

 **Info**

 **Retour de terrain**

 **Définition**

 **Chronologie**

 **Chiffres clés**

[Partie 3 - Cahier technique]

De la lampe portable au miniréseau, le territoire subsaharien est devenu un laboratoire de solutions décentralisées.



« L'héritage humaniste des premiers acteurs de l'électrification rurale conduit logiquement à traiter les technologies comme des outils. Cependant, les technologies imposent parfois leurs conditions, ce qui modifie les façons de penser et oblige à en comprendre en profondeur les mécanismes spécifiques. »

Bernard Equer, ancien directeur de recherche au CNRS, spécialiste de l'énergie solaire



Introduction

Sur les plans technique et opérationnel, force est de constater que le domaine de l'accès à l'électricité hors réseau est innovant et dynamique, mais qu'il est aussi fragmenté et désorganisé. C'est sans doute le propre des secteurs en mutation.

Encouragés par des circonstances technologiques, politiques, sociales et économiques favorables, des acteurs de plus en plus nombreux investissent le champ de l'électrification rurale en ordre dispersé, notamment avec des solutions reposant sur la technologie photovoltaïque (3.1.). Derrière la multiplicité de ces solutions se cachent, selon leurs promoteurs, des logiques économiques et des approches sociales parfois antagonistes.

Les chapitres suivants tentent d'en restituer la diversité, en regroupant différents schémas qui coexistent selon trois périmètres : l'électrification individuelle domestique (3.2.), l'électrification des infrastructures communautaires (3.3.) et l'électrification collective (3.4. et 3.5.).

Les principales solutions d'électrification évoquées dans cette partie figurent sur la planche dessinée panoramique située au centre de l'ouvrage. Chacune de ces solutions fait également l'objet d'un schéma détaillé en tête du chapitre concerné.

3.1.

En l'absence de politique sectorielle, de multiples solutions coexistent, reposant notamment sur le photovoltaïque.

On l'a déjà évoqué, des acteurs, notamment venus du secteur privé, ajoutent de nouvelles pièces au puzzle de l'électrification hors réseau, qui s'est considérablement densifié en quelques années.

Dans des pays où les politiques d'électrification rurale sont peu effectives, et en l'absence de stratégie internationale ou panafricaine, aucune des parties en présence ne peut développer de vision holistique « intelligente » de l'ensemble des opérations réalisées sur un territoire. Tous les services électriques mis en œuvre permettent à une partie de la population rurale d'améliorer ses conditions de vie, mais leur impact est évidemment moindre que si leurs porteurs joignaient leurs forces pour penser l'électrification d'un territoire et combiner leurs solutions de manière coordonnée et planifiée (3.1.1).

Un point commun se dégage malgré tout de cet ensemble hétéroclite de solutions : l'omniprésence de la technologie solaire, avantaagée par sa simplicité et son accessibilité, dont quelques fondamentaux techniques sont rappelés dans ce chapitre (3.1.2).



En zone rurale, on trouve des solutions hétéroclites dans un même village.

3.1.1.

Le panorama des solutions d'électrification rurale décentralisée est très diversifié.

De la lampe solaire portable au réseau interconnecté, la palette de solutions d'électrification rurale est très large ; et le champ d'action, en l'absence de régulation et de coordination, est presque complètement ouvert.

Ces solutions, qu'elles soient disponibles sur le marché ou mises en œuvre dans un cadre institutionnel, répondent à la plupart des besoins des populations. Mais leur juxtaposition aléatoire sur un même territoire, sans vision ni cohérence d'ensemble, produit parfois des effets pervers.

Toutes les conditions sont réunies pour favoriser un foisonnement de solutions sur le « marché » de l'accès à l'électricité hors réseau.

Plusieurs paramètres, déjà évoqués, se combinent pour expliquer la multiplication des solutions décentralisées par énergies renouvelables sur les territoires, et notamment celles portées par des acteurs non institutionnels :

- **la demande en électricité du continent africain est en constante progression** et il sera très difficile d'y répondre ; en cause, une croissance démographique bien supérieure à la vitesse de développement des infrastructures électriques (cf. chapitre 1.1.1.) et des besoins qui suivent la courbe exponentielle de la diffusion de la téléphonie mobile et des solutions numériques liées (cf. chapitre 1.1.3.). Tandis que certains s'inquiètent du creusement des inégalités sociales qu'induit cette demande inassouvie, d'autres y voient une formidable opportunité de marché ;

- **les politiques nationales d'électrification et leurs organes institutionnels portés par les institutions financières internationales ne savent pas convaincre**, après beaucoup de promesses non tenues (cf. chapitre 1.2). De nombreux acteurs, au premier chef desquels les populations non desservies, n'attendent plus grand-chose de ces institutions et se tournent logiquement vers les offres présentes sur le terrain ;
- **les récentes évolutions technologiques ont rendu possible l'émergence de nouveaux modèles techniques et économiques** (cf. chapitre 2.3.1.) permettant à l'électricité d'atteindre des zones rurales jusque-là inaccessibles, grâce à des systèmes simples et abordables. L'offre est là, elle rencontre la demande ;
- **les majors de l'industrie de l'énergie et les start-up du numérique se sont emparées du domaine**, faisant de fait de l'électrification rurale décentralisée une opportunité marchande (certains parlent même de champ de bataille!). Elles ont pour elles leur puissance économique, leur capacité d'investissement et d'innovation, leur agilité, et entraînent dans leur sillage des investisseurs dont l'attention était jusqu'alors inaccessible. La diffusion massive des solutions s'en trouve facilitée ;
- **enfin, les politiques d'aide internationale soutiennent l'accès à une électricité « moderne, durable et abordable »** (selon la formule consacrée par les ODD) : elles donnent la

1. Aurélien Bernier, « Batailles commerciales pour éclairer l'Afrique: un marché de l'électricité qui suscite bien des convoitises », Le Monde diplomatique, 2018.

priorité aux énergies renouvelables, accordant une attention et des moyens de plus en plus conséquents aux solutions dites « innovantes », souvent portées par des acteurs privés, souvent synonymes d'investissements privés. Les banquiers du développement sont évidemment sensibles aux discours de ceux qui affirment que l'électrification rurale peut être viable sans subvention.

La dynamique actuelle se déploie largement hors du cadre institutionnel.

La multiplication des acteurs privés proposant des schémas d'électrification rurale hors réseau semble échapper au contrôle institutionnel. En effet, ces nouveaux acteurs interviennent souvent sans concertation avec les pouvoirs publics, dans un contexte où les cadres réglementaires sont encore en gestation. Par ailleurs, certains d'entre eux, prioritairement guidés par les perspectives de profit, sont indifférents aux principes qui sous-tendent un projet d'accès à l'électricité au service du développement humain. Ainsi, de nouveaux concepts, qui, certes, répondent à une certaine partie de la demande, se généralisent sans garde-fous sur le territoire rural africain.

Certains voient dans la multiplicité des schémas d'accès à l'électricité une conjugaison utile de réponses adaptées à des contextes différents. En réalité, cette complémentarité reste le plus souvent théorique, dans la mesure où les acteurs en présence ne partagent pas un même diagnostic territorial, ni ne se coordonnent dans l'exécution de leurs projets respectifs. Comme le montre l'exemple en encadré, plusieurs schémas disparates, voire contradictoires, d'électrification peuvent coexister sur un même territoire².

Manque d'harmonisation, absence de planification et faiblesse de la concertation ont une autre conséquence : les usagers, rarement considérés dans toutes leurs dimensions (c'est-à-dire leurs besoins exprimés mais aussi leur environnement), peinent à trouver des repères. Dès lors, les messages que portent certains acteurs, notamment les ONG (sur la notion de service électrique, sur les droits des consommateurs ou sur les obligations des fournisseurs de solutions) sont difficilement audibles.

Les solutions présentées ci-après sont classées en fonction du périmètre d'usage du service électrique.

Les chapitres qui suivent décrivent les principaux modèles d'électrification hors réseau observés sur le terrain. Etant donné leur nombre et la pluralité des usages, le panorama est non exhaustif et il procède d'un choix de classification nécessairement imparfait.

Analysés sous différents angles, besoins couverts, promoteurs des solutions, modèles économiques sous-jacents, cadre institutionnel, forces et limites..., les solutions recensées sont présentées en trois catégories de schémas, tous susceptibles d'avoir plusieurs déclinaisons ou combinaisons entre eux :

- **les schémas d'électrification individuels domestiques** : systèmes photovoltaïques autonomes domestiques, équipements solaires portables, systèmes solaires individuels *pay as you go* (PAYG) ;

2. A noter que cette situation de cohabitation de solutions diverses a été celle du développement de l'ERD en milieu rural français. Par exemple, dans le département du Lot, il y avait avant 1940 plus d'une centaine d'entreprises d'électrification avec des solutions techniques et des tarifs différents. Cette cohabitation des technologies et des tarifs est probablement un passage obligé du développement de l'électrification : on apprend en marchant.



© Fondation Énergies pour le Monde

Vue aérienne de Kouramangui en Guinée, on peut y voir : des kits solaires, des lampadaires solaires et un miniréseau

- **le cas spécifique de l'électrification des infrastructures publiques** : bâtiments et ouvrages publics tels que mairies, écoles, centres de santé, locaux communautaires, etc., principalement électrifiés par système solaire autonome ou microréseau, dans des gammes de puissance plus importantes que celles des dispositifs individuels ;
- **les schémas d'électrification collective** : systèmes de production d'électricité, et éventuellement de distribution, qui bénéficient totalement ou partiellement à un ensemble d'usagers, comme les plateformes multifonctionnelles, les kiosques énergie, les nanoréseaux et, bien sûr, les miniréseaux, dont la complexité justifie un chapitre dédié.

Cette présentation, non exhaustive, se veut factuelle et sans hiérarchie analytique. Illustré d'exemples, de retours d'expérience et d'entretiens, l'exercice ne vise pas à mettre en lumière telle solution ou tel acteur, mais à brosser le portrait vivant d'un secteur en pleine effervescence, à reconstituer la mosaïque de services aux philosophies souvent différentes, et à refléter ainsi une réalité aux facettes multiples.

En préalable, un rappel technique des principaux ordres de grandeur, terminologies et principes de fonctionnement des systèmes photovoltaïques autonomes est proposé au chapitre suivant. ●



Un exemple de mosaïque de solutions sur un même territoire

Au sud de Madagascar, dans la région de l'Atsimo-Andrefana, l'électricité est proposée selon trois schémas différents sur un même territoire rural :

- un opérateur privé distribue de l'électricité par **miniréseau solaire** au prix de 1 €/kWh dans une commune rurale de quelques milliers d'habitants ;
- à quelques kilomètres, plusieurs hameaux enclavés s'équipent progressivement en **systèmes solaires individuels avec PAYG** distribués par une société locale ;
- à proximité, une autre localité a bénéficié d'un « **kiosque énergie** » avec l'appui d'une ONG internationale, proposant des services électriques à vocation sociale à très bas coût.

Cette mosaïque, loin d'être un cas isolé, se trouve à une trentaine de kilomètres de la sous-préfecture, électrifiée par le réseau de la société nationale d'électricité, qui offre un service certes dégradé mais à un tarif « social » (de l'ordre de 0,10 €/kWh), loin de représenter son coût réel de production.

En conséquence, aucun usager n'est satisfait, et les solutions individuelles se multiplient en remplacement ou en complément des réseaux existants :

- les usagers du miniréseau se plaignent de payer une électricité dix fois plus onéreuse que dans la sous-préfecture ;
- les usagers des systèmes solaires individuels PAYG réclament de pouvoir utiliser d'autres appareils, comme à la ville ou sur le miniréseau voisin ;
- les lampes solaires portables proposées à un prix modique par le « kiosque » se retrouvent dans l'ensemble du territoire, y compris dans les zones électrifiées.

Comment un ménage non électrifié peut-il se forger une culture énergétique et des points de repère justes, techniquement et économiquement ? Comment l'agence d'électrification rurale peut-elle agir pour harmoniser les règles ? Comment l'autorité de régulation du secteur électrique peut-elle faire respecter les droits et les devoirs des différents acteurs ?

Source : Fondation Energies pour le Monde.

3.1.2.

Les systèmes photovoltaïques autonomes : notions techniques de base.

Le panorama des solutions recensées sur le terrain fait la part belle au photovoltaïque, la technologie solaire étant, pour des raisons techniques et économiques déjà explicitées, la plus simple à mettre en œuvre en milieu rural, du moins depuis une dizaine d'années (cf. chapitre 1.1.2.).

Le rappel technique qui suit vise à donner au lecteur non averti les clés nécessaires à la compréhension de la technologie sous-jacente aux solutions présentées plus loin dans l'ouvrage.

Rappel de quelques notions techniques sur les générateurs solaires photovoltaïques autonomes.

Le fonctionnement d'un générateur solaire photovoltaïque autonome.

Un générateur solaire photovoltaïque est un système de production d'électricité fonctionnant à partir d'un ou plusieurs modules photovoltaïques (PV) qui convertissent instantanément l'énergie du rayonnement solaire en électricité. Stockée dans un ensemble de batteries électrochimiques, cette électricité peut être restituée à l'utilisateur la nuit et en période de faible ensoleillement.

Un générateur photovoltaïque comprend quatre composantes : la production, le stockage, la régulation et la distribution :

- **le champ photovoltaïque (production)**, composé d'un ou plusieurs modules qui produisent de l'électricité au « fil du soleil », est installé sur des structures fixes ou mobiles en toiture ou au

sol, et communément orientées vers l'équateur ;

- **le parc d'accumulateurs électrochimiques (stockage)**, composé d'une ou plusieurs batteries, permet de restituer l'électricité stockée en journée pendant la nuit et les périodes de faible ensoleillement. Chaque jour, la batterie subit un cycle de charge et décharge plus ou moins profond. Sa durée de vie dépendra du nombre de cycles et de leurs profondeurs.

Aujourd'hui, la majorité des batteries vendues individuellement sont issues de la technologie plomb/acide, bien que de nouveaux alliages arrivent sur le marché de l'électrification autonome (lithium, nickel-hydrure métallique, etc.).

Les batteries sont le talon d'Achille des générateurs solaires et l'une des principales causes de défaillance prématurée des générateurs PV (cf. chapitre 2.3.1.). Elles exigent une attention particulière au moment du dimensionnement, leurs conditions d'utilisation (température, qualité de la régulation, entretien, etc.) devant être connues pour apprécier au mieux leur durée de vie :

- **le contrôleur de charge et/ou décharge (régulation)**, constitué de composants électroniques, contrôle les flux d'électricité au sein du générateur. Son rôle principal est de protéger les batteries contre les surcharges et les décharges profondes, deux phénomènes qui affectent fortement leur durée de vie. Les systèmes récents offrent par ailleurs des fonctionnalités d'affichage et d'alarme pour améliorer la compréhension et la gestion des systèmes par leurs propres usagers ;

- **l'onduleur (distribution)** transforme si nécessaire l'électricité produite en courant continu (généralement 12, 24 ou 48 V) en courant alternatif*

(généralement 220 V / 50 Hz). L'électricité sous forme alternative est celle distribuée par les réseaux urbains, les récepteurs électriques courants et/ou de forte puissance sont conçus pour fonctionner avec du courant alternatif. Généralement utilisé dans les générateurs photovoltaïques de taille significative (à partir de quelques kWc), l'onduleur permet d'alimenter des récepteurs conçus pour être raccordés aux réseaux électriques traditionnels.

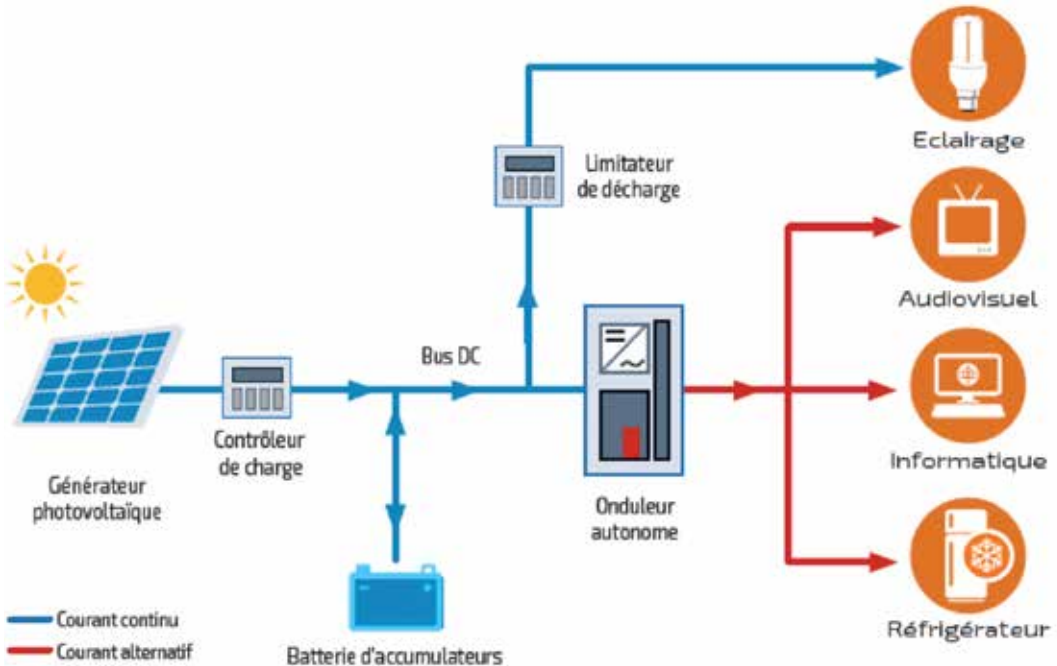
Pour les petits systèmes, l'électricité est délivrée en courant continu (cf. encadré), ce qui évite les pertes de conversion.

Les différents types de générateurs solaires autonomes.

Aujourd'hui, il existe une large gamme de générateurs solaires : de quelques watts-crêtes (Wc ; cf. encadré) pour les lampes solaires – on parle parfois de « nano PV » – à plusieurs centaines de kilowatts-crêtes pour certaines centrales solaires alimentant des miniréseaux.

Les domaines d'application des générateurs solaires autonomes sont très vastes et peuvent répondre à des besoins en électricité de toute nature. ○

Schéma de principe d'un système PV autonome avec stockage



Source : Gérard Moine



Le watt-crête

Dans le domaine du photovoltaïque, le watt-crête (Wc) est l'unité de référence. Il correspond à une sorte de puissance électrique « nominale » d'un module photovoltaïque. En pratique, **cette valeur normalisée permet de comparer les composants et d'effectuer les dimensionnements énergétiques** ; un module de 50 Wc restituera deux fois moins d'énergie journalière qu'un module de 100 Wc, dans des conditions climatiques identiques.

De même qu'un moteur de voiture de 125 chevaux sera en mesure de fournir cette puissance uniquement si un ensemble de conditions théoriques sont réunies (température moteur, qualité du lubrifiant, qualité du carburant, température de l'air, etc.), un module PV ne peut délivrer sa puissance crête que dans certaines conditions optimales. En laboratoire, la notion de Wc est essentielle pour caractériser les cellules et les modules photovoltaïques. Elle correspond à la puissance électrique délivrée par un module PV dans des conditions d'ensoleillement et de température normalisées sur le plan international :

- une valeur de la puissance du rayonnement solaire de 1000 W/m² ;
- une température de cellule de 25 °C ;
- un spectre d'émission solaire correspondant à la traversée d'une couche et demie d'épaisseur d'atmosphère sans nuage (que l'on appelle le spectre AM 1,5).

Pourquoi ces valeurs pour en faire un cadre normatif ? Les valeurs qui ont construit la norme de la mesure de la puissance crête correspondent davantage à l'environnement climatique des pays du Nord qu'à celui des pays du Sud.

Une puissance du rayonnement solaire de 1000 W/m² est la valeur communément mesurée si l'on observe le soleil au midi solaire sous des latitudes moyennes, de 30 à 50°, en période estivale. On pourrait donc dire qu'il s'agirait d'une puissance solaire « maximale » observable. C'est sous ces mêmes latitudes qu'un spectre solaire AM 1.5 correspond à la position du soleil dans le ciel en journée et qu'une température de cellule de 25 °C peut s'observer par temps froid et ensoleillé.

