh) – Le travail effectué par un kilowatt de courant électrique en une heure.

Puissance électrique – Le taux de la réalisation du travail ; mesurée en watts.

Rendement – Résultat : la quantité de quelque chose (comme une commodité) qui est en train d'être créé (en général en l'espace d'une période de temps donnée).

Réseau – Le réseau des lignes de transmission, des lignes de distribution, et des transformateurs utilisés dans les systèmes centralisés d'alimentation électrique.

Système photovoltaïque – La production d'électricité provenant du rayonnement du soleil, couramment appelée « solaire électrique ».

Système solaire électrique – Voir Système photovoltaïque.

Turbine éolienne – Un dispositif qui convertit l'énergie de l'air en mouvement en électricité.

Volt, Voltage (V) – Une unité de force électrique ou de pression électrique.

Watt (W), puissance nominale – Une unité de puissance égale à un joule par seconde. Watts = volts x ampères.

Note : Les deux études de cas suivantes illustrent collectivement l'approche par étapes de l'électrification de centres de santé dont il a été question dans ce guide. Dans le premier exemple, un centre d'examen de santé hypothétique dans le Botswana est utilisé pour démontrer l'utilité d'avoir un outil de modélisation comme assistant lors de l'étape critique de la conception d'un système. La deuxième étude de cas décrit en détail l'électrification d'un hôpital en Ouganda qui utilise un système photovoltaïque pour répondre aux besoins énergétiques du centre d'examen de santé et pour fournir de l'eau potable propre à la communauté. Les plans critiques pour assurer l'exploitation et l'entretien corrects de ces systèmes sont également soulignés.

Étude de cas I : évaluer les options en matière de production d'énergie

Une étude de cas hypothétique pour un centre d'examens de santé rural en Botswana

Un centre d'examens de santé hypothétique dans le désert de Kalahari du Botswana a actuellement un petit réfrigérateur, de l'éclairage, un mélangeur hématologique, un microscope, un ordinateur, et de l'équipement de communication. En utilisant la fiche de travail figurant dans l'annexe B, il a été déterminé que la charge quotidienne moyenne du centre est de 13 kWh par jour avec une charge supplémentaire de 2 kWh par jour prévue dans un avenir proche. Le centre n'est pas relié au réseau et utilise actuellement un générateur diesel pour répondre partiellement à ses besoins en énergie. Un organisme donateur international a collaboré avec ce centre pour améliorer la prestation locale des soins médicaux et souhaiterait explorer diverses options en vue de la mise à niveau de ses systèmes producteurs d'électricité.

Plusieurs outils de modélisation différents ont été développés et permettent à l'utilisateur de comparer différentes options de production d'énergie pour ce centre. Pour cet exemple, nous utilisons le programme HOMER, spécifiquement développé par le U.S. National Renewable Energy Laboratory pour analyser les systèmes indépendants qui comprennent des composants d'énergie renouvelable.¹

Le modèle HOMER peut être utilisé pour comparer les coûts d'une variété de systèmes de production d'énergie différents pouvant prendre en charge la charge de ce centre à 100%. Nous avons pris en compte des systèmes avec des combinaisons de composants figurant dans le graphique ci-dessous : générateur, photovoltaïque, convertisseur courant alternatif/courant continu, et batteries.

En plus des données relatives à la charge déjà calculées pour ce centre, d'autres informations spécifiques au site et nécessaires pour ce modèle sont la disponibilité d'énergie renouvelable, le coût du combustible, et les coûts des divers composants. Les données appropriées relatives à la radiation solaire pour ce site sont automatiquement relevées par HOMER de la base de données de la NASA sur le site Web <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>. Les coûts des composants peuvent être estimés sur la base d'informations locales

Les estimations de coût qui en résultent figurent dans le tableau ci-dessous qui organise une variété de conceptions de système possibles selon le coût à vie de l'énergie par kWh. Le système qui revient le moins cher est un système hybride photovoltaïque-diesel-batterie. Les calculs démontrent qu'en raison des coûts du combustible et de l'entretien, le système avec le coût d'investissement le plus bas n'est pas le système avec le coût

¹ Pour des informations supplémentaires sur le modèle HOMER, allez sur <http://www.nrel.gov/homer>. Ce modèle peut être téléchargé gratuitement à partir de ce site Web.