Exemple :

Un module photovoltaïque de 250 Wc installé en haute montagne recevra régulièrement des puissances d'ensoleillement de 1200 à 1300 W/m² et sera exposé à des températures fortement négatives. Il délivrera ainsi très souvent des puissances électriques supérieures à 300 W, alors que sa puissance crête est de 250 Wc.

Ce même module installé au Sahel et exposé à un fort ensoleillement (1000 à 1100 W/m² au midi solaire) verra sa température de surface atteindre très souvent 70 à 80 °C. Il restituera une puissance électrique souvent limitée à 200 W, alors que sa puissance crête affichée est de 250 Wc.

Exemples de types de générateurs PV et hybrides

Type d'usage	Récepteurs électriques	Besoins moyens par jour	Puissance PV / hybride	Stockage batterie	Puissance onduleur
Ménage de six personnes	Eclairage, téléphone, radio, TV	0,2 kWh/jour	50 Wc	70 Ah @ 12 Vdc	DC uniquement
Boutique	Eclairage, téléphone, hi-fi, froid	1 kWh/jour	300 Wc	250 Ah @ 24 Vdc	DC uniquement
Cybercafé / vidéo	Vidéo, média, hi-fi, Internet	0,7 kWh/jour	200 Wc	200 Ah @ 24 Vdc	500 VA monophasé
Dispensaire de santé	Eclairage, froid, téléphone	0,9 kWh/jour	400 Wc	500 Ah @ 24 Vdc	1000 VA monophasé
Lampadaire public	Eclairage	0,15 kWh/jour	30 Wc	50 Ah @ 12 Vdc (ou Li-ion / Nimh)	DC uniquement
Ecodge dix bungalows	Equipements domestiques, électroménager	35 kWh/jour	7 000 Wc / groupe d'appoint 11 kVA	2 500 Ah @ 48 Vdc	9 000 VA monophasé
Relais télécoms	BTS, sécurisation, éclairage, communication	8 kWh/jour	3 000 Wc / groupe de secours de 5 kVA	500 Ah @ 48 Vdc	DC uniquement
Miniréseau de cent cinquante ménages	Divers domestique, communautaire, AGR	100 kWh/jour	30 kWc / groupe d'appoint 50 kVA	8 500 Ah @ 48 Vdc	40 kVA triphasé
Hôpital en zone urbaine	Equipement spécifique hospitalier	300 kWh/jour	100 kWc / groupe d'appoint 120 kVA	3 750 Ah @ 240 Vdc	80 kVA triphasé

Source : Fondation Energies pour le Monde.

3.2.

Les schémas d'électrification individuelle démocratisent l'accès à l'électricité, sans résoudre l'équation de la diversité des besoins.

La technologie photovoltaïque permet, à l'inverse des sources d'électricité conventionnelles, de produire des petites quantités d'électricité de façon durable, quel que soit le contexte géographique et climatique.

C'est la particularité qu'exploite un schéma d'électrification visant les systèmes à usage familial. En pratique, on parle indifféremment de « kit solaire », de « système solaire individuel » ou de « système photovoltaïque autonome », en anglais, « *solar home system* » (SHS). La dénomination « système solaire individuel » (SSI) sera retenue.

Ce schéma, qui se diffuse très rapidement, est proposé selon trois modalités de commercialisation : en vente directe auprès d'un détaillant (3.2.1.), en abonnement auprès d'un opérateur de *pay as you go* (3.2.2.), ou enfin dans le cadre d'un projet concerté (3.2.3.).

MINIDOSSIER

Quelques éléments clés sur les systèmes solaires individuels

Exemples et ordres de grandeur des SSI

Les observations de terrain suggèrent une classification en trois groupes de systèmes, selon la puissance du ou des modules PV utilisés.

Néanmoins, il faut garder à l'esprit que des assemblages de modules PV et de batteries permettent de concevoir des systèmes sur

mesure de tout type de puissance. Plus les usages sont divers et nombreux, plus une conception au cas par cas est nécessaire.

Le tableau ci-dessus propose quelques ordres de grandeurs (non exhaustifs) d'équipements photovoltaïques disponibles localement en acquisition directe, reprenant les appellations locales.

Exemples de systèmes solaires vendus dans les boutiques non spécialisées à Madagascar

	Petit panneau	Moyen panneau	Grand panneau
Puissance PV	5 à 10 Wc	50 à 130 Wc	220 à 280 Wc
Capacité de la batterie	5 à 10 Ah (12 V)	50 à 130 Ah (12 V)	150 à 300 Ah (12 V)
Type de récepteurs et de services	Eclairage LED, recharge téléphone	Eclairage LED, recharge téléphone, radio, petite TV / lecteur vidéo	Eclairage LED, recharge téléphone, radio, TV / décodeur satellite, multimédia
Service électrique moyen équivalent sous ensoleillement (4 à 6 kWh/m²/jour)	12 à 25 Wh/jour	200 à 350 Wh/jour	600 à 800 Wh/jour
Prix d'acquisition moyen en Afrique de l'Ouest (matériel asiatique)	20 à 50 €	70 à 150 €	150 à 350 €

Source : Fondation Energies pour le Monde.

Principe de fonctionnement d'un SSI

En sortie d'un SSI correctement dimensionné, installé et utilisé, l'électricité est disponible 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7. La quantité d'électricité utilisable chaque jour est logiquement corrélée à la quantité d'électricité produite par le champ photovoltaïque. Plus celui-ci est grand, plus la journée est ensoleillée, plus la quantité d'électricité disponible sera importante, du moins si cet excédent a été correctement stocké dans la batterie d'accumulateur.

Un système solaire individuel doit donc être conçu et dimensionné en intégrant les trois paramètres suivants :

- les besoins quotidiens de l'utilisateur de l'électricité (qui se traduisent graphiquement par une « courbe de charge journalière ») ;
- l'ensoleillement du site, y compris sa saisonnalité ;
- un stockage suffisant pour couvrir les besoins en soirée et dans les périodes de mauvais temps prolongé.



Pour aller plus loin

L'ouvrage de Jean-Paul Louineau, *Guide pratique du solaire photovoltaïque à l'usage des techniciennes et techniciens. Dimensionnement, installation et maintenance*, présente de manière extrêmement pédagogique et illustrée le principe de fonctionnement, d'installation et d'exploitation d'un SSI.

Source : Edition Observ'ER, 2017.

Entretien et durée de vie d'un SSI

Fonctionnant avec peu d'entretien, le SSI présente un point de faiblesse principal : la batterie. Alors que les marques et modèles se comptent par centaines, la qualité des batteries vendues sur le marché africain est extrêmement variable. Dans la plupart des cas, il est impossible pour l'acheteur de vérifier les performances annoncées : aucune garantie n'est proposée par le vendeur, ni aucune norme imposée par le régulateur.

Dépendant non seulement de la qualité de fabrication du produit mais aussi des conditions de stockage et d'utilisation, la durée de vie des batteries de ce type de système peut n'être que de quelques mois et n'excède que très rarement trois ans.

La Banque mondiale estime que 90 millions de SSI étaient en service à l'échelle mondiale en 2017¹. Sur le terrain, coexistent majoritairement trois types de solutions d'électrification par SSI, proposant une couverture variable des usages, et procédant de logiques d'acquisition et de distribution différentes :

- les équipements acquis directement par l'utilisateur auprès d'un revendeur local, éventuellement installés par ce dernier (cf. chapitre 3.2.1.) ;
- les kits PAYG (pay as you go), procédant d'une logique commerciale plus complexe de location-vente ou crédit-bail portée par un opérateur privé (cf. chapitre 3.2.2.) ; et enfin
- l'électrification par kits solaires dans le cadre d'un projet intégré (cf. chapitre 3.2.3.).

1. Lighting Global et GOGLA, « Off-Grid Solar Market Trends Report » (Washington, D.C, 2018).

3.2.1.

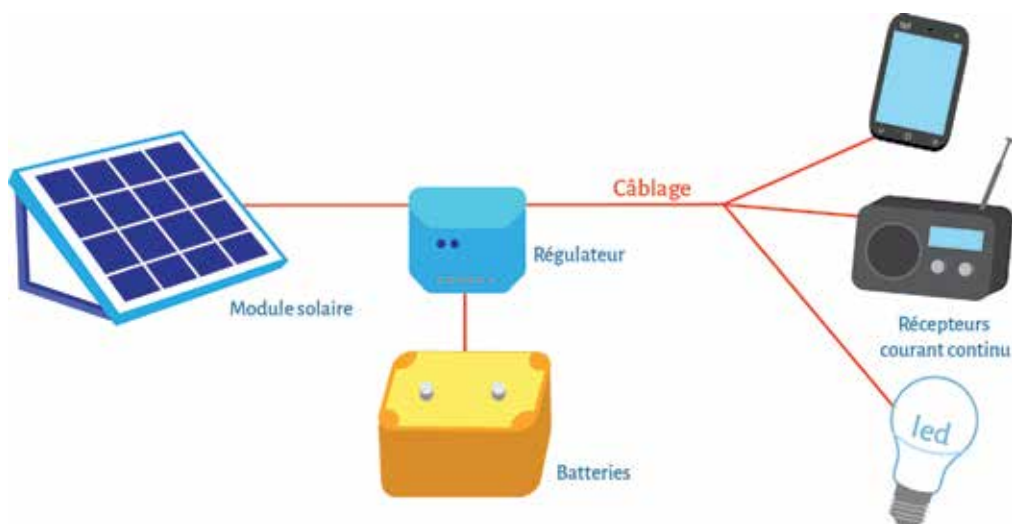
L'acquisition directe d'un système solaire individuel.

En Afrique subsaharienne, se procurer un SSI par ses propres moyens auprès d'un détaillant local n'est lié à aucun mécanisme d'électrification régulée sur un territoire. Pour autant, ce schéma d'électrification fait partie des voies d'accès à l'électricité les plus répandues en zone rurale non desservie par le réseau.

Le marché des systèmes solaires individuels (lampes, kits) est extrêmement dynamique. Entre 2011 et 2015, en seulement quatre ans, les ventes mondiales sont passées de 500 000 à 11,3 millions d'unités, portées essentiellement par la diffusion des solutions portables (cf. graphique). Les experts annoncent que les revenus liés à

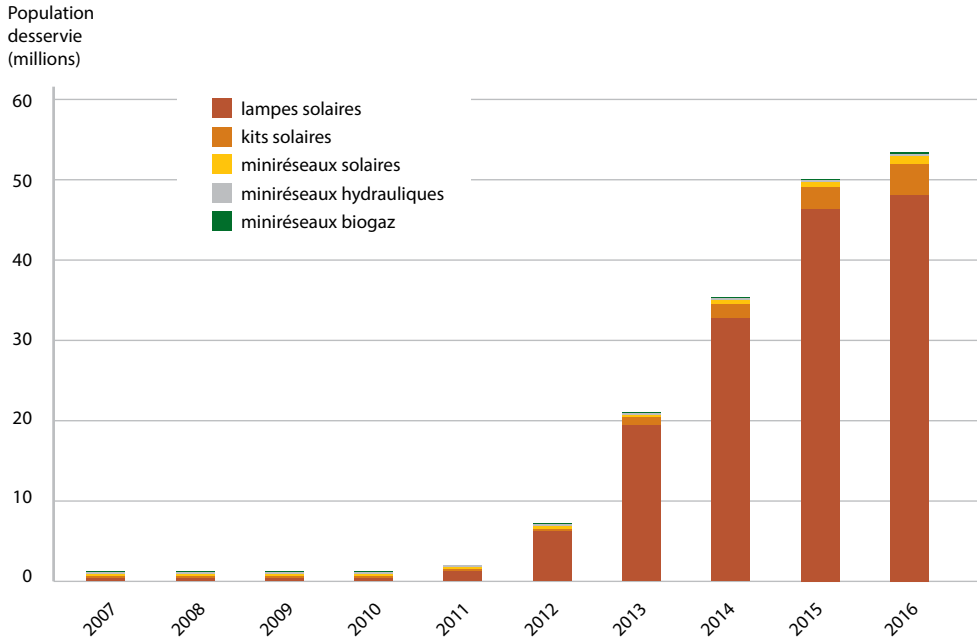


Fonctionnement d'un système solaire individuel PV



Source : Fondation Energies pour le Monde.

Population bénéficiant de solutions renouvelables hors réseau en Afrique



Source : IRENA, « Off-Grid renewable energy solutions, Global and Regional Status and Trends » (Abu Dhabi, 2018).

ces ventes vont doubler tous les deux ans, pour passer de 700 millions USD en 2015 à plus de 3 milliards USD en 2020¹.

Bien qu'elle soit en plein essor, il faut cependant garder à l'esprit que cette solution est surtout accessible aux catégories aisées de la population rurale. Par ailleurs, cette croissance soudaine, non encadrée, se fait souvent au détriment de la qualité des équipements.

De quoi parle-t-on ?

Le principe du système solaire individuel est simple et sa diffusion relève d'un processus marchand pur : la vente directe de matériels et accessoires photovoltaïques par un acteur économique local à son utilisateur final.

A la fin des années 1990, on dénombrait en Afrique de l'Ouest quelques dizaines d'entreprises spécialisées dans la vente et l'installation de systèmes PV, souvent adossées à des groupes internationaux et orientées vers des marchés dédiés (télécoms, applications sociales et militaires, pompage).

Autour de ces pionniers (parfois encore actifs, souvent reconnus pour leur expérience et leur savoir-faire), le décor s'est métamorphosé en moins de deux décennies. Il est devenu impossible de recenser les vendeurs de petits SSI sur le continent africain, qui sont sans doute plusieurs dizaines de milliers. Il est possible de se procurer quasiment

1. Lighting Global et Bloomberg New Energy Finance, « Off-Grid Solar Market Trends Report » (Washington, D.C, 2016), cité par Simon Lamy, « Solutions off-grid : quelles perspectives en Afrique ? » (Casablanca : PricewaterhouseCoopers, 2017).

partout un SSI complet auprès d'un commerce s'affichant comme spécialisé ou d'une quincaillerie ambulante sur un marché hebdomadaire.

Dans certaines localités peu enclavées, ces systèmes « locaux » peuvent équiper plus de 50 % des habitations (cf. l'encadré sur le cas de Kouramangui en chapitre 1.3.), même si, pour les ménages les plus modestes, le capital nécessaire pour s'équiper est tel que l'acquisition d'un SSI est difficilement envisageable.

Contrepartie de cette banalisation des SSI en dehors de toute régulation, on trouve sur le marché des produits de qualité très inégale, malgré les multiples initiatives portant sur la définition de standards techniques et de renforcement des compétences.

Les modules PV et les batteries vendus affichent des performances souvent mensongères et sont de qualité médiocre, au détriment du service rendu et de la durée de vie des systèmes.

Qui sont les principaux promoteurs ?

Appartenant à la famille des solutions distribuées selon un modèle libéral (cf. chapitre 2.4.1.), la diffusion des SSI s'appuie sur un circuit « *business to customer* ». La chaîne d'acteurs est assez réduite : des fabricants (pour la plupart asiatiques), des importateurs, des distributeurs et des revendeurs locaux.

Dans les principales villes, des entreprises spécialisées et expérimentées proposent des équipements PV de qualité, accompagnés d'un service d'installation et de maintenance adapté. Mais



Avis d'expert

Les professionnels du secteur estiment que plus de 9 installations solaires domestiques sur 10 en Afrique ne sont pas réalisées selon les règles de l'art.



Parole de professionnel Boubacar Sow

D'une manière générale, diriez-vous que la qualité des réalisations PV au Sénégal s'est améliorée au cours des dernières années ?

« Oui, malgré quelques problèmes au début de la décennie, dus à l'arrivée massive de nouveaux acteurs attirés par un secteur présenté par tous les politiques comme une solution miracle pour répondre aux besoins d'électricité du pays. L'amélioration est venue des multiples programmes de formation financés par la coopération internationale, mais aussi de l'expérience acquise lors de la construction de plusieurs centrales de grande puissance et de l'exécution de projets importants d'électrification rurale dans le pays. »

Boubacar Sow, ingénieur électrotechnicien, directeur général de l'entreprise SOLENE (Sénégal), travaille dans le solaire *off-grid* depuis plus de dix ans.

Sur le site web de l'ouvrage (<http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>), retrouvez l'intégralité de l'interview de Boubacar Sow ainsi que celle de Tanga Boureima Kabre, socioéconomiste de formation, spécialisé dans l'économie solidaire, cofondateur de Beta, qui a développé une expertise depuis plus de vingt-trois ans dans le domaine de l'accès à l'énergie par les ENR.

elles touchent rarement le marché domestique des zones rurales, qui, pour des raisons de coûts et de proximité, se tourne vers des commerçants locaux. Ces derniers, peu formés, vendent des composants (du module aux récepteurs) souvent de mauvaise qualité, laissant au client le soin de les assembler et de les installer. Trop peu de conseils et de service après-vente sont proposés.

A quels services accèdent les usagers¹ ?

Les SSI diffusés en Afrique subsaharienne permettent d'alimenter principalement des récepteurs de faible puissance : éclairage, radio, TV, recharge de lampes et de téléphones ; ce qui laisse par exemple de côté les petits équipements de production de froid. Seules quelques activités économiques peuvent être envisagées : petit commerce alimentaire, couture, coiffure, cyber-café et éventuellement services informatiques. L'électricité fournie par un système solaire individuel est limitée en puissance et en quantité d'électricité journalière. Bien qu'elle paraisse disponible chaque jour gratuitement, la quantité d'électricité disponible limitée contraint les usagers à adopter des pratiques de maîtrise de leur consommation. Aussi, une sensibilisation est-elle toujours nécessaire pour en faire comprendre les raisons et les effets.

Quel est le modèle économique ?

Du côté des usagers

Pour l'utilisateur, le coût de l'électricité produite par un SSI se déduit du montant d'investissement initial et des éventuelles dépenses liées au renouvellement de composants défectueux. Cela revient à acheter, en une seule fois, une quantité finie de kWh pour une durée de quelques années, jusqu'à

ce que le système devienne inopérant ou nécessite un renouvellement (celui de la batterie survenant généralement en premier).

Composant	Durée de vie moyenne
Batteries	2 à 10 ans
Onduleurs et convertisseurs	3 à 10 ans
Contrôleurs de charge/décharge	5 à 15 ans
Câbles et accessoires	10 à 20 ans
Modules PV	10 à 30 ans

Source : Fondation Energies pour le Monde.

Du côté des entreprises

Du côté des vendeurs de matériel, le secteur devient de plus en plus concurrentiel au regard de la croissance du nombre d'entreprises du « solaire » en Afrique. La chaîne de distribution est complète, de l'importateur aux détaillants, aujourd'hui présents jusque dans les marchés des zones les plus enclavées.

Toutefois, de nouveaux modèles de distribution apportant une meilleure qualité de service viennent attaquer ce modèle de vente directe. Face à la concurrence des opérateurs du *pay as you go* (cf. chapitre suivant), les vendeurs de SSI dégagent des marges si faibles qu'ils sont contraints, pour faire du volume, à mener une course aux prix bas, souvent au détriment de la qualité.

Quel est le cadre institutionnel ?

L'électrification par acquisition directe de systèmes solaires individuels répond à une logique marchande et, jusqu'à présent, ne s'inscrit dans aucun cadre institutionnel propre au domaine de l'accès à l'électricité, dans la plupart des pays d'Afrique

1. Plutôt que d'« usagers », il faudrait ici plutôt parler de « clients », les SSI étant distribués selon un modèle marchand.



Parole de professionnel Arnaud Chabanne

L'acquisition d'une lampe PV permet-elle des économies pour les ménages ?

*« Au Burkina Faso, une étude commanditée par Lighting Africa¹ en 2013 a évalué à 3100 FCFA (4,70 €) la dépense mensuelle d'éclairage, jusqu'à 10 % du budget d'un ménage. Les lampes solaires Lagazel, commercialisées en Afrique de l'Ouest entre 15 € et 45 €, sont donc rentabilisées en quatre à huit mois. Sur la durée de vie du produit, les économies sont estimées à 180 €, sans compter que le SAV apporté par Lagazel permet de doubler la durée de vie de la lampe grâce à un simple remplacement de batterie. Toutefois, les ménages étant habitués à des dépenses plus faibles mais récurrentes, **il est nécessaire d'accompagner la promotion des lampes d'actions de sensibilisation et de services financiers (comme le microcrédit) permettant aux ménages de lever l'obstacle de l'investissement initial.** »*

Arnaud Chabanne, ingénieur en énergies renouvelables et sensible aux problématiques d'accès à l'énergie, travaille depuis 2004 dans le secteur solaire au Burkina Faso, où il a créé l'entreprise CB Energie. En 2015, il fonde Lagazel avec son frère Maxence, avec pour objectif d'industrialiser la fabrication de lampes solaires de qualité sur le continent africain. Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale>

1. Voir chapitre 11.1.

subsaharienne. L'absence de normes techniques et de contrôle des équipements distribués porte un fort préjudice aux utilisateurs de SSI.

Quelles sont les forces et limites du modèle ?

En l'absence de programme d'extension des réseaux de distribution d'électricité ou de modèle de commercialisation de systèmes solaires individuels plus aboutis, les populations rurales et périurbaines ont naturellement recours à cette préélectrification en apprenant par elles-mêmes, et souvent à leurs dépens, les moyens et les outils de sa mise en œuvre.

La multiplication des fabricants, l'affichage de fausses performances, la distribution non régulée et l'absence de standards techniques minimum déstabilisent le marché des petits équipements photovoltaïques pour usages domestiques. Contrepartie positive de cette perte de crédibilité de la technologie PV au niveau local, elle fait prendre conscience qu'un minimum de qualité est nécessaire. Sur le moyen terme, les produits les moins performants seront probablement éliminés, ouvrant plus largement la voie aux modalités de vente plus pérennes déjà disponibles. A court terme néanmoins, en l'absence de programme structurant, les populations ont naturellement recours



Parole de professionnel Olivier Rasoldier

Pensez-vous que la profession aurait besoin, d'un cadre normatif plus strict pour une meilleure qualité des réalisations, notamment à Madagascar?

« C'est exact en théorie, mais difficilement applicable sur le terrain. L'environnement des affaires ne s'y prête pas du tout. D'autant que les utilisateurs n'expriment pas d'attentes fortes en la matière. La profession se développe à plusieurs vitesses :

- le **“zéro norme”** : ceux qui proposent du matériel qui ne respecte aucun critère de qualité, exposant le pays à des dangers environnementaux importants (à cause des déchets industriels comme les métaux lourds) ;
- l’**“intermédiaire”** : ceux qui assurent une durée de vie acceptable, sans garantie ;
- le **“haut de gamme”** : ceux qui interviennent avec des certificats de qualité et dont les installations suivent les procédures professionnelles de sécurité et de qualité. »

Olivier Rasoldier, docteur ingénieur dans la conception de machines, s'est spécialisé depuis 1987 dans les ENR. Il est gérant propriétaire de la société Energie Technologie depuis 1994. Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>



Une boutique solaire rurale fonctionnant grâce à un kit solaire.

à des produits de qualité médiocre pour couvrir quelques besoins basiques, en se procurant « ce qu'elles trouvent ».

Par ailleurs, si la présence de SSI peut être considérée comme une préélectrification précédant le déploiement d'un réseau, elle peut être paradoxale. La présence massive de systèmes solaires individuels sur un territoire est en effet à double tranchant. D'un côté, elle caractérise une habitude des populations à utiliser l'électricité et confirme l'existence d'une capacité de paiement, toutes deux favorables à l'utilisation du service en cas d'extension du réseau ou d'installation d'un miniréseau. De l'autre, les usagers propriétaires de SSI adhérant au principe de renouvellement de batterie (tous les dix-huit mois en moyenne) ne seront pas nécessairement favorables au

paiement régulier d'un service électrique dont ils n'ont ni le contrôle ni la propriété, dans l'hypothèse du déploiement d'un réseau.

Enfin, l'un des risques majeurs, à peine émergent, repose sur la diffusion massive de composants polluants non recyclés : les batteries (quelle que soit la technologie). Des milliers de batteries « usagées » sont dispersées dans la nature chaque jour, avec des conséquences environnementales et

sanitaires qui pourraient s'avérer catastrophiques à moyen terme. Malgré quelques initiatives, **la réflexion autour de la filière de recyclage est trop timide ; elle doit absolument être portée avec une ambition qui soit à la mesure de l'ampleur de la diffusion des systèmes d'électrification autonomes.**

En conclusion, malgré leurs limites d'usage, les SSI peuvent répondre de manière pérenne aux besoins de base en électricité en l'absence de solution collective (souvent longue et complexe à mettre en œuvre). Néanmoins, leur essor devrait s'accompagner d'un renforcement des compétences des acteurs locaux de la filière et d'un minimum d'exigence normative sur la qualité des produits importés. Si le secteur gagne en professionnalisme, il sera alors pertinent, d'étendre le cercle des usagers de SSI au-delà des couches les plus aisées de la population rurale grâce aux mécanismes d'aide, qui restent indispensables (cf. encadré). Enfin, l'acquisition d'un SSI en vente directe présente un autre avantage (également observé en logique de PAYG) : elle induit une relation directe entre production et consommation d'électricité et favorise une appropriation immédiate des questions énergétiques, notamment d'efficacité énergétique. ○



L'acquisition de systèmes solaires individuels par les ménages les plus modestes ne peut se faire sans subvention.

« Même ces méthodes à petite échelle visant à améliorer l'accès à l'électricité peuvent nécessiter une forme de subvention pour les ménages les plus modestes. »

Grimm et Peters (2016) constatent que le niveau de dépense que les ménages seraient disposés à engager pour l'énergie solaire hors réseau, dans plusieurs pays d'Afrique subsaharienne, est généralement inférieur au coût de la technologie, en ce qui concerne les ménages appartenant aux strates à faible revenu.

Source : Banque mondiale, « Africa's Pulse : une analyse des enjeux façonnant l'avenir économique de l'Afrique » (Washington, D.C., 2018).

3.2.2.

Les systèmes solaires individuels pay as you go.

Depuis 2010, les SSI se diffusent encore plus rapidement grâce à de nouvelles modalités de commercialisation ayant pour point commun de fournir des services électriques via un mécanisme de location de matériel (avec ou sans option d'achat). Ces dispositifs sont communément désignés sous le terme générique de *pay as you go* (PAYG), qui évoque une de leurs caractéristiques fondamentales, le prépaiement.



Ce phénomène récent figure en bonne place au sein des réflexions conduites sur l'électrification hors réseau et des mécanismes de financement associés, pour deux raisons :

- d'une part, le PAYG intègre l'innovation digitale, qui concentre l'attention de la plupart des observateurs et financeurs ;
- d'autre part, le modèle opérationnel du PAYG devait permettre de lever les deux obstacles caractérisant l'offre de SSI en vente directe : ses faiblesses techniques et son manque d'accessibilité (coût réservé à une clientèle aisée).



Pay as you go (PAYG)

Le *pay as you go* désigne le système de paiement anticipé d'un service, selon un montant fixé en fonction de l'usage prévisionnel qui sera fait de ce service. Initialement mise en place par les opérateurs de téléphonie mobile (cartes prépayées), cette modalité d'accès à un service est progressivement transposée à d'autres secteurs comme l'énergie ou les assurances (exemple : *pay as you drive*).

Ce chapitre propose une explication simple de cette solution et une première approche de ses avantages et limites, tels qu'ils se dessinent à l'aube de son déploiement. Car, malgré son succès, la prudence s'impose : on manque de recul pour tirer des conclusions solides quant à l'impact et la pérennité des dispositifs PAYG existants.

De quoi parle-t-on ?

Le service offert par les systèmes PAYG est similaire à celui délivré par les SSI classiques : il vise à satisfaire les besoins en électricité à forte valeur d'usage à partir d'un système photovoltaïque simple et de petite taille (5 à 100 Wc). Cependant, des différences notables distinguent le secteur de la vente directe de celui du PAYG.

Sur le plan commercial, le PAYG s'appuie sur un système d'abonnement à durée limitée, souvent dans le cadre d'une location-vente.

Différents systèmes coexistent et reposent sur le prépaiement du service électrique, avec ou sans option d'acquisition du matériel par l'utilisateur.

Dans la plupart des cas, après le versement d'un acompte de 10 à 20 % du prix du matériel, le client rembourse son équipement sur une période de douze à trente-six mois, à l'issue de laquelle il devient le plus souvent propriétaire du système. Le mécanisme est ainsi celui d'un « microcrédit-bail » simplifié. Car, par rapport à un microcrédit, les formalités sont allégées ; par exemple, chez M-Kopa, l'un des acteurs historiques du PAYG (250 000 ventes enregistrées au Kenya en 2017),

aucune garantie n'est exigée. La simple présentation d'une pièce d'identité et d'un compte *mobile money* valide suffit pour souscrire l'offre¹.

Le remboursement est de facto « garanti » par le mécanisme de prépaiement. Les SSI connectés sont activés pendant une période donnée (un jour, une semaine, un mois), moyennant l'acquittement préalable d'une somme forfaitaire ; en cas de non-paiement du service, celui-ci est interrompu automatiquement à distance par l'opérateur. Les deux parties sont donc engagées : l'une à effectuer le paiement du service, l'autre à assurer sa disponibilité.

¹. Séverine Leboucher, « Le pay-as-you-go sur les terres du microcrédit », *Revue Banque*, n°811 (2017).

Schéma de fonctionnement d'un kit PV en PAYG



Source : Fondation Energies pour le Monde.

MINIDOSSIER

Kit PAYG, télécoms, *mobile money* et compteur à prépaiement connecté... Comment ça marche ?

Les solutions PAYG, comme les miniréseaux, utilisent quasiment toutes un système de prépaiement adossé à la technologie du *mobile money*.

Les kits PAYG sont équipés d'un microprocesseur simple et d'une puce GSM communicante (GPRS, 2 à 5 G), ou via des informations transmises par SMS dans les zones les plus reculées (réseau GSM simple, sans data). Les frais relatifs au transit des données sont payés par l'opérateur PAYG, qui assure la continuité du service.

En utilisant soit une interface SSDD soit une application smartphone dédiée, l'utilisateur se connecte via son téléphone à la plateforme de l'opérateur PAYG.

Etape 1 : l'utilisateur procède à une demande d'achat de crédit d'énergie (crédit temps de quelques jours, ou crédit électricité de quelques kWh dans le cas des miniréseaux).

Etape 2 : il paie avec son compte *mobile money* : l'argent est directement versé de manière dématérialisée sur le compte *mobile money* de l'opérateur.

Etape 3 : après validation du paiement, un signal numérique est envoyé par les réseaux télécoms à la puce équipant le kit ou le compteur connecté, qui s'active alors automatiquement pour la durée et/ou la quantité d'énergie achetée.

Etape 4 : l'utilisateur reçoit un message de confirmation.

Pendant l'utilisation de son crédit d'électricité, le système continue de communiquer avec l'opérateur et l'utilisateur.

Les données techniques (profil de consommation précis, état des batteries), analysées et archivées dans le *cloud* de l'opérateur, permettent d'affiner la connaissance de l'utilisation de l'électricité en zone rurale et d'anticiper les évolutions de comportement. L'opérateur peut ainsi émettre des informations pertinentes vers l'utilisateur, l'aidant à mieux maîtriser sa consommation, ainsi que des alertes sur le solde d'électricité restant (lorsque le solde est épuisé, le système est coupé automatiquement).

L'utilisateur reçoit également des offres promotionnelles de l'opérateur qui l'incitent à :

- consommer en journée avec un tarif réduit dans le cas des SSI, pour éviter le transit d'électricité dans les batteries ;
- consommer les week-ends sur les miniréseaux solaires, lorsque l'absence d'acteurs économiques en activité engendre un surplus d'électricité au sein de la centrale ;
- réduire les consommations en période d'hivernage, saison des pluies ou période cyclonique, quel que soit le dispositif (SSI, miniréseaux).



Une boutique de PAYG en zone rurale.

Enfin, l'utilisateur et l'opérateur peuvent faire évoluer certains facteurs limitants. Dans le cas des miniréseaux (où plusieurs forfaits peuvent être proposés à des tarifs différents ; cf. chapitre 3.4.), les compteurs connectés permettent de faire évoluer à distance un abonnement. Un utilisateur peut ainsi passer d'un forfait basique (par exemple, limité à 100 W et 0,5 kWh/jour) à un forfait plus élevé (500 W et 2 kWh/jour). Le paramétrage des limiteurs de puissance et d'énergie peut être piloté à distance.

L'association du numérique avec les télécoms et les applications du big data laisse entrevoir des possibilités presque illimitées d'évolution vers des modèles de gestion technique et commerciale totalement dématérialisés. L'avenir confirmera si un tel dispositif, qui fait peu de place au facteur humain et repose sur la fiabilité de composants électroniques très dispersés géographiquement, est réellement adapté aux territoires ruraux subsahariens.

Le fonctionnement du PAYG



1. Le client souscrit un contrat
2. Un technicien installe le système solaire chez le client



3. Le client prépare pour de l'énergie journalière via *mobile money*
4. Il reçoit un code à usage unique par SMS



5. Le client entre le code, le produit se débloque pour le temps prépayé



6. Le client profite de services énergétiques prépayés et fiables

Source : Fondation Energies pour le Monde

D'un point de vue technique, le PAYG s'appuie sur la qualité des composants des SSI et sur l'utilisation du numérique.

Les opérateurs soignent la conception et le choix des produits pour fournir un équipement fiable et un service de qualité, garants de la satisfaction du client et de la régularité des paiements.

Les batteries li-ion viennent ainsi remplacer les accumulateurs au plomb, confirmant la pertinence de cette nouvelle technologie pour l'électrification rurale, du moins pour les systèmes de petite capacité.

Le numérique occupe une place importante. Les premiers kits PAYG étaient préprogrammés avec une série de codes que l'utilisateur achetait auprès de l'opérateur pour activer le système pendant une période donnée. Cette modalité, robuste mais peu évolutive, a fait place aux « SSI connectés » via les réseaux télécoms : les systèmes sont activés ou désactivés à distance par l'opérateur en fonction des paiements reçus.

La dématérialisation se poursuit avec l'utilisation du *mobile money*, quasi généralisée chez les

opérateurs d'Afrique de l'Est et en pleine croissance en Afrique de l'Ouest (voir chapitre 1.3.2.). La présence d'un opérateur physique fournissant codes et recharges est remplacée par une plateforme interactive d'échange et de paiement accessible sur téléphone mobile.

Les SSI connectés offrent de nouveaux services au client et de nouvelles capacités à l'opérateur, en plus de faciliter le paiement : transmission à l'utilisateur d'informations sur sa consommation, possibilité d'évolution des seuils de puissance et d'énergie pour s'adapter au client, collecte d'informations sur les comportements énergétiques et le fonctionnement des systèmes (cf. minidossier).

Le PAYG ne vend pas des kWh, mais des services énergétiques.

Par souci de maîtrise des consommations électriques et de qualité du service rendu, les systèmes solaires individuels PAYG sont fournis avec des récepteurs électriques de très basse consommation : ampoule(s) LED de quelques watts,

Un exemple de kit PAYG français : le kit UpOwa

Garantie 2ans

FLASH



3 LAMPES + CHARGEURS TÉLÉPHONES

Crédit de 18 mois: **130 000 FCFA**
 Avance: **13 000 FCFA**
 Par mois: **6 500 FCFA**

upowa
POWER YOUR HOME

LUCIOLE



**4 LAMPES + CHARGEURS TÉLÉPHONES
+ TORCHE RECHARGEABLE
+ RADIO USB RECHARGEABLE**

Crédit de 18 mois: **180 000 FCFA**
 Avance: **18 000 FCFA**
 Par mois: **9 000 FCFA**

Assistance téléphonique 7/7

LION



**1 TV + 1 DECODEUR + 4 LAMPES + CHARGEURS
TÉLÉPHONES
+ 2 PORTS USB**

Crédit de 24 mois: **560 000 FCFA**
 Avance: **80 000 FCFA**
 Par mois: **20 000 FCFA**

Source : UpOwa (<https://www.upowa.energy>)

téléviseur d'une quinzaine de watts, prise exclusivement dédiée à la recharge de téléphones. L'utilisateur ne peut pas utiliser d'autres récepteurs de même nature ni d'autres types de récepteurs que ceux fournis.

L'utilisateur achète ainsi « à crédit » des services à forte valeur d'usage (éclairage de très bonne qualité, recharge du téléphone mobile, télévision) à travers l'acquisition d'un SSI complet précâblé, équipé de récepteurs dont le nombre et la nature dépendent de l'offre choisie.

Ce modèle d'électrification prend une ampleur spectaculaire.

Il a pénétré l'Afrique par sa côte Est, en Tanzanie et

au Kenya, vers 2010, à la faveur de la libéralisation des secteurs de l'énergie, de la finance et des télécommunications. Parmi les pionniers du secteur, M-Kopa et Mobisol (aujourd'hui Engie) faisaient valoir plus de 600 000 foyers électrifiés chacun à fin 2017.

L'Afrique francophone ne découvre que depuis quelques années le PAYG. Elle représentait 12 % des ventes cumulées de systèmes PAYG sur la période 2013-2017 (contre 86 % pour l'Afrique de l'Est). Son retard est encore significatif, mais elle offre un potentiel de marché considérable, du fait du dynamisme du secteur de la téléphonie mobile et du développement du *mobile money* sur son sol.

Comparaison de quatre offres françaises (Qotto / Upowa / Oniriq/Orange)

Entreprise	Services	Tarifs
Qotto	Kit le plus demandé : <ul style="list-style-type: none"> • contrôleur de charge connecté, • 150 Wc de panneaux solaires, 60 Ah de batterie, • 4 LED, • TV LED 22 pouces, • câbles, • douilles, • interrupteurs, • maintenance gratuite durant trois ans. 	1 euro par jour pendant trois ans
Upowa	Kit de 5 à 10 W : <ul style="list-style-type: none"> • lampes et chargeurs, • Installation, • maintenance, • torche, • radio, • propriétaire après dix-huit mois à trois ans. 	Avance de 19 à 22 euros puis de 8 à 10 euros par mois
Oniriq	<ul style="list-style-type: none"> • Panneau solaire polycristallin 50 Wc, • box avec écran digital (4 ports USB, 4 prises 12 V DC, batterie plomb), • 3 lampes suspension 200 lumens, • compatible PAYG Orange Money, • TV HD, • hotspot wifi, • 15 heures d'éclairage par jour, • 6 heures de TV, • 5 recharges de téléphone, • garantie un an. 	Prix de vente de 250 euros HT (commande minimum de 1000 unités)
Orange	Kit solaire Véenem Basic : <ul style="list-style-type: none"> • 1 batterie, • 3 ampoules LED, • 1 panneau solaire, • câbles. 	Frais de souscription : 30 euros Prix mensuel : 4,50 euros <i>Prix valables au Burkina Faso</i>

En dix ans, le PAYG s'est diffusé dans près de la moitié des pays du monde

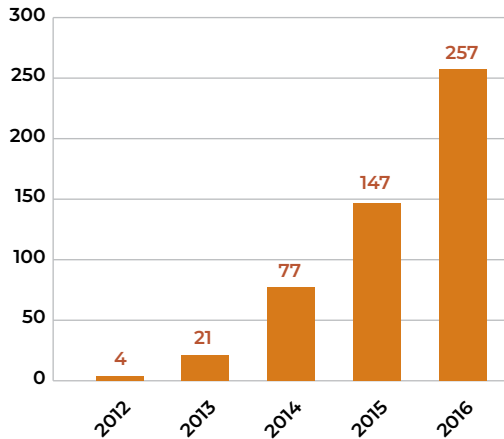


Source : « The symbiotic relationship between PAYG Solar and Mobile Money ecosystems », Climatescope, <http://2017.global-climatescope.org/en/blog/2017/06/26/GSMA/> .