énergétique à vie le plus bas. Un système diesel-batterie coûte 13% de plus que ce système hybride parce que le coût du combustible ajouté tout au long de la vie du système est plus élevé que les économies effectuées par l'investissement photovoltaïque initial, et un système photovoltaïque-batterie coûte environ 28% de plus que la conception la moins chère. Notez que le coût en énergie d'un système diesel sans batteries est plus de deux fois plus élevé que le coût d'un système diesel-batterie. L'ajout de batteries à un système diesel est souvent un investissement judicieux en termes d'économie de combustible.

Comparaison de conceptions de systèmes différents, prix du diesel 0,80 \$/L							
Composants	PV (kW)	Diesel (kW)	Batterie (2 kWh)	Convertisseur (kW)	Capital initial	Total des coûts des valeurs actuelles nettes	Durée de vie (25 ans) Coût énergétique (\$/kWh)
Photovoltaïque, diesel, batterie	3	1	12	2	35 050 \$	60 957 \$	0,67
Diesel, batterie	-	2	16	1,5	6 000 \$	69 008 \$	0,759
Photovoltaïque, batterie	4	-	30	3	49 000 \$	78 177 \$	0,859
Diesel	-	3	-	-	1 950 \$	153 946 \$	1,692

Le total des coûts des valeurs actuelles nettes du système le moins cher et de ses composants figure ci-dessous. Le composant coût du combustible est minimal parce que le générateur fonctionne seulement 113 heures au cours de l'année. Notez que toutes les technologies ont des exigences E&E (Exploitation & Entretien) considérables arrivant à un total d'environ 300 \$ par an. Si les fonds suffisants ne sont pas disponibles pour couvrir ces coûts d'entretien, ou si aucun technicien formé n'est accessible, les systèmes ne seront pas durables.

Composant	Capital initial	Capital annualisé	Remplacement annualisé	E&E Annuel	Combustible annuel	Total Annualisé
	(\$)	(\$/an)	(\$/an)	(\$/an)	(\$/an)	(\$/an)
Panneaux photovoltaïques	30 000	1 805	689	75	0	2 569
Générateur	650	39	17	146	186	388
Batterie (12)	2 400	144	298	60	0	502
Convertisseur	2 000	120	86	3	0	209
Totaux	35 050	2 109	1 089	284	186	3 668

Tel que discuté dans ce guide, le coût à vie du système est une parmi de nombreuses considérations importantes lors du choix de la technologie appropriée pour alimenter un centre d'examen de santé. Lors de l'étude du pour et du contre de différentes conceptions de système, un programme de modélisation tel que HOMER est un outil précieux.

Étude de cas II : le projet eau et électrification de l'hôpital de Kalungi

Site : Kalungi, Ouganda, 2006

Partenaires : The Coca-Cola Company/Solar Light for Africa, Ltd. (SLA)/Solar Energy Uganda, Ltd. (SEU)/Geneva Global Foundation/Global Environment Technology Foundation (GETF)/Agence pour le développement international américaine

Coût total du projet d'électrification et d'eau : 121 000 \$ (comprend les coûts relatifs à l'entrepreneur et à l'équipement, exclut les frais généraux/coûts administratifs)

Source : Solar Light for Africa, 2006

Vue d'ensemble :

L'hôpital de Kalungi est situé à 125 kilomètres au sud de Kampala, en Ouganda, près de l'autoroute Kampala-Masaka. L'établissement est à la fois un centre d'examens de santé et une école d'infirmières. Les infirmières qui complètent le programme de Kalungi sont déployées dans les hôpitaux de village. L'hôpital a 7 personnes parmi son personnel et un/e assistant/e médical/e. Le centre reçoit 20-30 patients par jour. Ce chiffre augmente jusqu'à environ 50 durant la saison de la malaria. Certains patients peuvent payer un forfait bas d'environ 400 shillings, ou 22 cents.