Installation d'un kit solaire Qotto chez un particulier.

Les investissements dans les entreprises faisant du solaire en PAYG sont en croissance (en millions de dollars)



Source : Bloomberg New Energy Finance, « New Energy Outlook 2017 » (Washington, D.C, 2017).

Qui sont les principaux promoteurs ?

Basés sur un modèle capitalistique avec des visées de ventes massives, les promoteurs du PAYG sont de plus en plus nombreux. Industriels de l'énergie, start-up et entreprises locales se partagent un terrain de jeu qui attire de nombreux partenaires financiers (cf. chapitre 2.3.2.).

La viabilité du modèle n'est toutefois pas acquise. Elle repose sur de nombreux métiers et sur un équilibre complexe : une présence commerciale forte sur le terrain, une offre adaptée et modulaire, un marketing attractif, des équipements de bonne qualité, des partenariats solides avec les opérateurs télécoms, une gestion dématérialisée performante, une stratégie de diffusion de masse et un apport permanent en capitaux pour réaliser les investissements nécessaires à la croissance.

Cette palette de compétences se traduit par une cartographie diversifiée et mondialisée des

protagonistes des systèmes PAYG : des équipes de recherche et développement aux Etats-Unis, en Europe ou en Chine pour une innovation permanente, des fabricants de solutions intégrées majoritairement asiatiques, des vendeurs-installateurs sur le terrain, une équipe de gestion dématérialisée, des investisseurs sur les places financières.

A quelle électricité accèdent les clients ?

L'électricité produite par un SSI de type PAYG souffre des mêmes limites que celle d'un SSI traditionnel : puissance disponible faible et quantité d'énergie journalière limitée. Pour le moment, ce dispositif ne permet que rarement de satisfaire les besoins des activités productives¹.

Néanmoins, la perception de l'utilisateur d'un système PAYG est différente. En effet, contre le paiement d'un forfait périodique, le client acquiert moins un générateur électrique que des « services énergétiques », matérialisés par un ou plusieurs récepteurs (lampes LED, TV, chargeurs), avec une durée de fonctionnement garantie (quelques heures par jour).

Quel est le modèle économique ?

Du côté des utilisateurs.

Les clients des systèmes solaires individuels PAYG voient dans cette nouvelle solution un moyen simple et rapide d'accéder à un service électrique basique de qualité. L'apport initial relativement faible rend le produit accessible à davantage de foyers ruraux que l'acquisition directe. Car le montant à payer est, en théorie, équivalent aux dépenses énergétiques du ménage avant l'acquisition du système (achats de bougies, piles et/ou pétrole lampant).

Ces arguments, souvent mis en avant par les opérateurs du PAYG, doivent être relativisés : les tarifs pratiqués (cf. tableau comparatif des offres françaises supra) restent inaccessibles pour les

foyers les plus modestes, et l'entrée dans une mécanique de paiement régulier n'est envisageable que pour une partie de la population, celle qui est relativement stabilisée sur le plan économique. Le calcul du « coût équivalent du kWh » restitué sur ce type de système donne des résultats qui peuvent interpeller : de 5 à 15 €/kWh (contre 0,1 à 0,50 €/kWh pour les réseaux urbains, 0,5 à 1 €/kWh pour les miniréseaux)⁴.

Du côté des opérateurs

Le montant prépayé par le client couvre le coût des équipements (générateur et récepteurs), la maintenance du système, ainsi que les frais et marges de l'opérateur.

Si les acteurs du PAYG gardent leurs plans d'affaires confidentiels, les principaux éléments de leur stratégie sont aujourd'hui connus, parmi lesquels l'ambition de « réduire la pauvreté ». Quoique mise en avant par leur communication, elle apparaît néanmoins secondaire. La rentabilité est de facto l'objectif premier des opérateurs PAYG, dont le modèle recherche sa viabilité sans le soutien de subventions et exige l'implication d'investisseurs. Ces derniers, souvent éloignés des problématiques sociétales des populations rurales africaines, exigent un retour sur investissement plus ou moins rapide.

Malgré les perspectives de croissance et les chiffres annoncés par les acteurs du PAYG, une minorité seulement d'opérateurs atteint le volume critique permettant de trouver l'équilibre financier et de satisfaire les investisseurs. Toujours en recherche de fonds de roulement ou de capitaux d'investissement, parfois destinataires de dons dans le cadre de projets d'accès à l'énergie (les bailleurs institutionnels ouvrant de plus en plus largement les mécanismes au secteur privé), les opérateurs PAYG sont, en quelque sorte, « subventionnés ».

Dans ce contexte, les opérateurs PAYG ciblent stratégiquement les zones périurbaines ou rurales

à potentiel : ressources économiques stables ou croissantes, faible enclavement et forte densité de population. De facto, comme le relèvent certains investisseurs d'impact, ils sont même parfois conduits, pour rester profitables, à se détourner du segment rural et à s'éloigner de leur promesse sociale initiale².

Quelle contribution du PAYG à l'objectif d'accès universel à l'électricité ?

Si cette nouvelle modalité d'électrification semble répondre efficacement à la demande d'une partie importante de la population non ou mal desservie par le réseau national, elle présente toutefois trois limites importantes :

- **elle n'est pas aussi rurale que prévu** : alors qu'elle visait l'accès à l'électricité des zones rurales vulnérables, elle satisfait aujourd'hui principalement la demande exprimée dans les zones périphériques des grandes villes, là où la densité de la population et les capacités de paiement répondent aux exigences de rentabilité ;
- **seuls sont couverts les besoins domestiques à forte valeur d'usage** : répondre à d'autres applications, et notamment mieux couvrir les besoins des activités économiques, nécessite le développement de récepteurs spécifiques à faible consommation et de kits solaires plus complexes ; certains opérateurs y travaillent³ ;
- **elle risque de souffrir de l'absence de relations interpersonnelles entre les clients et**

1. L'éclairage permet de poursuivre le travail en période nocturne.

Les SSI les plus puissants (jusqu'à 200 Wc), comme ceux proposés par la société QOTTO, permettent une activité de service (exemples : vidéoclubs, recharge de portable, coiffure).

2. Diane Isenberg, Greg Neichin et Mary Roach, « An Impact Investor Urges Caution on the 'Energy Access Hype Cycle' », Next Billion Blog, 2017, <https://nextbillion.net/an-impact-investor-urges-caution-on-the-energy-access-hype-cycle/>.

3. Cf. interview intégrale de Jean-Baptiste Lenoir sur la page Internet de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>

4. ce calcul reste approximatif et peut être discuté dans la mesure où on compare des services différents

« Aujourd'hui, en proposant un système de leasing, les entreprises du PAYG jouent de facto un rôle d'institution financière, sans pour autant en avoir le métier, ni être soumises aux règles du secteur (sauf Mkopa, qui a choisi de se déclarer comme institution financière). Or, elles perdent de l'argent sur cette fonction de « crédit ». La plupart des acteurs du PAYG n'ont pas le fonds de roulement pour financer les stocks d'équipements et n'évaluent pas correctement le risque de crédit. Selon moi, les modèles actuels ne sont pas pérennes.

Dès lors, l'alliance avec des institutions de microfinance (IMF) capables de délivrer des services digitaux semble logique : elles savent évaluer le risque de crédit et disposent des fonds nécessaires à l'achat des équipements grâce à leur activité de collecte d'épargne.

Un tel rapprochement n'est cependant pas évident. L'IMF perçoit souvent l'opérateur PAYG comme un concurrent. Par expérience, il faut travailler longuement à développer les bons argumentaires et inciter les ventes. Equiper le personnel de l'IMF (le premier client, c'est le vendeur) et mettre à leur disposition des kits de démonstration est primordial. »

Renée Chao-Beroff, directrice générale de Pamiga et de Pamiga Finance SA, un véhicule d'investissement pour la microfinance rurale en Afrique subsaharienne.

les agents de l'opérateur : s'il semble facile d'acquérir de nouveaux clients, les garder demande plus d'efforts qu'escompté ; la dépersonnalisation de la vente semble aujourd'hui porter préjudice à la pérennité du modèle.

Certes, les investisseurs que savent attirer les promoteurs du PAYG devraient leur donner les moyens de lever certains de ces obstacles. Mais il est vraisemblable que cette modalité d'électrification laissera sans réponse quelques questions sociétales essentielles :

- qu'en est-il de l'accès à l'électricité des couches les plus défavorisées de la population, notamment en zone rurale ? ;

- comment électrifier les bâtiments publics, les écoles, les centres de santé et développer l'éclairage public dans ces territoires ruraux ? ;
- quel développement économique est possible avec le seul PAYG tant que cette solution n'est pas adaptée aux usages productifs ? ;
- comment articuler les solutions PAYG avec les miniréseaux, qui, eux, permettent de desservir davantage d'usages et de segments de la population ?

Comme le relève un des professionnels du PAYG (cf. témoignage infra), « le PAYG n'est pas la solution unique à tous les problèmes d'électrification ».



Parole de professionnelle Caroline Frontigny

D'après votre expérience, quel sont les besoins en électricité les plus exprimés par les populations rurales camerounais ?

La télévision. L'envie de se divertir (notamment suivre les matchs de foot !) et d'avoir accès au monde est très forte. Vient ensuite la recharge du téléphone, ce qui est compliqué dans les zones sans électricité et représente une contrainte quotidienne coûteuse. Enfin, il y a les besoins domestiques : la lumière pour la qualité de vie et les études des enfants, un frigo pour conserver la nourriture, un fer à repasser, etc.

Quelles sont les principales difficultés rencontrées à déployer votre offre sur le terrain ?

Les difficultés sont nombreuses. L'accès aux zones rurales est complexe : les routes sont peu praticables et souvent bloquées en saison des pluies, les clients travaillent aux champs dans des zones mal couvertes par le réseau téléphonique. De plus l'utilisation d'un kit solaire et du paiement par mobile money est souvent nouveau pour nos clients. La gestion d'un réseau d'agents est aussi un vrai défi d'organisation. Nous investissons aussi beaucoup sur leur formation afin qu'ils puissent accompagner nos clients et leur offrir un service de proximité et de qualité.

On reproche aux opérateurs de kit PAYG de ne pas cibler les zones pauvres et enclavées : quel est votre point de vue ?

Leur développement a permis d'électrifier un nombre considérable de personnes en un temps record. Cependant, le PAYG n'est pas la solution unique à tous les problèmes d'électrification : dans les zones très peu denses et enclavées il est impossible de servir les populations à un tarif abordables. Selon moi, le PAYG porté par des entreprises est un outil formidable, mais il faudra une collaboration entre entreprises, états, institutions et ONG pour arriver à électrifier toutes les zones encore plongées dans le noir.

Quel type de lien professionnel entretenez vous avec les institutionnels de l'énergie au Cameroun ?

Nous rendons compte régulièrement du déploiement de nos activités aux institutions camerounaises, notamment le Ministère de l'Eau et de l'Energie et l'Agence de Réglementation du Secteur de l'Electricité. De manière générale, les institutions camerounaises ont très bien accueilli notre activité car toutes les solutions pour apporter rapidement et durablement l'électricité sont bienvenues.

Ingénieure de formation, **Caroline Frontigny** a travaillé cinq ans à la Banque mondiale sur les problématiques d'accès à l'électricité. Elle est cofondatrice de la société Upowa, basée au Cameroun. Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>



Sensibilisation des utilisateurs du PAYG.

 **Parole de professionnel**
Jean-Baptiste Lenoir

Quelle importance accordez-vous à la sensibilisation et à la formation des utilisateurs ?

« Une importance cruciale. Pour l'adoption de la technologie, pour l'acceptation des produits, nous passons beaucoup de temps à présenter nos systèmes à nos futurs clients. Nos équipes font des démonstrations dans les villages, sur les places, aux carrefours. Durant toute une soirée, les gens peuvent venir regarder les équipements, les toucher, les utiliser, poser des questions. Lors de l'installation du système, notre équipe de techniciens en explique le fonctionnement. Nous assurons également le SAV et notre centre d'appels est ouvert 7 jours sur 7 pour répondre aux questions des clients et les aider si besoin. »

Jean-Baptiste Lenoir, ingénieur de formation, après une carrière de quinze ans dans les télécommunications, a consacré deux ans à Action Contre la Faim ; sa vision de l'industrie au service du plus grand nombre et sa connaissance des nouvelles technologies l'ont conduit à créer Qotto pour concevoir, distribuer et opérer des SSI en PAYG, en Afrique de l'Ouest. Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>

Une absence de cadre institutionnel ?

A ce jour, comme l'électrification individuelle par acquisition directe de matériel photovoltaïque, le PAYG ne s'inscrit dans aucun cadre institutionnel propre et se déploie dans un environnement concurrentiel déstructuré. Bien que certains observateurs internationaux intègrent les usagers dans leurs statistiques et leurs scénarios macroscopiques d'électrification, la régulation technique et tarifaire de cette activité est quasi inexistante.

Zones desservies, niveau de qualité de service, tarifications, droits et devoirs des parties : l'accès au service est régi par un contrat privé entre un opérateur et un utilisateur, et guidé, de manière dissymétrique, davantage par la stratégie du premier que par les intérêts du second.

Certes, Lighting Africa¹ s'est institué en autorité de validation qualitative. Mais en matière de SSI, le marché est relativement libre et peu réglementé lorsque la clientèle est un consommateur final. Comme il ne s'agit pas d'une vente d'électricité mais d'une vente d'équipements, la réglementation applicable est celle des biens d'équipements. La contrainte essentielle vient de la réglementation sur l'importation des biens.

Devant l'ampleur de l'essor des systèmes PAYG, le régulateur aurait intérêt à contraindre certains acteurs à une démarche plus cohérente, au bénéfice de l'ensemble de la population. Il faut créer le « chaînon juridique manquant » entre vente de biens d'équipement et vente d'électricité ou fourniture d'un service public.

Concernant les actions à mettre en œuvre, voir les préconisations présentées en partie 4.

Pour conclure, si certains considèrent l'électrification domestique par systèmes solaires individuels PAYG comme LA solution, ses limites actuelles ne font d'elle qu'UNE des modalités de l'électrification effective d'un territoire rural. Evoluant jusqu'à présent en dehors de toute régulation concernant la qualité du service, l'équité sociale ou la tarification, touchant essentiellement les zones proches des villes ou d'habitat plutôt dense, une généralisation telle quelle de ce nouveau modèle risque à terme d'exclure les plus fragiles de l'accès à l'électricité. D'où l'importance des initiatives qui recherchent une démocratisation des SSI. ●

1. Voir chapitre 1.1.1.

3.2.3. *L'électrification par système solaire individuel au sein d'un projet intégré.*

Comme on l'a évoqué précédemment, la majorité des SSI sont installés dans un cadre dérégulé de vente d'équipement acquis directement auprès d'un fournisseur de matériel ou d'une société proposant une offre PAYG.

Plus rares mais loin d'être inefficaces, certains schémas d'électrification concertés, mis en œuvre dans un cadre institutionnel et portés par des organisations non lucratives et/ou des opérateurs privés dans des mécanismes de concessions, contribuent à développer l'électrification rurale par SSI.

L'exemple des sociétés de services décentralisées (SSD)

De nombreux territoires d'Afrique australe (Afrique du Sud, Namibie, Botswana), mais aussi quelques régions d'Afrique de l'Ouest ont recours aux sociétés privées de services décentralisés ou « SSD », auxquelles est confiée la gestion d'un parc de systèmes solaires individuels.

Les concessions sont accordées à un opérateur pour une durée de dix à vingt ans. L'opérateur bénéficie de subventions à l'investissement pour déployer un parc de systèmes solaires individuels (de quelques centaines à plusieurs milliers) visant à desservir un maximum de bénéficiaires et d'usages (domestiques, communautaires et économiques). Les SSI sont dimensionnés pour répondre aux besoins spécifiques de la zone, y compris aux activités économiques potentielles et aux usages sociaux.

Les équipements restent propriété de l'opérateur, qui assure leur maintenance et le renouvellement

des composants, l'utilisateur payant une redevance (généralement mensuelle). Des obligations contractuelles lient la SSD à l'utilisateur et au ministère de tutelle, principalement celui en charge de l'énergie.

Les agences nationales de régulation du secteur électrique veillent au respect d'un cahier des charges : qualité technique du service, tarification adaptée, taux de couverture pour les ménages les plus modestes. Une attention particulière est portée sur la qualité des matériels et la sensibilisation des usagers.

Ce schéma semble, en théorie, répondre aux objectifs d'une électrification concertée, adaptée et équitable. Cependant, en pratique, le besoin en subventions à l'investissement (et parfois à l'exploitation, lors des renouvellements simultanés de batteries ou autres composants majeurs) limite leur déploiement et rend complexe leur mise en œuvre.

Marginalisé par l'arrivée des opérateurs du PAYG, qui se positionnent en relais, ce schéma démontre qu'une électrification par SSI accessible au plus grand nombre et couvrant tous les usages peut voir le jour à deux conditions :

- un soutien financier ; et
- la présence d'un cadre réglementaire minimal fixant les droits et obligations de chaque partie prenante.

Dans ce cas, l'électricité décentralisée est considérée comme un service géré par un opérateur privé censé dégager des bénéfices, et non comme un bien marchand, se rapprochant ainsi de la modalité de délégation de service public.



Equipe de la SSD Yelen Koura, basée au Mali.

Un projet peut associer exploitant privé et institution de microfinance.

On l'a dit, l'acquisition directe de SSI par autofinancement n'est possible qu'aux catégories les plus aisées des populations rurales. Elle peut aussi être financée par recours au microcrédit, mais les taux pratiqués par les institutions de microfinance (IMF) sont élevés : le microcrédit n'est pas non plus nécessairement accessible à tous. Certains projets, notamment pilotés par des ONG, font le pari d'une implication différente du secteur financier en organisant la distribution d'une offre de SSI « clé en main » via une IMF.

Le soutien d'un financeur du développement, sous la forme de subvention, permet de couvrir les dépenses d'assistance technique (accompagnement de l'IMF) et de subventionner une partie des équipements et, in fine, de sécuriser la qualité des équipements acquis via le microcrédit sur un

territoire, et d'élargir la base d'utilisateurs auxquels le dispositif de microcrédit est accessible.

Ce circuit de financement est notamment utile pour couvrir des besoins productifs : le recours au microcrédit permet aux microentrepreneurs d'acquies le système utile pour développer leur activité (mécanisation ou production de froid, par exemple).

Certes, le changement d'échelle de ce type d'opération n'est pas évident. Certes, l'existence d'un mécanisme de subvention, nécessaire pour pouvoir conjuguer qualité du matériel et accessibilité au plus grand nombre, est une contrainte. Mais le projet Miresol (voir encadré) démontre qu'il est possible de déployer des programmes ambitieux d'électrification par SSI en coopération avec le secteur financier local, en dehors d'une logique purement commerciale. ●



Le projet Miresol

Schéma organisationnel du mécanisme de crédit énergie

Organisme financier

Délivre un crédit et recouvre les remboursements

Fournisseur

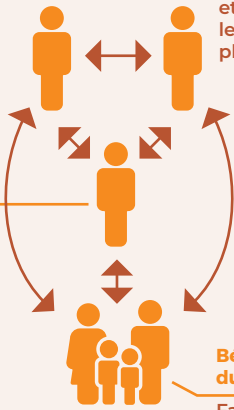
Fournit, installe et entretient les systèmes photovoltaïques

Structure de sensibilisation

Informe les populations rurales et les accompagne dans leurs démarches

Bénéficiaires du projet

Familles rurales qui contractent en emprunt



Source : Fondation Energies pour le Monde.

Mis en œuvre par la Fondation Energies pour le Monde entre 2008 et 2012, un dispositif d'acquisition de SSI original a bénéficié à 1000 foyers au Burkina Faso. Simple dans le principe mais assez complexe dans la mise en œuvre, ce mécanisme a associé des opérateurs privés locaux (fournisseurs de systèmes, installateurs), les pouvoirs publics, une caisse de microfinance locale et la Fondation. Cette dernière était chargée entre autres, de définir une gamme de SSI et de s'assurer de la qualité des composants, de l'installation et du service après-vente.

L'acquisition des équipements est proposée par l'institution de microfinance à ses adhérents. Celle-ci dispose de méthodes et d'outils pour concevoir une offre adaptée aux différentes catégories de population et évaluer les risques pour chaque emprunteur. Une fois le crédit accordé, le système est installé et entretenu pendant une durée de trois ans (correspondant à la durée de remboursement du microcrédit) par le partenaire technique local. Si l'achat et la

fourniture des matériels ont été en partie subventionnés, l'installation, la maintenance, les charges financières et les autres dépenses de gestion ont été couvertes par le paiement des mensualités.

A l'issue du remboursement, un lien fort s'est créé entre l'utilisateur et le partenaire technique, qui propose ses services de maintenance pour la continuité du service. L'opération a connu un vrai succès, notamment grâce à la proposition de plusieurs kits à destination d'acteurs économiques, dont un système de 300 Wc fourni avec un réfrigérateur de 140 litres.



Caisse de microcrédit au Burkina Faso (projet Miresol).



Parole de professionnelle Sarah Holt

Quatre ans après la fin du projet Miresol, les équipements sont-ils encore opérationnels ?

« Impliqué dès la conception du projet, un opérateur local, l'entreprise Beta (basée au cœur de la zone d'intervention) a assuré l'installation et la maintenance des équipements solaires. Ce service étant intégralement financé par le microcrédit pendant sa durée (trois ans), certains utilisateurs en bénéficient encore (les derniers microcrédits ont été accordés fin 2016 et début 2017). Les bénéficiaires qui le souhaitent peuvent poursuivre avec Beta pour l'entretien de leur kit une fois qu'il est payé et qu'ils en sont propriétaires. Malheureusement, malgré ce dispositif, il est difficile de suivre les équipements une fois le crédit remboursé et les principaux acteurs déliés de leur engagement contractuel. Ce manque d'accompagnement dans la durée reste, selon moi, un des défis majeurs des projets d'électrification décentralisée en Afrique. »

Sarah Holt, socioéconomiste de l'énergie, a travaillé avec l'ADEME, la GIZ, la Fondation Energies pour le Monde et aujourd'hui avec IED ; elle intervient depuis une douzaine d'années dans l'accès à l'électricité dans plusieurs pays d'Afrique.

Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>



Association de femmes posant avec leur épargne au Malawi



Pamiga : l'accès à l'énergie par la microfinance participative

ONG internationale créée en 2005, Pamiga (groupe de microfinance participative pour l'Afrique) développe des réseaux d'institutions de microfinance (IMF) dans dix pays d'Afrique subsaharienne, dans l'objectif de contribuer au développement du potentiel économique du continent.

En outre, depuis 2013, **elle aide les institutions financières rurales (IMF) à développer des produits financiers adaptés, afin de favoriser l'accès à l'énergie des populations en zone rurale.** Le modèle Pamiga repose sur une approche partenariale (*two-hand model*) entre une institution financière et un ou plusieurs fournisseur(s) de solutions solaires qui facilitent, pour les populations rurales, l'accès à l'investissement financier et à des solutions solaires de qualité.

Le Crédit solaire, produit financier spécifique destiné à financer l'accès à l'énergie, et adapté aux procédures existantes des IMF, a été codéveloppé, afin d'atténuer les risques liés aux crédits énergie. Egalement, les IMF peuvent, grâce à cette logique partenariale, décaisser directement l'argent au fournisseur, qui livre ensuite la solution solaire aux clients, recevant ainsi le Crédit solaire « en nature ».

Depuis fin 2015, ce modèle est testé au Cameroun (1993 kits solaires), en Ethiopie (1124 kits) et au Kenya (446 kits). Malgré un déploiement en deçà des attentes initiales, les premiers impacts mentionnés par les clients (accès facilité à des solutions solaires de qualité, réduction des dépenses énergétiques, diminution des problèmes de santé liés à l'utilisation du kérosène) sont positifs.

Pamiga accompagne actuellement ses IMF partenaires au changement d'échelle en déployant les Crédits solaires dans l'ensemble des réseaux d'agences rurales des trois pays et en diversifiant leur offre de solutions solaires. Ce modèle a par ailleurs été répliqué en Afrique de l'Ouest, au Bénin et au Sénégal.

Source : Nicolas Renard, David Ojcius, Dinah Louda, et Monique Fourdrignier, « Électrification décentralisée et développement » FACTS Report, de l'Institut Veolia, (2016) : 128-137.

3.3. L'électrification des infrastructures publiques reste problématique.

Dans les pays subsahariens les moins avancés, souvent dépourvus de ressources fiscales stables et suffisantes, les services publics souffrent d'un manque de moyens pour réaliser leurs missions dans des conditions minimales d'équipement. En milieu rural, les infrastructures éducatives, sanitaires, culturelles ou culturelles, lieux essentiels où se jouent la cohésion sociale et le développement, ne font pas exception. C'est ce qui explique que leur électrification a constitué l'un des premiers chantiers des acteurs de l'accès à l'électricité.

Intervenant là encore en ordre dispersé, ces acteurs n'ont, pour la plupart, pas suffisamment anticipé les contraintes liées à l'exploitation et à la gestion des ouvrages, d'où un manque de pérennité du service rendu.



Centre de santé électrifié au Burkina Faso.

3.3.1.

Electrifier les infrastructures publiques : l'évidence sociale à l'épreuve de la réalité.

Les infrastructures dites « publiques » regroupent l'ensemble des bâtiments et ouvrages à l'usage du public d'une localité rurale :

- **enseignement/éducation** : les écoles primaires, les collèges et parfois les lycées, qu'ils soient sous gestion privée (souvent rattachés à un culte) ou publique ;
- **santé** : toutes les infrastructures de santé, de la case de santé à l'hôpital secondaire, la plupart ayant la capacité de pratiquer des accouchements ;
- **institutions** : les mairies et bâtiments administratifs rattachés, présents dans les chefs-lieux de communes, non loin des lieux publics ou des espaces dédiés aux marchés et aux manifestations locales ;
- **bâtiments à vocation sociale et culturelle** : les foyers de jeunes ou de femmes, les marchés couverts, les locaux de coopératives, les maisons des associations, les foyers culturels, souvent bâtis à l'initiative d'ONG ;
- **édifices religieux** : les lieux de culte entretenus et animés par des représentants des confessions, lieux actifs de la vie et de l'équilibre des communautés.

Ce sont là autant d'espaces assurant un minimum de service public, de lieux de rencontres importants dans les sociétés traditionnelles où la transmission orale reste essentielle. Selon les cultures, la hiérarchie sociale s'y affirme ou s'y efface.

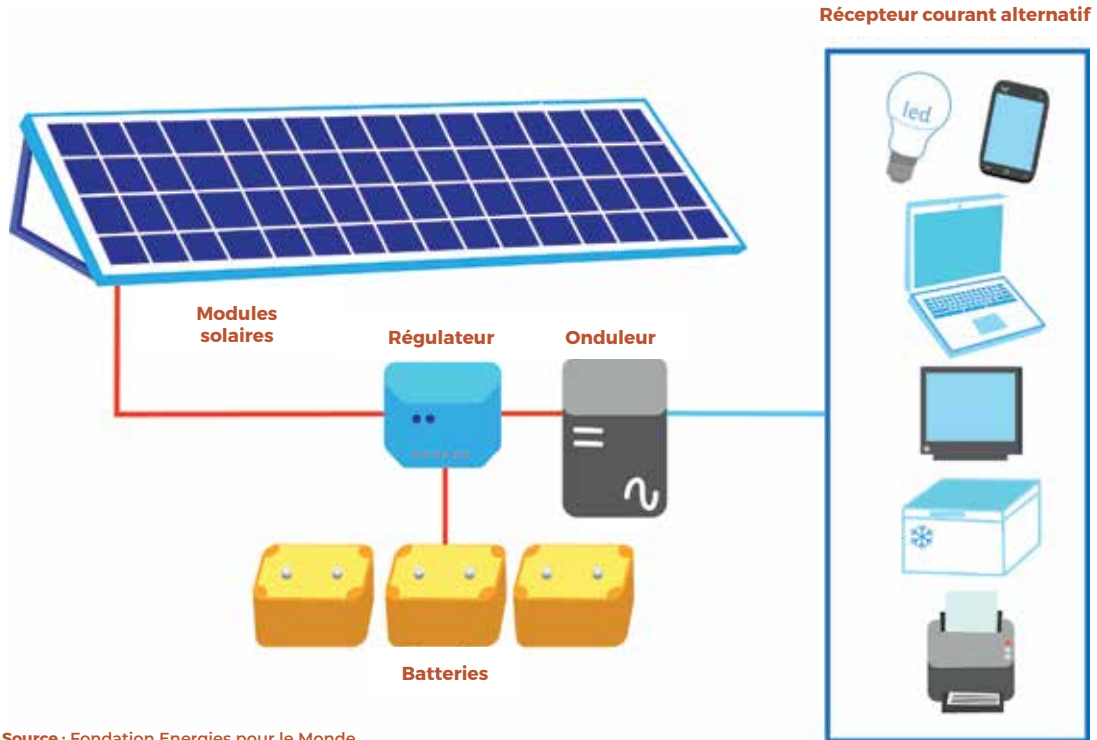
Ces lieux, indispensables à la cohésion d'une communauté rurale, ont une faible capacité contributive.

En Afrique subsaharienne, notamment francophone, la gestion de ces infrastructures est, en théorie, assurée localement selon le modèle de décentralisation « à la française ». En pratique, l'expérience montre que cette gestion locale est défailante, en raison du manque de moyens financiers alloués par les organismes de tutelle (ministères de la Décentralisation, de la Santé, de l'Education) ou par les associations d'usagers (comités de parents d'élèves, comités de gestion de dispensaire, etc.).

Dans le cadre d'un programme d'électrification, il faut clarifier en amont si des dépenses de maintenance et de remplacement sont à provisionner ; il faut impliquer les institutions pertinentes dès la phase préparatoire, et anticiper les obstacles qui pourraient affecter l'exploitation, et de fait la pérennité.



Electrification des bâtiments communautaires



Source : Fondation Energies pour le Monde.

Leurs besoins en électricité restent souvent limités.

Globalement, les besoins en électricité de ces ouvrages sont souvent faibles et facilement quantifiables. Hormis les centres de santé, qui, selon leur importance, peuvent être équipés de conservateurs à vaccins ou d'autres équipements spécifiques (Scialytique, stérilisateur, etc.), les bâtiments publics sont relativement peu énergivores : éclairage, équipement informatique, recharge de téléphones, sonorisation, éventuellement production de froid.

Leur électrification nécessite généralement des systèmes photovoltaïques relativement simples, de quelques centaines de Wc à quelques kWc. Cette simplicité, jointe au fort impact social de l'investissement, explique que les premiers projets d'électrification rurale décentralisée aient visé ce type d'infrastructures.

Leur fonctionnement essentiellement diurne les rend tout à fait compatibles avec des systèmes solaires individuels : le stockage batterie sera peu sollicité et peut donc être réduit. ○

3.3.2.

L'électrification des infrastructures publiques : un problème de méthode ?

Le problème a déjà été évoqué : le manque de vision holistique des différents acteurs de l'aide au développement, leurs interventions atomisées pénalisent l'efficacité de leur action. Ce constat est particulièrement aigu en ce qui concerne l'accès à l'électricité.

Le cas des ouvrages publics – dont l'électrification est indéniablement la source de nombreux bénéfices éducatifs, sanitaires et sociaux sur un territoire – vient l'illustrer de manière concrète : nombre d'installations ne sont plus opérationnelles.

L'attention portée aux besoins réels des utilisateurs des équipements et l'arbitrage judicieux des investissements, afin de satisfaire leurs attentes prioritaires, sont les meilleures garanties d'une bonne utilisation et d'une pérennité du service.

Les initiatives d'électrification impulsées par les pays du Nord, nombreuses mais insuffisamment coordonnées, sont rarement pérennes.

Une multitude d'organisations du Nord – associations, communes jumelées, groupements de la diaspora – contribuent à équiper les ouvrages publics en systèmes solaires photovoltaïques. Procédant d'une volonté généreuse, soucieuses d'impact social, ces initiatives sont souvent conduites par des acteurs novices, peu éprouvés aux problématiques techniques et organisationnelles de l'accès à l'électricité spécifiques à la région.

Pour l'électrification des bâtiments publics, seuls les programmes d'envergure nationale portés par les organisations disposant des moyens pour mettre en place un encadrement présentent un bilan satisfaisant.



Parole de professionnel Hervé Gouyet

Des centaines d'écoles ont été électrifiées par votre ONG. Avez-vous pu réellement quantifier les retombées pour les bénéficiaires ?

L'absence d'électricité nuit fortement à la qualité de l'enseignement pour 180 millions d'écoliers. Grâce à nos outils de suivi et d'évaluation et à notre base de données nous pouvons estimer de manière agrégée l'impact de toutes nos actions. Les informations sont recueillies régulièrement, à distance ou sur le terrain. Les évaluations externes que nous commanditons démontrent l'amélioration des résultats scolaires.

Il est fréquent de rencontrer des systèmes PV communautaire hors service. Comment abordez-vous cette question de la pérennité ?

Les ONG ont leur part de responsabilité. Plus de 700 millions de personnes vivent encore sous le seuil de pauvreté. Il paraît compréhensible qu'elles préfèrent satisfaire leurs besoins immédiats plutôt que d'épargner pour remplacer des équipements électriques. L'expérience croisée des ONG du secteur montre qu'il est rarement possible pour les communes rurales isolées de maintenir les équipements communautaires sans subvention. Notre ONG mène ainsi une politique volontariste de suivi long terme de ses projets qui vise à garantir le fonctionnement des installations sur une durée de 10 ans grâce à un fonds de pérennisation mis en place pour financer des réparations en cas d'aléa. D'où aussi notre concept Café Lumière : l'entretien des équipements des services collectifs est financé grâce à la génération d'activités économiques et à un dispositif innovant de gestion public-privé. Enfin, elle a publié un Guide visant à partager ses retours d'expériences.

Dans le montage et la conduite de vos projets d'électrification communautaires, quels sont vos liens avec les institutionnels locaux du secteur ?

En phase d'identification, les institutions locales sont systématiquement impliquées : la commune, la région/province et, pour les programmes de grande ampleur, les ministères de tutelle. Les compagnies nationales d'électrification et les autorités de régulation sont également consultées afin de s'assurer de la cohérence des actions prévues dans la zone avec les programmes existants. En complément, nous participons à des actions de coopération décentralisée impliquant des collectivités locales ici et là-bas afin de réaliser des projets inscrits dans la durée et la confiance.

Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>.

Hervé Gouyet, 57 ans, ingénieur de formation, salarié du secteur de l'électricité, préside Electriciens sans frontières depuis 10 ans.

1. Benjamin Sovacool, et Ivan Vera, « Electricity and education: The benefits, barriers, and recommendations for achieving the electrification of primary and secondary schools » (Département des affaires économiques et sociales des Nations unies, 2014).
2. Julien Carlier, et Véronique de Geoffroy, « Guide de bonnes pratiques » (Électriciens Sans Frontières et le Groupe URD, 2015).

De nombreuses installations sont à l'abandon, faute d'anticipation des problématiques d'utilisation et d'entretien.

En Afrique subsaharienne, être face à des équipements solaires hors d'état de fonctionnement est fréquent. Pompe solaire hors service, systèmes photovoltaïques à l'abandon... l'électrification rurale décentralisée a sa pierre au cimetière des éléphants blancs (*white elephants*) du développement.

Bien qu'on ne puisse pas généraliser ce constat à tous les projets, les conditions techniques des réalisations s'améliorent. Cependant, les causes, qui procèdent le plus souvent d'un manque d'expérience de l'association qui pilote l'opération, sont bien identifiées :

- analyse déficiente des besoins ;
- conception insuffisante de l'installation ;
- mais surtout, absence d'entretien des équipements et/ou de formation adéquate de leurs utilisateurs.

Quand une école primaire enclavée ou un foyer de jeunes reçoit en don un système solaire autonome avec les récepteurs associés (éclairage, multimédia) sans que les bénéficiaires aient les moyens de les entretenir ou de les renouveler, qui en a eu l'idée originelle ? Est-ce réellement une demande qui répond à un besoin collectif et prioritaire ?

Ce constat met en lumière l'importance de la dimension socioculturelle dans la stabilité d'un projet d'électrification (cf. chapitre 2.4.2.). De la prise



© Fondation Énergies pour le Monde

Système solaire à l'abandon.



© Fondation Énergies pour le Monde

Ecole électrifiée à Madagascar.

en compte du facteur humain dépend la pérennité d'une installation.

Les acteurs de la coopération bilatérale, principaux financeurs de l'électrification des infrastructures publiques, redoublent d'efforts pour réussir « l'implication des bénéficiaires ». Derrière cette terminologie générique, sans réelle uniformité méthodologique, se cache une nécessité opérationnelle : prendre le temps de développer une connaissance fine des enjeux socioculturels sur le territoire.

Le jugement de « l'impliquant » étant généralement influencé par ce que veut lui montrer « l'impliqué » (qui a pour objectif que le projet se réalise), il faut aller au-delà d'une première approche (cf. chapitre 2.4.2.).

Dans le cas de l'électrification des infrastructures publiques, il faut admettre que l'exercice se heurte à l'absence de moyens des collectivités rurales ; les résultats sur le long terme sont rarement positifs, quels que soient les efforts d'implication réalisés.

Pourtant, l'électrification des infrastructures publiques peut avoir des retombées très positives.

Pour la collectivité, les impacts bénéfiques directs de l'arrivée de l'électricité sont manifestes. L'électrification d'une école primaire engendre l'amélioration des résultats scolaires, conduisant fréquemment à la construction d'un établissement d'enseignement général. Celle d'un centre de santé incite les femmes à venir y accoucher, entraînant une réduction de la mortalité périnatale.

L'électrification contribue aussi à lever une des limites des services publics des communes enclavées, celle de la présence effective du personnel sur le terrain : écoles sans enseignants, centres de santé occupés sporadiquement par une infirmière vivant dans la ville la plus proche, élus absents... **L'électrification du logement du personnel** l'incite à demeurer sur son lieu de travail, car il se sent davantage considéré.

Toutes ces précautions, qui complexifient le montage du projet, contribuent à en accroître les impacts, à court et long termes. Les retours de terrain le confirment (cf. encadré) : l'opération d'électrification fait pleinement sens et la pérennité des équipements est plus probable. ●

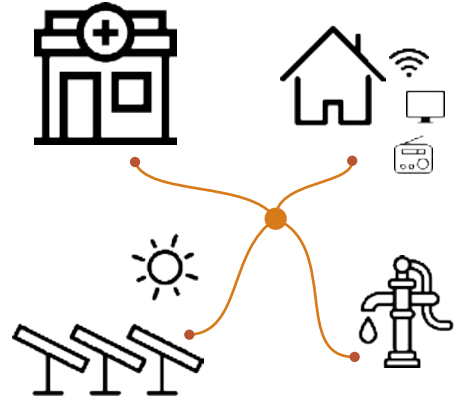
.....

« Quand l'électricité est arrivée dans la commune d'Abondro, beaucoup de choses ont changé. Sur le plan social, les enfants ont eu des retombées directes. Nous avons constaté une nette amélioration des résultats scolaires, notamment du taux de réussite au BEPC. »

Fitahia Tatanambina, ancien maire de la commune d'Ambondro, Madagascar.

.....

Électrification groupée d'un dispensaire, d'un logement de fonction et d'une pompe



Source : Fondation Energies pour le Monde.



Une classe électrifiée.

© Lumière pour tous, soutenue par Synergie solaire



Parole de professionnel Jean-Pierre Bresson

Comment impliquez-vous les bénéficiaires locaux ?