Le projet à l'hôpital de Kalungi impliquait l'électrification de l'hôpital, ainsi qu'un moyen d'approvisionnement en eau propre pour l'hôpital et la communauté locale.

Une évaluation préliminaire fut complétée durant les phases initiales pour déterminer les demandes en énergie et la technologie appropriée pour répondre à ces demandes. En raison de ressources éoliennes insuffisantes et du coût élevé du combustible, un système photovoltaïque présentait la meilleure option disponible pour répondre aux besoins de Kalungi.

Pour atteindre l'objectif d'électrification, un panneau solaire de 1,6 kW fut installé à l'hôpital pour répondre aux besoins en électricité sur place. Ceux-ci comprennent 80 ampoules éconergétiques, et du courant électrique pour un réfrigérateur et de l'équipement de diagnostic. Pour fournir de l'eau propre, un panneau solaire de 2,6 kW fut installé à plusieurs kilomètres de l'hôpital près d'un puits. Ce panneau alimente une pompe qui pompe l'eau jusqu'à un réservoir de stockage à l'hôpital. Un pipeline descend la colline avec des ergots à plusieurs endroits pour fournir de l'eau propre à la communauté. Le pipeline séparé aide à garantir que l'eau voyageant en direction du réservoir reste sous pression et ne soit pas contaminée.

Pour couvrir le coût de l'entretien et de l'exploitation continue, l'hôpital de Kalungi a vendu le surplus d'eau à la communauté environnante. Les revenus furent utilisés pour former deux employés travaillant depuis longtemps à l'hôpital à l'entretien des systèmes d'électrification et d'eau. Des fonds furent également utilisés pour embaucher un agent de sécurité pour garder le système d'électrification à l'abri des voleurs en permanence. En outre, Solar Energy Uganda Ltd., le group responsable pour l'achat et l'installation du système, a offert une garantie de 5 ans pour la pompe à eau et une garantie de 25 ans pour le système photovoltaïque.

Spécifications du projet d'électrification

Taille du système : un panneau solaire de 1,6 kW (un système de 0,2 kW en courant continu et un système de 1,4 kW en courant alternatif)

Charge : 80 ampoules, réfrigérateur, et équipement de diagnostic

Coût total du projet d'électrification = 38 000 \$ (Comprend les coûts relatifs à l'entrepreneur et à l'équipement, exclut les frais généraux/coûts administratifs)

Avantages de l'électrification

- * Heures ouvrables du centre prolongées, y compris les services aux patients pendant la nuit
- * Études continues pour les étudiants en sciences infirmières la nuit
- * Capacité de stériliser les instruments médicaux
- * Économies de combustible d'environ 25 000 \$/an
- * Courant électrique pour l'équipement de diagnostic, tel que les microscopes
- * Réfrigération des vaccins, des médicaments, et des fournitures pour diagnostic
- * Utilisation et capacité informatiques prolongées
- * Charge augmentée en chirurgie ; ensemble des soins pour les patients localement de meilleure qualité
- * Probabilité réduite de la nécessité de transport des patients à l'établissement du district de Masaka pour des soins plus poussés

Spécifications du projet d'eau

* Approvisionnement d'eau propre pour le centre d'examen de santé et la communauté

* Alimenté par un panneau solaire de 2,6 kW

Composants clés : un réservoir d'eau à paroi double en béton d'une capacité de 50 000 litres dans le centre d'examen de santé, un pipeline de 2,7 km, une pompe

Avantages du projet d'eau

- * Eau potable propre pour la communauté (100 000 personnes) : en plus des ergots installés au centre d'examen de santé, 3 ergots furent installés au sein de la communauté locale afin de donner aux résidents locaux accès à de l'eau potable propre
- * Probabilité réduite que la rivière locale soit contaminée par des animaux ou des

submersible, une unité de purification d'eau UV. Des études hydrologiques assurent que le bassin sur le site d'eau survivra toutes les saisons sèches.