« C'est un point problématique pour la pérennité des installations : les infirmiers et les professeurs changent souvent (tous les deux à trois ans). En réponse, la solution est de prévoir une visite du système PV, chaque année, par un électricien local parfaitement formé et possédant un stock de pièces de rechange. »

Jean-Pierre Bresson, électricien retraité, a trente ans d'expérience dans l'installation de petits systèmes PV sur sites isolés ou couplés au réseau ; depuis dix ans, il installe avec des électriciens locaux (artisans) des systèmes PV sur des écoles et des dispensaires pour des associations africaines et européennes.

Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>.



L'électrification des logements des agents publics

A Belo-sur-Mer, village de pêcheurs de la côte Ouest de Madagascar, l'association Namana (Les amis de Belo) mobilise des fonds depuis 2005 pour l'accompagnement du centre de santé. Celui-ci a reçu des équipements, des médicaments, ainsi que des visites ponctuelles de médecins européens, et le bâtiment a été rénové et reconstruit plusieurs fois, à la suite des cyclones. Conséquence de cette aide, les autorités régionales en charge de la gestion de l'hôpital se sont désintéressées de son sort. Malgré un outil de travail continuellement rénové et amélioré, le problème de l'absence d'une équipe médicale locale permanente sur place restait non résolu. Lors du projet d'électrification par systèmes solaires réalisé en 2014 par l'association, **une attention particulière a été portée aux besoins du logement de fonction, mitoyen de l'hôpital**. Les discussions ont permis d'établir qu'un minimum de confort domestique serait un argument essentiel pour retenir un médecin. Aujourd'hui, près de 50 % de l'électricité produite par le générateur de 800 Wc alimente le logement du personnel : TV, décodeur, réfrigérateurs, éclairage, ordinateur, sonorisation. La présence d'un médecin dans la localité est passée de **deux à cinq jours par semaine en moyenne**.

Source : Fondation Energies pour le Monde.

3.3.3.

Pompage solaire et éclairage public : d'autres exemples d'électrification d'infrastructures publiques

Le pompage solaire et l'éclairage public ne doivent pas être exclus du périmètre de l'électrification d'une localité rurale. Equiper un puits public d'une pompe solaire ou installer des lampadaires le long d'un axe de circulation s'inscrit dans les processus d'électrification d'un ouvrage communautaire, en apportant à la collectivité un service spécifique.

Pompage solaire : eau et électricité peuvent faire bon ménage.

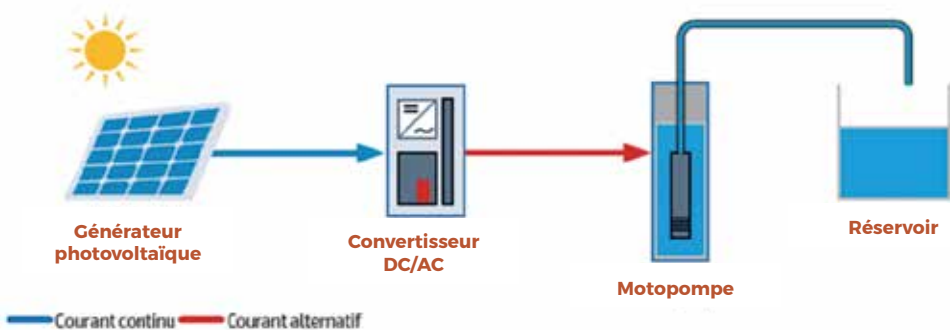
C'est par son application au pompage que l'énergie photovoltaïque est apparue en Afrique au cours des années 1970. Aujourd'hui, des dizaines

de milliers de pompes solaires ont été installées sur le continent, bien avant les premières initiatives structurées d'électrification rurale par système photovoltaïque autonome.

Si les pompes solaires de quelques kWc permettent d'assurer les besoins en eau potable de plusieurs milliers de personnes, elles offrent aussi des gains de productivité dans le secteur agricole grâce à l'irrigation des cultures et à l'abreuvement du bétail.

Sans rentrer dans les détails, il faut rappeler les avantages de cette technologie, qui depuis près de

Schéma de principe d'un système PV autonome sans stockage (pompage au fil du soleil)



Source : Gérard Moine.



Système d'irrigation goutte à goutte installé au Sénégal dans le cadre du projet Panenca (Basse-Casamance, 2018).

quarante ans ne cesse de progresser en performance, en fiabilité, en disponibilité et en accessibilité :

- son principal atout réside dans sa fiabilité. La production d'électricité est statique : sans pièces en mouvement, pas d'usure. Elle ne nécessite pas de carburant ;
- par ailleurs, grâce à la modularité et à la simplicité des générateurs solaires, une pompe solaire peut être installée partout, quelle que soit sa puissance ;
- de plus, leur fonctionnement autonome, « au fil du soleil », avec un stockage de l'eau dans un réservoir, permet aux pompes solaires de s'affranchir des batteries, maillon faible des systèmes PV ;
- enfin, la technologie est suffisamment mature pour que des détaillants disposent de la compétence et des pièces de rechange nécessaires au remplacement des moteurs, pompes ou

convertisseurs ; il est ainsi fréquent de croiser des pompes solaires encore en fonctionnement plus de vingt ans après leur mise en service.

Les principales faiblesses des installations de pompage solaire ne résident pas dans des problèmes techniques propres aux équipements. Elles résident souvent dans une analyse trop imprécise des conditions de leur utilisation (ressource en eau, état des forages ou puits) ou du manque d'entretien du réseau de distribution d'eau. Il s'agit donc soit de problèmes essentiellement hydrauliques et hydrogéologiques en amont de l'installation, soit de soucis de distribution d'eau, en aval.

Comme pour toute autre installation solaire, un paiement du service, ici de l'eau, doit être mis en place pour anticiper les visites régulières de petit entretien et les dépenses de renouvellement.

L'éclairage public : une préélectrification pertinente

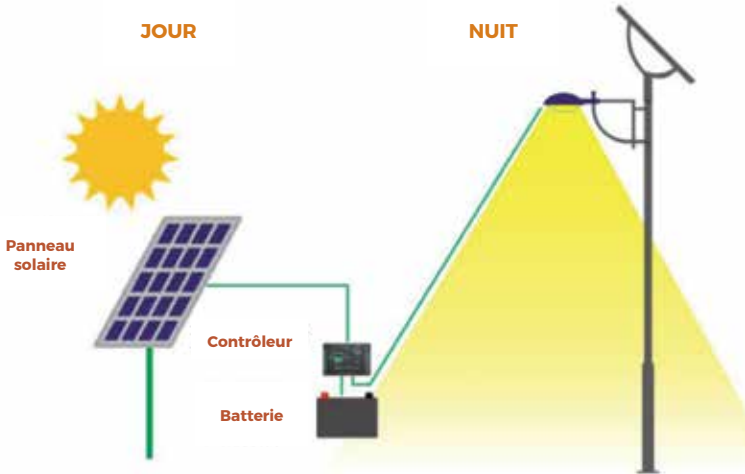
Dans le sillage des avancées technologiques dont bénéficient les secteurs de l'éclairage (technologie LED), du photovoltaïque et du stockage (cf. chapitre 2.3.1.), les lampadaires solaires autonomes simplifient l'éclairage public et connaissent depuis quelques années un développement spectaculaire.

Installés massivement dans les capitales africaines le long des axes routiers, ils se déploient progressivement dans le monde rural grâce à des solutions techniques adaptées à ce nouveau contexte : éclairage modulable et dédié aux espaces publics, fonctionnement sans maintenance, durée de vie garantie de cinq à dix ans. Dans un environnement de plus en plus concurrentiel, quelques fabricants français tentent de se démarquer par des produits à haute valeur qualitative.



Pompe solaire dans un périmètre maraîcher au Sénégal, projet Essen 2.

Schéma de principe d'un site avec éclairage public par lampadaire solaire



Source : Epsolar, <https://www.epsolarpv.com/>.



Parole de professionnel Stéphane Redon

***L'éclairage public solaire se déploie massivement sur les cinq continents.
Comment distinguer un produit de qualité au sein d'une offre pléthorique ?***

« Du point de vue purement technique, un produit d'éclairage public de qualité se reconnaît d'abord à son bon dimensionnement grâce à des connaissances solides en éclairagisme et en solaire ; on peut ainsi garantir aux utilisateurs un service conforme à leurs besoins (niveau d'éclairage) et durable (taux de disponibilité). Ensuite, les composants intrinsèques doivent présenter une durée de vie minimale de dix ans, en tenant compte des conditions environnementales d'utilisation (exemple : température pour les batteries, qui restent le composant le plus sensible et le plus cher). »

Stéphane Redon, ingénieur de formation, accompagne depuis plus de vingt ans des industriels spécialisés du secteur photovoltaïque dans la réalisation de nombreux projets dans les pays émergents (Afrique, Moyen-Orient, Asie).

Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>.



Lieu de vie avec éclairage public à Madagascar



© Fondation Énergies pour le Monde

Afin de faciliter la mise en œuvre d'un programme d'éclairage public par lampadaires autonomes solaires, l'Alliance solaire internationale a réalisé un guide pratique à l'usage des promoteurs avec l'Institut national de l'énergie solaire (INES)¹.

En zone rurale, l'éclairage public autonome répond à plusieurs besoins :

- **il améliore sensiblement les conditions de sécurité des biens et des personnes** le long des axes routiers, mais également dans certains territoires exposés ;
- **il élargit les occasions d'activités sociales** en facilitant les discussions en soirée entre habitants et les opportunités d'échanges commerciaux par la présence de vendeurs ;
- **il permet aux familles les plus modestes de bénéficier gracieusement de sources lumineuses de qualité** : il est fréquent de voir les enfants étudier sous un lampadaire de la place publique du village.

Au-delà de ces schémas « classiques », plusieurs solutions ont été développées pour couvrir les besoins collectifs, et notamment ceux liés aux activités économiques. ●

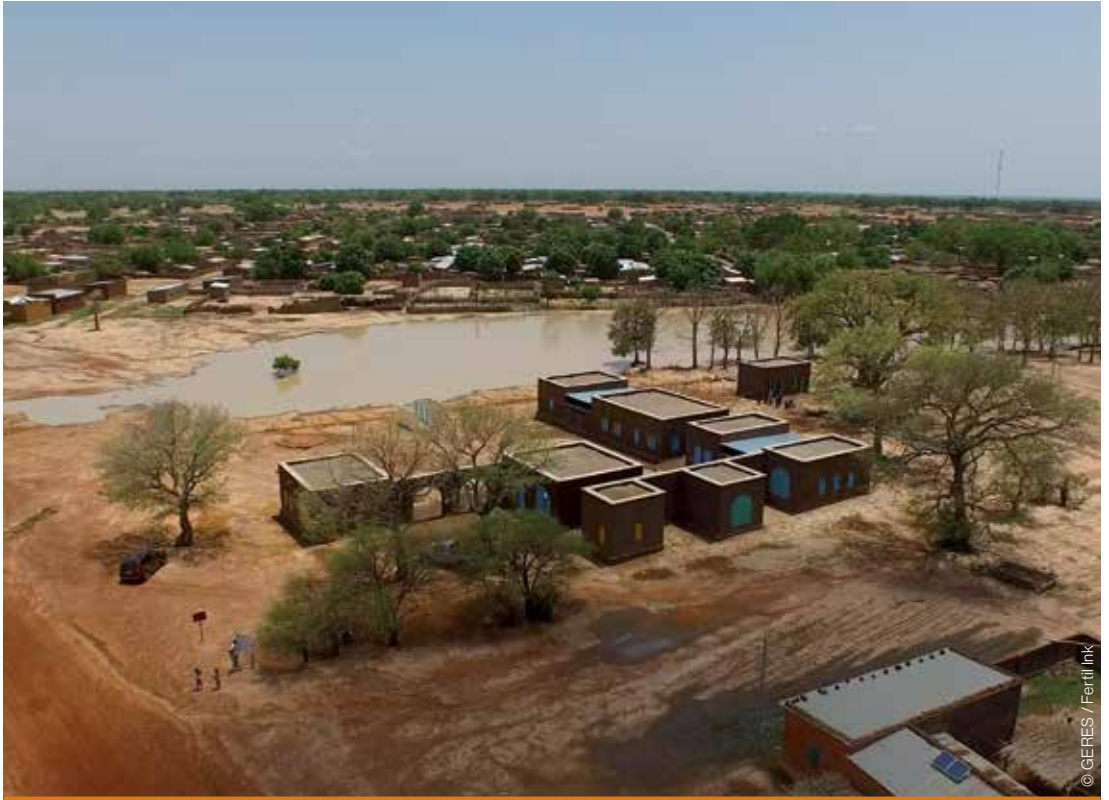
1. Institut National de l'Énergie Solaire, « Practical Guide Book - Solar streetlights » (Le Bourget-du-Lac, 2019).
Le guide est téléchargeable sur le site de l'INES, en français (http://www.ines-solaire.org/wp-content/uploads/2019/02/guideisa_lampadaires-v-web.pdf) et en anglais (http://www.ines-solaire.org/wp-content/uploads/2019/02/guideisa_streetlights-feb2019.pdf).

3.4. De nouveaux schémas d'électrification collective sont apparus récemment.

Plusieurs schémas peuvent couvrir une pluralité d'usages domestiques et/ou productifs sur un territoire rural non desservi par le réseau électrique national.

Certaines solutions récentes se focalisent sur les usages productifs : plateforme multifonctionnelle, zone d'activité économique (GERES), kiosque énergie. D'autres rendent un service « universel » plus proche du réseau conventionnel : nanoréseau, miniréseau.

Parce que ce schéma est celui qui bénéficie du plus grand nombre de retours d'expérience et qui s'affiche aujourd'hui au cœur des stratégies d'électrification, le miniréseau est traité dans un chapitre dédié.



Vue aérienne de la ZAE de Konséguala

3.4.1.

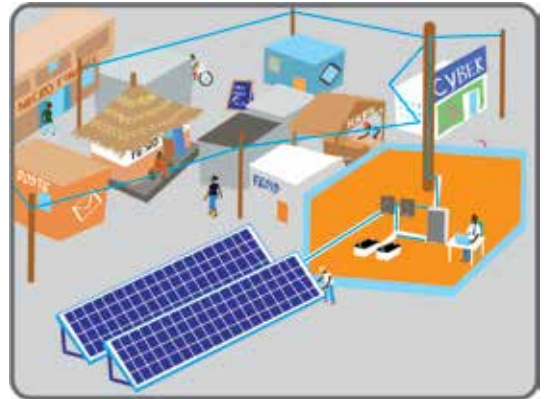
Les solutions collectives dédiées aux usages productifs : modèle pertinent ou innovation sans lendemain ?

L'analyse du tissu économique fait partie intégrante d'un exercice de planification de l'électrification d'un territoire rural. Il apparaît logique qu'une bonne prise en compte des besoins liés aux usages productifs maximise les chances de voir l'arrivée de l'électricité concourir au développement économique du territoire, sous réserve de mettre en place les mesures idoines d'accompagnement des acteurs locaux.

Partant de cette hypothèse, plusieurs concepts d'électrification rurale se concentrent sur les usages productifs et proposent un accès à l'électricité par système collectif pour les acteurs économiques d'une zone, sous une forme plus ou moins intégrative. Ils viennent ainsi en complément des solutions individuelles (lampes, kits PV) et des installations couvrant les seules infrastructures publiques, pour répondre aux besoins des activités agricoles, artisanales, commerciales ou tertiaires sur le territoire.

La plateforme multifonctionnelle : un modèle pionnier de services énergétiques mutualisés pour les acteurs économiques.

Initié en 2006 par le PNUD, le concept de plateforme multifonctionnelle (PTMF) repose sur une mutualisation sur un site unique de services électriques à destination des acteurs économiques d'une communauté villageoise.



La plateforme multifonctionnelle peut être pensée comme l'ancêtre des solutions collectives actuelles dédiées aux usages productifs qui commencent à modeler le paysage énergétique rural africain. Les leçons tirées de cette expérience et la banalisation de la technologie PV ont en effet conduit à revoir le concept et à donner naissance à celui de « kiosque énergie ».

Le principe des PTMF.

Il s'agit de centraliser une production d'énergie et/ou d'électricité dans une localité pour proposer des services « productifs » au bénéfice des acteurs économiques de la zone (agriculteurs, artisans). Atelier mécanique, machine de transformation agricole, le champ d'application potentiel est vaste et le regroupement fait théoriquement sens sur tous les plans : financièrement, économiquement et socialement.

Concernant le volet technique, les premières PTMF étaient équipées d'un moteur thermique d'environ 20 CV (15 kW) alimenté au diesel, permettant

l'utilisation de diverses machines tournantes (broyeur, décortiqueuse), mais aussi d'un alternateur générant de l'électricité pour divers types de récepteurs : outillage électroportatif, poste à souder, production de froid, recharge de batteries, etc.

La gestion de la plateforme est assurée par les usagers groupés en comité, en association ou en coopérative. Chaque utilisation est payante au prorata de la consommation énergétique correspondant à la demande, calculée au réel (selon affichage du compteur) ou sur base forfaitaire (calcul d'équivalence préétabli). L'achat de carburant, l'entretien et la gestion globale de la PTMF sont autofinancés grâce aux recettes générées par la vente des « services énergétiques » de la plateforme.

Les premiers retours d'expérience témoignent du lien complexe entre électricité et activités économiques.

Le modèle originel des PTMF prouve que la mutualisation d'activités n'est pas suffisante pour garantir la pérennité d'une installation commune.

Rapidement affaiblies par les difficultés techniques et financières liées au fonctionnement

d'une machine thermique (notamment l'achat de carburant), certaines PTMF ont été abandonnées, alors que d'autres ont su durer plusieurs années. A titre d'exemple, certaines PTMF installées dans des zones à faible dynamisme économique n'ont pas stimulé la création de nouvelles activités et ont été rapidement victimes du manque de moyens pour la gestion et l'entretien.

Autre enseignement à tirer de cette expérience, la cohésion sociale de la zone d'implantation est un facteur-clé de réussite : la présence « naturelle » en amont du projet de groupements professionnels, notamment la préexistence de groupements de femmes, facilite nettement l'adhésion à cette nouvelle mécanique collective.

Le modèle a évolué pour prendre en compte les nouveaux besoins.

Bien que le PNUD continue de déployer des PTMF solaires et hybrides dans différents pays d'Afrique, les plateformes sont portées davantage par des acteurs privés que par des organisations communautaires. Par ailleurs, l'énergie solaire a rapidement remplacé les groupes



Plateforme multifonctionnelle du PNUD au Burkina Faso.

électrogènes et autres moteurs thermiques. Enfin, les services (à l'origine mécaniques et agricoles) se sont logiquement diversifiés et adaptés aux évolutions sociétales pour devenir des services marchands « immatériels » : recharge de téléphone, vente et recharge de lampes portables, service informatique, point de relais d'un opérateur du PAYG, etc.

Les kiosques énergie : une électrification collective axée sur la proposition de services.

Depuis quelques années, différents porteurs de projets (ONG, opérateurs privés, institutionnels) développent un nouveau type de plateforme

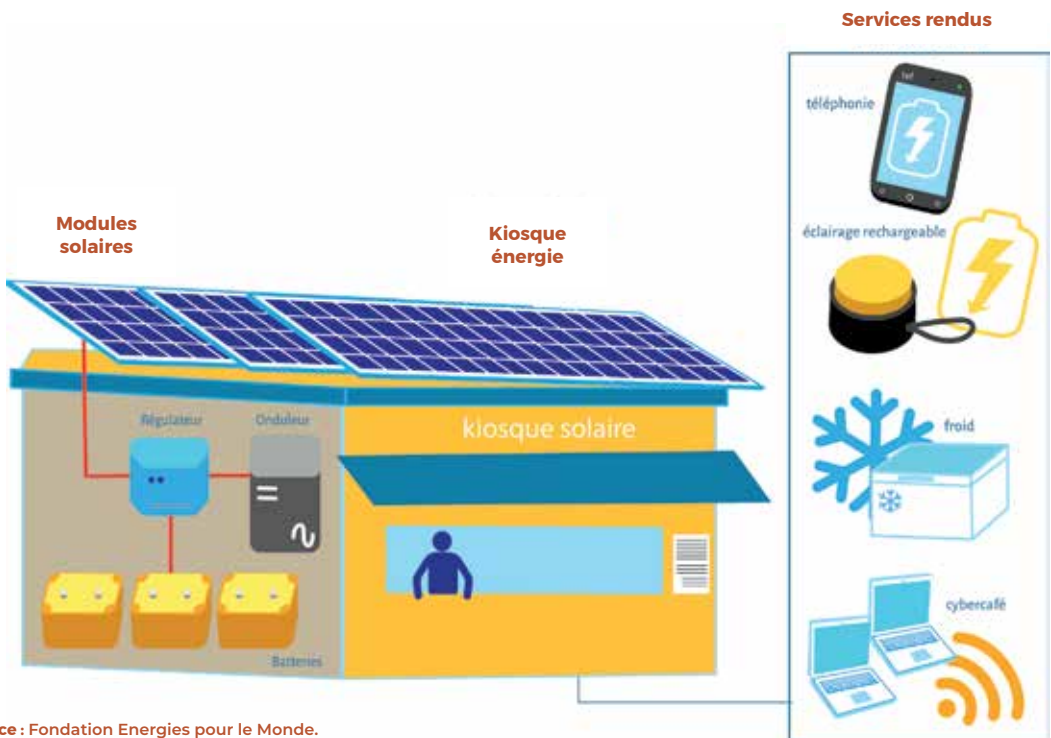
mutualisée, que l'on peut génériquement dénommer le « kiosque énergie ».

Derrière cette appellation se cache une diversité de formats (que cet ouvrage ne recense pas in extenso), qui reposent tous sur un concept commun : **installer, au centre d'une localité rurale (électrifiée ou non), une source de production d'électricité significative associée à la vente de services, l'ensemble étant géré par un opérateur local.**

De quoi parle-t-on ?

La source de production d'électricité est essentiellement solaire, avec éventuellement un groupe électrogène en appoint. Les générateurs de quelques kWc permettent de fournir une quantité

Principe de fonctionnement du kiosque énergie



Source : Fondation Energies pour le Monde.

d'électricité significative et d'alimenter une large palette d'équipements, bien au-delà des capacités limitées des systèmes solaires individuels domestiques.

Comme évoqué, le concept repose surtout sur une offre de services. Les usagers ne viennent pas brancher un récepteur et utiliser l'électricité disponible, mais acheter un service associé



© HERI



© Benoo Energies

Exemples de deux modèles de kiosques solaires : Heri à Madagascar et Benoo Energies au Togo.



à l'électricité disponible grâce au kiosque (recharge de téléphones, service multimédia, froid, recharge de lampes portables, etc.). Les dizaines d'opérateurs aujourd'hui présents sur le continent africain se démarquent par des designs et des modèles économiques différents, mais leurs offres sont, dans la plupart des cas, assez proches. Souvent, il arrive que les services qui assurent la rentabilité du kiosque s'éloignent des services originels imaginés par les concepteurs et suivent l'asymptote logique des besoins exprimés par les populations : recharge de téléphones, audiovisuel et éclairage. En zone électrifiée, les kiosques peuvent également répondre à plusieurs besoins : service minimum pour les ménages non raccordés, continuité d'un service électrique en cas de défaillance du réseau.

Quels sont les acteurs ?

S'il existe différents modèles, la tendance actuelle de ces schémas d'électrification est portée par les opérateurs privés, souvent start-up et PME locales, qui proposent des kiosques solaires performants, peu coûteux et au design attractif, bien conçus et installés dans des localités rigoureusement sélectionnées.

Du froid en libre-service aux boissons fraîches

Un kiosque solaire installé au Cameroun propose, entre autres, un service de production de froid payant. Le kiosque est équipé de plusieurs réfrigérateurs : les usagers peuvent payer pour y conserver leurs produits agricoles. Le montant dépend du poids des produits stockés et de la durée de stockage. Sur le papier, le concept est séduisant et répond à la codification et à la mesure des impacts tels que pensés par les organisations internationales de développement.

Après quelques mois sur le terrain, plus aucun service de froid n'est vendu à la population, et l'opérateur a développé une boutique de vente de boissons fraîches qui assure 75 % de son chiffre d'affaires.

Les systèmes sont, pour la plupart, connectés pour un *monitoring* technique à distance, mais la gestion est déléguée à un opérateur local, choisi pour son profil commercial et entrepreneurial, ainsi que pour sa bonne implantation préalable dans la localité. Si les gérants locaux assurent principalement la vente des services et l'entretien courant du système, certains débordent d'imagination pour faire croître leur chiffre d'affaires et les kiosques évoluent en fonction des besoins : bar, cybercafé, vidéoclub, boutique alimentaire, etc.



Parole de professionnel Samy Chaliér

Comment choisissez-vous les localités pour l'implantation de vos kiosques énergétiques ?

« Nous présélectionnons des sites sur la base des données socio-économiques de l'Institut national des statistiques, puis nous nous rendons sur place pour confirmer les informations et rencontrer les autorités et les populations locales. Nous avons plusieurs critères : 2000 ménages minimum dans la zone de chalandise du kiosque, accessibilité en saison des pluies, couverture par un réseau téléphonique, adhésion au projet des acteurs locaux, sécurité, présence d'acteurs économiques (institution de microfinance, épicerie, coopérative). **Les sites déjà électrifiés présentent un bon potentiel** car ils se situent souvent sur les principaux axes routiers, avec une forte densité de population et un pouvoir d'achat plus élevé que dans les zones isolées. »

Samy Chaliér, diplômé d'un MBA, travaille depuis plus de dix ans à l'international et vit à Madagascar depuis plusieurs années, où il dirige la société Heri Madagascar.

Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>



Parole de professionnel Vincent Renaud

Quel modèle technico-économique est mis en place pour la maintenance, et plus particulièrement pour le renouvellement des composants critiques ?

« Nous formons les gestionnaires des agences à la maintenance de premier niveau. Les agences sont installées par des prestataires qui assurent la maintenance de deuxième niveau. Pour permettre une assistance efficace, nous disposons d'un agent technico-commercial qui fait le lien entre les gestionnaires d'agence et les prestataires, via un numéro de téléphone inscrit dans l'application de gestion des agences. Cette assistance fait partie de l'offre de service que nous apportons aux entrepreneurs. »

Vincent Renaud a vingt-cinq ans d'expérience dans la gestion de projets ruraux en Afrique ; il est cofondateur de Benoo Energies, où il a plus particulièrement en charge le développement de partenariats avec des entrepreneurs du développement rural et de la mesure de l'impact social.

Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>

Certaines ONG installent également des plateformes énergétiques multiservices. C'est le cas du Gret, en Mauritanie, qui a déployé plus de 40 plateformes solaires, ou d'Electriciens Sans Frontières, qui expérimente à Madagascar le concept de « Café lumière », espace géré par un entrepreneur privé.

Le programme Café lumière fait l'objet d'une étude de cas à retrouver sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>.

De principe similaire mais d'envergure nettement plus conséquente, les zones d'activité économique (ZAE), conçues et déployées au Mali par le GERES, rassemblent plusieurs acteurs économiques autour d'un même point de production d'électricité (centrale solaire autonome). Un des points forts et originaux de ce concept intéressant consiste à s'appuyer sur des mécanismes de financement local.

La ZAE fait l'objet d'une étude de cas disponible sur le site web de l'ouvrage.



Parole de professionnel Grégoire Gailly

Le modèle de centre de service d'électricité décentralisé se décline désormais en différents concepts: ZAE, plateforme, kiosques... Selon vous, est-il assez viable économiquement pour susciter un investissement massif du secteur privé ?

Il n'est pas encore mature. Les futures ZAE permettront de confirmer le bien-fondé du modèle économique, de standardiser partiellement le dispositif organisationnel et de disposer de plus de données pour convaincre des investisseurs. Plusieurs facteurs peuvent les séduire : une clientèle de TPE solvables, leur regroupement sur un même site et le dispositif d'accompagnement de ces TPE. Un plan d'affaires est à l'étude pour créer une entreprise de gestion des ZAE qui regrouperait des sites petits et isolés, avec des coûts de transaction moindres ; des investisseurs ont déjà manifesté leur intérêt.

L'adhésion communautaire et la compréhension fine des besoins restent essentielles pour un projet réussi. Le rôle des ONG est-il indispensable ?

L'ONG peut jouer plusieurs rôles : rôle de R&D pour la mise en place de projets pilotes et la production de données technico-économiques ; rôle d'intermédiation et d'animation pour la concertation entre acteurs d'un territoire afin d'identifier des solutions adaptées ; rôle d'appui-conseil pour structurer un dispositif de renforcement de capacités en gestion des entrepreneurs sur la zone d'activité.

Que est selon vous le principal point de fragilité du modèle ZAE expérimenté par le GERES au Mali ?

Le gestionnaire du site. Bien qu'il ait créé une SARL pour contractualiser avec l'association de développement local déléguée par la commune pour gérer la ZAE, il n'a pas lui-même investi dans l'infrastructure. S'il quitte son poste ou se trouve dans l'incapacité de travailler, il sera difficile de le remplacer dans un délai raisonnable, ce qui peut affecter le service, voire la pérennité de l'infrastructure. La gestion mutualisée des ZAE permettrait justement d'assurer cette continuité en cas de coup dur sur un site.

Alors que l'on reproche aux opérateurs PAYG de couvrir les seuls besoins domestiques, le modèle ZAE cible les acteurs économiques. Ces 2 schémas d'électrification sont-ils complémentaires dans une même zone ?

En effet, nous envisageons la mise en place d'un circuit de diffusion d'équipements solaires adossé aux ZAE pour valoriser la présence permanente d'une compétence technico-commerciale en zone rurale isolée. Le gestionnaire de la ZAE est capable de proposer un dimensionnement personnalisé et une installation de qualité à un prix abordable par des techniciens formés. Cette activité renforcera aussi la viabilité du modèle économique de la ZAE.

Grégoire Gailly est agronome, spécialiste du développement local. Il travaille pour des ONG de développement local depuis 2001 et est directeur Afrique de l'Ouest du GERES depuis 2014.

Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>.

Quel modèle économique ?

Il ne semble pas exister de modèle économique unique pour ces nouveaux concepts, encore en phase exploratoire. Les démarches des principaux opérateurs convergent néanmoins sur plusieurs points : la recherche d'un minimum de subventions à l'investissement et de recettes générées par la vente des services au niveau du kiosque.

La personne localement en charge du kiosque peut être salariée, délégataire, franchisée ou travailleuse indépendante taxée sur son chiffre d'affaires ; le kiosque reste généralement la propriété de l'opérateur privé. Ce dernier a tout intérêt à mettre le maximum d'outils, de compétences et de flexibilité au service de ses opérateurs de terrain, afin de faire germer des initiatives : le kiosque n'est pas un concept « figé ».

Cet accompagnement n'éradique pas les risques associés à toute gestion locale ; même si les kiosques connectés permettent de suivre les consommations d'électricité à distance, l'économie informelle et ses déviances restent un écueil à éviter.

Quel cadre institutionnel ?

L'installation d'un kiosque énergie dans un village est plus intrusive que la diffusion de systèmes individuels. D'une part, elle nécessite l'intervention des autorités locales (maires, notables) pour l'obtention d'un terrain dédié. D'autre part, le versement de taxes communales peut être imposé à l'opérateur, de même qu'un droit d'acquisition du terrain dédié à l'installation du système. Sur le plan national, la seule vente de services, et non d'électricité, permet d'échapper à la régulation des autorités compétentes en matière de vente d'électricité. Offre et demande se partagent les arbitrages.

Atouts et fragilités du modèle.

Le modèle du kiosque énergie répond à des besoins domestiques et économiques par une approche mutualisée qui semble financièrement plus cohérente que la diffusion de systèmes individuels pour les ménages modestes : la location de lampe solaire portable et rechargeable au kiosque, incluant la recharge d'un ou plusieurs téléphones, est moins onéreuse pour l'utilisateur, qui



Étude de cas : Zone d'Activités Electrifiée au Sud Mali

Après constat que seules 18% des zones rurales maliennes avaient accès à l'électricité et que la source d'énergie primaire provenait du gasoil au prix croissant, s'est envisagée la solution de créer une Zone d'Activités Electrifiée (ZAE) alimentée totalement par des EnR : panneaux solaires photovoltaïques et Huile Végétale Pure (HPV) de jatropha.

Cette solution a été pensée par les habitants, en partenariat avec le GERES et la commune de Konséguéla. L'objectif étant de rapprocher des entreprises sur un même site, d'abord pour dépasser les contraintes techniques rencontrées avec un mini-réseau (montées en charge, chutes de tension), ensuite pour couvrir de manière optimale leurs besoins en électricité, à un tarif abordable, dans les quantités et avec la qualité requises pour leurs activités. Fonctionnant sur le modèle d'un incubateur d'entreprises rurales, cette ZAE propose un accompagnement individualisé durant les deux premières années d'implantation, ainsi que des formations et une mise en relation des très petites entreprises locales (TPE) avec les institutions de micro-finance.

Ainsi, la ZAE fournit de l'électricité à 15 TPE (boulangeries, menuiseries, radio communautaire etc.) dans des bâtiments bioclimatiques. Un service d'extraction d'HPV de jatropha a également été installé afin d'approvisionner le groupe électrogène de la ZAE et les entreprises des localités alentours. La production d'électricité de l'ensemble de la ZAE est effectuée par les panneaux solaires photovoltaïques.

Les résultats de ce projet sont multiples et très positifs. Les pertes agricoles sont réduites, les aliments sont mieux conservés et possèdent de meilleures qualités nutritives. La radio communautaire sensibilise et informe la population, développant ainsi de nouvelles activités sociales. Les entrepreneurs, plus productifs, sont plus aptes à générer des bénéfices et l'emploi est favorisé : 50 emplois directs sont créés et 150 emplois indirects ont été consolidés. Enfin, la plus grande attractivité du territoire favorise l'implantation de nouvelles entreprises.

Cette réussite est une porte ouverte à l'élaboration de projets similaires dans d'autres zones du Mali et ailleurs. L'enjeu du passage à un nombre de ZAE significatif pour répondre aux besoins des zones non électrifiées sera d'en conforter la gouvernance et le modèle économique.

Source : Résumé réalisé à partir du site internet du GERES <https://www.geres.eu/fr/actions/zone-dactivites-electrifiee-au-mali-zae/>
Retrouvez l'étude de cas intégrale sur la page web de l'ouvrage



Café lumière : une solution duplicable pour l'électrification rurale décentralisée

Contexte

Le projet Café Lumière (2016-2019) entend répondre au faible accès à l'électricité en zone rurale avec un dispositif d'électrification bénéficiant à la fois aux services collectifs, aux micro-entreprises et aux foyers. Il s'est implanté dans six communes rurales de la région de Vakinankaratra, à Madagascar, un pays dans lequel 60% des habitants vivent sans accès à l'électricité. Les groupes électrogènes ou les solutions solaires individuels mis en place jusqu'alors pour pallier ce problème présentaient de nombreux inconvénients: les premiers sont réservés aux ménages riches, et les secondes ne résolvent pas les besoins de puissance électrique importante nécessaire au développement d'activités économiques.

Solution

C'est dans ce contexte que l'ONG Electriciens sans frontières a proposé une solution qui se situe entre le réseau et le kit individuel : six plateformes énergétiques multiservices hybrides alimentées principalement par l'énergie solaire. Etabli sur la base d'un partenariat public-privé avec l'implication des collectivités locales et de l'Etat, et la participation d'un opérateur privé, EOSOL, le projet a pour objectif de :

- fournir à 21 000 bénéficiaires un bouquet de services énergétiques après étude de leur consentement à payer ;
- développer des activités économiques dans ces villages ;
- améliorer la disponibilité des services publics prioritaires (écoles, centres de santé, mairie) grâce à l'électricité.

Le projet a pour visée d'être répliquable dans des contextes locaux variés, et essaime déjà au Bénin, où quatre Cafés Lumière seront implantés d'ici 2022.

Suivi du projet

Un dispositif de suivi est déployé depuis le début projet pour vérifier l'atteinte des résultats et l'impact de l'action sur la population. Celui-ci se base sur 1) la définition dans la phase de cadrage du projet d'indicateurs clés de suivi en concertation avec l'AFD, 2) des enquêtes préalables, quantitatives et qualitatives, permettant d'analyser les conditions de vie des populations et le marché pour chaque service, 3) la réalisation de deux évaluations externes, intermédiaire et finale, pour mesurer les résultats du projet et son impact sur les populations.

Source : Résumé réalisé à partir du site internet Electriciens Sans Frontières, <https://www.electriciens-sans-frontieres.org/projet/district-dantsirabe-cafe-lumiere-plateformes-energetiques-multiservices-dans-la-region-du-vakinankaratra/>
Retrouvez l'étude de cas intégrale sur la page web de l'ouvrage

se tourne vers un kiosque au lieu de s'équiper d'un système solaire individuel.

Par ailleurs, par les services qu'ils peuvent procurer, l'utilité sociale des kiosques est indubitable : ils créent un nouveau lieu de vie, font entrer l'innovation et la distraction, développent la connectivité, offrent différents niveaux de service sans exclure les ménages les plus modestes.

Le concept multiservice, le design attractif de ces projets et le « ticket d'entrée » modéré (entre 10000 et 20000 € pour l'acquisition et la mise en œuvre du kiosque complet sur site) attirent facilement les subventions, qui couvrent souvent le coût d'investissement. Les opérateurs mettent également en avant le bilan positif des premières opérations.

Cependant, le retour d'expérience est encore trop limité pour analyser la robustesse du modèle au regard des problèmes techniques qui ne manqueront pas de se poser : entretien courant des ouvrages, gestion des pannes lourdes, renouvellement des batteries, évolution et volatilité de la demande.

Comme pour d'autres installations, le risque d'abandon des kiosques n'est pas négligeable, du fait de la complexité des engagements liés au système de franchise et de l'accompagnement qui peut s'avérer insuffisant quand l'opérateur est davantage motivé par l'augmentation du nombre des franchisés que par leur réussite individuelle. On peut également craindre que le tropisme actuel des investisseurs et des bailleurs, qui fait pencher l'accès à l'électrification hors réseau du côté de la course à l'innovation et de l'atomisation des actions, conduise à leur faire préférer l'investissement dans de nouvelles expérimentations plutôt que dans la pérennisation des installations déjà en place.

Il n'en reste pas moins que les kiosques complètent utilement la gamme des services délivrés par les SSI en l'élargissant aux activités économiques. N'excluant pas le développement d'initiatives plus concertées, ils ont leur place dans la mosaïque des solutions d'électrification rurale décentralisée. ●

3.4.2.

Les nanoréseaux : le concept est encore en exploration.

Les initiatives mettant en place un nanoréseau sont encore peu nombreuses. Elles s'appuient sur un concept évolutif, à l'interstice de deux schémas : celui, relativement figé, du miniréseau (cf. chapitre 3.5.) et celui, encore en gestation, des SSI (cf. chapitre 3.2.).

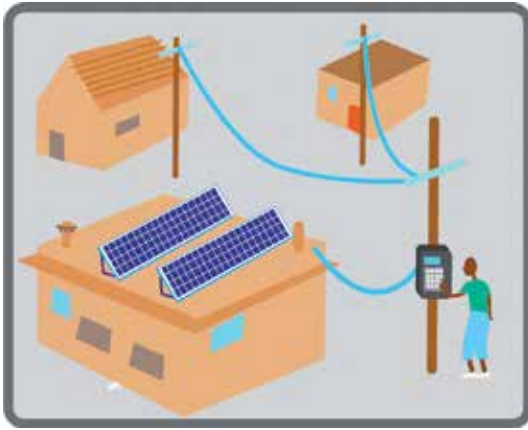
Cette solution hybride consiste à raccorder physiquement un groupement d'abonnés à

une source de production solaire collective pour un usage essentiellement domestique, grâce à un réseau électrique de quelques dizaines de mètres. La description analytique de ce nouveau schéma d'électrification progressive par nanoréseaux interconnectés sera succincte, par manque de modèle comparatif, d'une part, et de retour d'expérience significatif, d'autre part.