Note : La purification de l'eau est réalisée en plusieurs étapes : Un puits profond de 12 mètres fut creusé et développé. Du puits, un passage pour l'eau fut construit, filtrant l'eau à travers 2 chambres. De la source, l'eau est pompée par une pompe submersible photovoltaïque directe en direction du réservoir principal à une distance totale de 2,2 km. Elle est alors distribuée à travers l'hôpital, dans une école, et dans la communauté.

Coût total du projet d'eau = 83 000 \$
(Comprend les coûts relatifs à l'entrepreneur et à l'équipement, exclut les frais généraux/coûts administratifs)

personnes allant chercher de l'eau puisque la zone a été sécurisée et les ergots communaux sont plus pratiques

- * Probabilité réduite de la présence de maladies hydriques à l'hôpital, y compris la dysenterie
- * Propreté et hygiène améliorées au centre d'examen de santé
- * Une meilleure santé générale dans la communauté – le docteur responsable espère voir un déclin important d'incidences de dysenterie et d'autres troubles transmis par de l'eau insalubre

Remerciements

Nous souhaitons exprimer notre profonde appréciation et gratitude à un certain nombre d'individus qui nous ont fait part de leurs connaissances et expérience au cours de la production de cette publication, en particulier Craig Cornelius, Département de l'énergie américain ; David Kline et Peter Lilienthal, National Renewable Energy Laboratory ; John Pitman, entrepreneur ATA Services auprès des Centres pour le contrôle et la prévention des maladies ; Solar Light for Africa ; Sam Dargan, Great Lakes Energy ; et la Global Environment & Technology Foundation. Nous souhaitons également souligner les informations pertinentes et les contributions considérables que nous avons reçues d'autres experts et parties intéressées.

Pour des informations supplémentaires

Ci-dessous figurent des ressources supplémentaires pour une compréhension plus technique et approfondie des options en matière d'électrification.

Informations générales

Renewable Energy for Rural Health Clinics, National Renewable Energy Laboratory, septembre 1998.

<http://www.nrel.gov/>

Renewables for Sustainable Village Power, National Renewable Energy Laboratory

<http://www.rsvp.nrel.gov/>

Systèmes photovoltaïques

Installing Photovoltaic Systems: A Question and Answer Guide for Solar Electric Systems, Florida Solar Energy Center, mai 1999.

<http://www.fsec.ucf.edu/>

Turbines éoliennes

Small Wind Electric Systems: A U.S. Consumer's Guide, Département de l'énergie américain, mars 2005.

<http://www.eere.energy.gov/>

Systèmes hybrides

Economics and Performance of PV Hybrid Power Systems: Three Case Studies, Sandia National Laboratories, juillet 1998.

<http://www.sandia.gov/pv/docs/PDF/ecnmcs3cs.pdf>

Batteries

Lead-Acid Battery Guide for Stand-Alone Photovoltaic Systems, développé pour l'Agence internationale de l'énergie, décembre 1999.

<http://www.oja-services.nl/iea-pvps/>

Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems: Fundamentals and Application, Sandia National Laboratories, janvier 1997.

<http://www.fsec.ucf.edu/pvt/resources/publications/pdf/FSEC-CR-1292-2001-1.pdf>

Moteurs à mouvement alternatif (Diesel, essence, gaz naturel)

Technology Characterization: Reciprocating Engines, développé pour l'Agence pour la protection de l'environnement américaine par le Energy Nexus Group, février 2002.

<http://www.epa.gov/>

Pour les missions de l'USAID ou tout autre programme du gouvernement américain intéressé par la reconfiguration d'infrastructure de centres de santé, l'équipe chargée de l'énergie à l'USAID dans le Service infrastructure et ingénierie du Bureau pour la croissance économique, l'agriculture et le commerce (Bureau for Economic Growth, Agriculture and Trade, Office of Infrastructure and Engineering) est disponible pour fournir de l'assistance supplémentaire. Les coordonnées figurent ci-dessous.

Gordon Weynand

Leader de l'équipe du domaine énergétique

Office of Infrastructure and Engineering

Bureau for Economic Growth, Agriculture and Trade

U.S. Agency for International Development

1300 Pennsylvania Avenue, NW

Washington, DC 20523

Téléphone : +1 (202) 712-4169

GoWeynand@usaid.gov