Schéma de principe d'un nanoréseau



Source : Fondation Energies pour le Monde.



De quoi parle-t-on ?

En pratique, un système photovoltaïque autonome de 50 à 200 Wc est installé au sein d'une habitation, à partir de laquelle les trois à cinq habitations voisines peuvent être raccordées par un système de câbles et de poteaux : le nanoréseau.

Les services proposés à ce petit groupe d'abonnés sont similaires à ceux délivrés par les systèmes solaires individuels. Mais la mutualisation de la source de production et de stockage

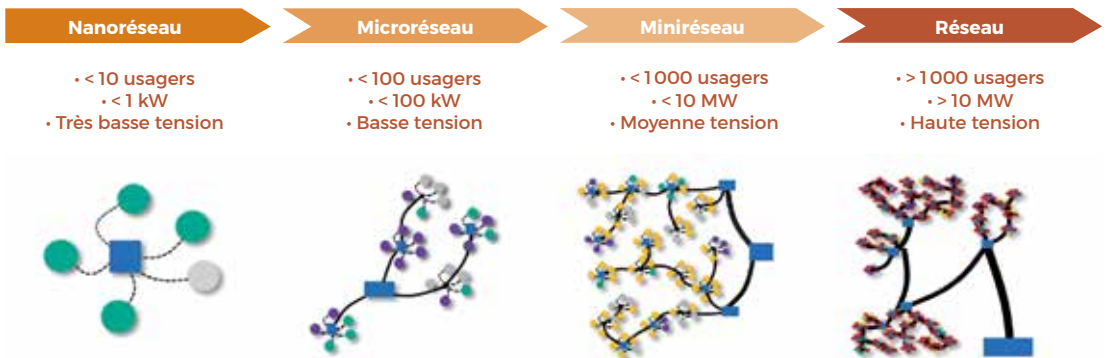
ainsi que le foisonnement des consommations permet d'atteindre un optimum technique et économique : à service équivalent, un nanoréseau distribuant par exemple cinq ménages sera moins onéreux que cinq systèmes solaires individuels.

Mais surtout, l'ambition du modèle ne se limite pas à une simple mutualisation. Son évolutivité fait son originalité et sa valeur ajoutée : plusieurs nanoréseaux peuvent se raccorder entre eux pour constituer un microréseau, lui-même pouvant s'agréger à d'autres pour tendre vers un miniréseau, pour atteindre l'échelle d'un réseau périurbain, l'ensemble pouvant même à terme être connecté au réseau national.

La production d'électricité reste répartie mais se mutualise au fur et à mesure des interconnexions ; grâce à cette densification, le système peut alors alimenter des services productifs à forte demande ou des services publics tels que déjà évoqués.

Le numérique apporte, dans ce modèle comme dans les précédents, une grande souplesse d'utilisation, grâce au pilotage à distance des nanoréseaux et au prépaiement des consommations via une application de *mobile money*.

La logique de densification des nanoréseaux



Source : Nanoé, <https://www.nanoe.net>.



Parole de professionnel Nicolas Saincy

Comment justifiez-vous la place du concept du nanoréseau, entre les solar home system et les miniréseaux ?

« Le concept d'électrification progressive par nanoréseaux interconnectables peut répondre à la fois aux besoins de court terme et de long terme de manière plus efficace que les deux autres types de solutions actuellement déployées dans les zones rurales africaines. Le modèle d'électrification par construction et exploitation de miniréseaux classiques, malgré son impact important sur le développement, peine à se déployer depuis plusieurs dizaines d'années en raison de coûts d'investissement élevés et d'un potentiel de développement limité aux zones relativement denses. Quant au modèle d'électrification par fabrication et distribution de systèmes individuels (SHS), qui se focalise sur les besoins domestiques de base, il s'est diffusé à une vitesse spectaculaire au cours de la dernière décennie, mais il ne peut dissimuler son incapacité à soutenir durablement le développement local. L'avantage du nanoréseau repose sur la combinaison des solutions techniques, à la frontière des SHS et des réseaux, et sur une approche innovante, à la frontière des logiques marchandes et des services publics. Grâce au regroupement de clientèle à petite échelle, il autorise un modèle d'électrification à la fois plus rapide, plus flexible, plus moderne et plus abordable que les systèmes individuels ou que les réseaux classiques pour répondre aux besoins croissants des territoires et accompagner leur développement. »

D'après vos premiers retours d'expérience à Madagascar, quelles seraient les pistes d'amélioration du modèle ?

« Expérimenté depuis dix-huit mois à Madagascar, notre modèle est actuellement en voie d'industrialisation. Même si ses fondamentaux techniques, sociaux et économiques ont été validés par l'expérience, il reste de nombreux défis opérationnels à relever pour qu'il constitue une alternative totalement crédible aux deux modèles dominants. En particulier, nous devons mener un important travail de formation, d'organisation et de développement opérationnel pour mettre en place des filières décentralisées de construction et d'exploitation de nanoréseaux à grande échelle. »

Comment répondez-vous à la demande en électricité des acteurs économiques, qui ont des besoins en puissance et en énergie plus significatifs ?

« En offrant un service électrique couvrant l'éclairage (public ou privé), la recharge de téléphone, le multimédia et la réfrigération, les nanoréseaux permettent de couvrir les besoins énergétiques de plus de 90 % des acteurs économiques ruraux. Ce service

peut être progressivement et économiquement étendu aux besoins de pompage et de force motrice grâce à l'interconnexion de plusieurs nanoréseaux entre eux (au sein d'un microréseau). In fine, il est même envisageable de satisfaire l'ensemble des besoins énergétiques industriels d'un territoire grâce à une étape d'agrégation supplémentaire (interconnexion de plusieurs microréseaux). »

Nicolas Saincy, 33 ans, est ingénieur en électricité. Après 10 ans dans le conseil aux acteurs africains de l'énergie, il co-fonde Nanoé en 2016 et s'installe à Madagascar pour y expérimenter un nouveau modèle d'électrification rurale baptisée «*Electrification latérale* ». Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>

Qui sont les principaux promoteurs ?

Les nanoréseaux sont encore anecdotiques dans le paysage de l'électrification rurale. On compte une poignée de promoteurs privés, associés à des partenaires locaux, des opérateurs de télécommunications et des fournisseurs de solutions de *mobile money*.

La start-up française Nanoé, qui opère à Madagascar depuis début 2017, en est l'un des pionniers. Son modèle, annoncé comme en voie d'industrialisation (cf. interview), encourage les entrepreneurs locaux à devenir développeurs et opérateurs de nanoréseaux. Hybride, le modèle développé n'est pas sans rappeler à la fois celui du PAYG et celui des kiosques énergie gérés sous franchise.

Quelle électricité pour les usagers ?

Les services électriques pour les usagers domestiques, payés au forfait selon deux à trois niveaux de service, en fonction du nombre d'ampoules et de récepteurs autorisés, sont limités et comparables aux SSI. Le nombre et la nature des récepteurs sont limités (points d'éclairage, recharge de téléphone, éventuellement téléviseur).

Le raccordement de plusieurs nanoréseaux et d'éventuelles sources de production additionnelles permet d'envisager un service mixte couvrant à la fois les usagers domestiques et des acteurs économiques pour des demandes plus significatives (production de froid, outillage électrique simple).

Le maillage progressif en dizaines de nanoréseaux interconnectés offrirait les capacités électriques d'un réseau traditionnel répondant à tout type d'usage, mais cette possibilité reste encore à démontrer sur le terrain.

Quel modèle économique ?

Les protagonistes sont encore trop peu nombreux et les données trop confidentielles pour évoquer un modèle économique standardisé.

Des besoins récurrents en fonds propres seront vraisemblablement nécessaires pour les investissements de production : systèmes photovoltaïques autonomes, accessoires de réseau, équipements de gestion et supervision. La vente d'électricité sous différentes formes (forfait, achat de kWh) permettra la couverture des charges d'exploitation, le remboursement des investissements, et, dans l'idéal, financera les installations des nanoréseaux suivants.

Si les expérimentations semblent positives, le modèle actuel intègre, comme tous les autres modèles encadrés, des subventions.

Quel cadre institutionnel ?

Proche des activités des sociétés d'électricité, celle des opérateurs de nanoréseaux est en théorie soumise à la réglementation du secteur de l'électricité.

Aussi, les nanoréseaux se déploient-ils de manière concertée avec les autorités locales et en cohérence avec les éventuelles planifications d'extension des réseaux électriques. Ils doivent respecter un référentiel technique relatif à la sécurité des personnes et des biens, et la tarification de leurs services est soumise à validation des organes de régulation. Pourtant, dans la pratique, le manque de moyens des organismes de régulation et des agences d'électrification rurale, conjugué au caractère innovant du modèle, peut conduire à un traitement dérogatoire.

Atouts et faiblesses

Le principal atout du modèle réside dans son caractère évolutif et sa capacité de déploiement relativement rapide et flexible. Les services électriques proposés, essentiellement domestiques, semblent pouvoir s'étendre à la demande des acteurs économiques par agrégation de plusieurs unités.

Quoiqu'elle s'accompagne d'une complexité technique significative, la construction progressive d'un ou de plusieurs nanoréseaux de forte capacité est une idée novatrice et séduisante. A l'inverse d'un miniréseau alimenté par une source unique, un nanoréseau fait simultanément appel à de multiples sources de production interdépendantes (cf. schéma du nanoréseau supra). Mais ce facteur de complexité est aussi un gage de sécurité : les lieux de production peuvent se relayer entre eux.

Un regard attentif doit donc être porté à ce modèle atypique, susceptible de profiter des résultats de recherche sur les réseaux intelligents, mais aussi de se confronter rapidement aux limites des modèles traditionnels. ○

3.5.

Le miniréseau, schéma d'électrification collective historique, est en pleine mutation

Pour apporter l'électricité simultanément à tous les membres d'une communauté rurale et couvrir la diversité de leurs besoins, domestiques, productifs ou publics, le miniréseau apparaît aujourd'hui comme la solution la plus satisfaisante.

Parce que ce schéma se veut global et polyvalent, l'équation qu'il tente de résoudre est néanmoins complexe. Soumis à de nombreux facteurs et faisant appel à plusieurs types d'acteurs, il se déploie selon différents modèles organisationnels, techniques et économiques, dont aucun ne fait l'unanimité. Ce sous-secteur essentiel de l'ERD, souvent porté par la recherche d'un modèle électrique rural aussi proche que possible du modèle électrique urbain, est en effervescence. Après un bref rappel historique et contextuel (3.5.1.), ce chapitre présente les différentes modalités et les fondamentaux techniques des miniréseaux, avec leurs atouts et leurs limites (3.5.2.), avant de restituer l'essentiel des leçons tirées de vingt ans de mise en œuvre de miniréseaux ruraux sur le sol subsaharien (3.5.3.).

L'ouvrage propose volontairement un focus sur les miniréseaux alimentés par centrale photovoltaïque et/ou hybride, qui représentent la majorité des miniréseaux en service, et sont au centre des multiples réflexions et des mutations technologiques en cours et à venir.



Zoom sur le miniréseau solaire.

3.5.1.

Malgré de nombreux échecs et des postulats économiques complexes, les miniréseaux ruraux séduisent de nouveaux acteurs.

Depuis la fin des années 1980, la répliation en Afrique du modèle d'électrification connu dans les pays industrialisés a donné lieu à l'installation de milliers de miniréseaux ruraux conçus pour délivrer une électricité « comme à la ville ». La première génération de miniréseaux ruraux, fondée sur l'utilisation de générateurs thermiques, a connu de multiples difficultés d'exploitation. La microhydroélectricité a confirmé sa pertinence pour des puissances significatives (100 kW à 1 MW), lorsque le gisement est abondant et proche des lieux de consommation. Mais la généralisation des solutions photovoltaïques, les nouvelles technologies de stockage et le numérique renouvellent le genre.

La lecture de la plupart des stratégies et des politiques nationales d'électrification confirme la place prépondérante des miniréseaux dans les objectifs et planifications d'électrification des zones rurales, notamment en Afrique de l'Ouest.

Selon l'étude réalisée par le Club ER (Association Africaine pour l'Électrification Rurale), près de 1900 miniréseaux ruraux sont installés sur le territoire subsaharien (ce qui ne veut pas dire qu'ils sont opérationnels), pour environ 35 MW, avec de fortes disparités territoriales (cf. minidossier).



Miniréseaux : l'exemple du Sénégal

Réalisé ces vingt dernières années :
984 villages électrifiés par SSI
(1270 kWc) et miniréseaux (900 kWc).

En projet d'ici 2030 : **760 nouveaux villages avec centrale solaire**, avec une puissance crête projetée à 19900 kWc.

Source : Malick GAYE de l'ASER (Assemblée générale du Club ER, décembre 2018).



Projet Transindo : un miniréseau hybride intelligent 100 % français installé il y a vingt ans

Il y a presque vingt ans, le projet Transindo fut l'un des premiers programmes d'électrification par miniréseau solaire hybride, avec pour objectif d'établir un réseau électrique, fiable, peu coûteux et issu d'énergies propres, dans des villages des îles Célèbes et Bornéo, en Indonésie. Ces îles, peu peuplées, ont été mises en avant lorsque le gouvernement indonésien a voulu diminuer la population saturée des îles de Sumatra et Java. Mais les nouveaux arrivants avaient recours à des groupes électrogènes polluants, peu fiables et chers. Ce qui a conduit le gouvernement à chercher une solution durable d'accès à l'électricité dans ces zones reculées (plus de dix-huit heures par bateau).

En partenariat avec le groupement Photowatt et le ministère de la Transmigration indonésien, et avec un financement sous protocole franco-indonésien, l'initiative se transforme en projet. Avec du matériel conçu et développé en France, et une maîtrise d'œuvre assurée par Transénergie, **une centrale hybride de 24 kWc couplée à un parc batteries et un groupe électrogène** a été installée. Un miniréseau a été mis en place pour alimenter en électricité près de 500 foyers.



Déjà il y a vingt ans, les raccordements des usagers ont été réalisés avec des limiteurs de puissance, d'énergie et un système de prépaiement. Etant donné le fort degré d'innovation, l'accent a été mis sur l'accompagnement des acteurs impliqués, y compris les usagers, avec des campagnes régulières de sensibilisation à l'utilisation rationnelle de l'électricité.

MINIDOSSIER

Miniréseaux en Afrique subsaharienne : les résultats du recensement mené par le Club ER

Né d'une initiative de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) et d'Innovation Energie Développement (IED), le Club ER réunit les agences et structures nationales africaines en charge de l'électrification rurale. En 2019, il a piloté une vaste campagne de recensement des miniréseaux installés au sein de ses pays membres.

L'analyse des données, avec un degré de précision parfois mitigé, permet d'extraire quelques tendances sur les réalisations de ces vingt dernières années :

- **quelques pays (Mali, Sénégal, Burkina Faso, Mauritanie, Kenya) ont une avance certaine en termes de retour d'expérience sur les miniréseaux**, essentiellement diesels, solaires et hybrides solaire/diesel avec stockage. Les puissances moyennes des miniréseaux sont de quelques dizaines de kWc ;
- sur l'ensemble du territoire étudié, **la technologie photovoltaïque (hybridée ou non) représente plus de 70 % des miniréseaux identifiés, mais moins de 40 % de la puissance cumulée installée.** On trouve quelques réseaux hybrides solaire/diesel sans stockage de quelques MW, essentiellement au Mali. Ils consistent à connecter du solaire « raccordé au réseau » sur un

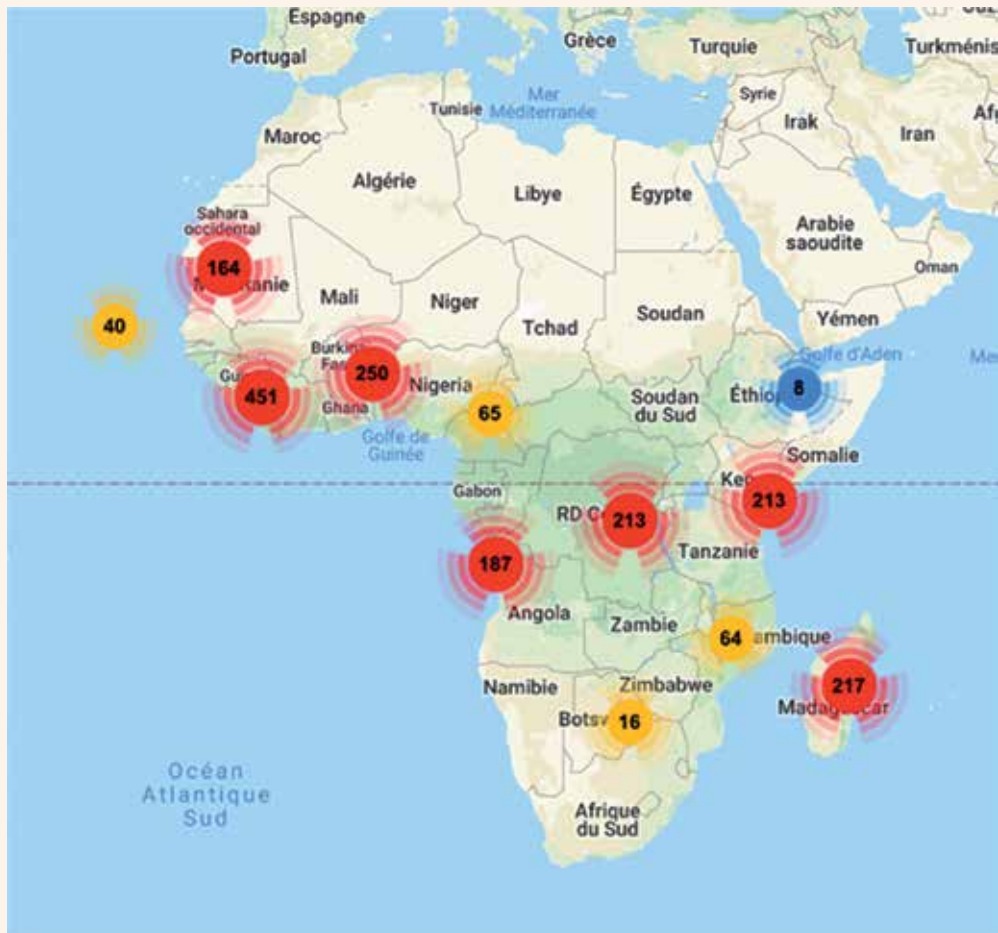
réseau alimenté en permanence par source thermique. On retrouve ces systèmes dans des localités secondaires électrifiées de longue date par centrale thermique, pour lesquelles l'opérateur souhaite réduire ses dépenses en carburant (en pratique de 10 à 30 % selon le taux de pénétration du solaire). Ces schémas ne sont pas abordés dans le présent ouvrage ;

- **l'hydroélectricité reste très présente en Afrique centrale**, avec plus de 400 miniréseaux recensés, pour des puissances moyennes de quelques centaines de kW ;
- **le projet dénombre une soixantaine de miniréseaux alimentés par la biomasse, essentiellement en Afrique de l'Est** (Jatropha, digesteur biogaz, biocarburants divers), dans des gammes de puissance comparables à celles des miniréseaux solaires/hybrides.

Un important travail de visualisation cartographique a été réalisé à partir des informations collectées. Il montre la répartition par zone et propose une classification par technologie.

Source : Retrouvez toutes les informations cartographiques sur :
https://thexs-mapping.firebaseio.com/mapping.html?fid=1H1Vmqh6HDe_cx5-4-YYumWUVs2lfpiHb

Cartographie des miniréseaux en Afrique, toutes technologies confondues



Source : Club ER, 2019, <https://www.club-er.org>.



Réseau urbain vs miniréseau diesel : des différences significatives

Du côté de la production

- > **Produire de l'électricité via une « centrale » thermique de plusieurs mégawatts alimentée par combustible fossile est une discipline industrielle mature.** Plusieurs machines travaillent en parallèle, coordonnées pour fonctionner à des régimes spécifiques et adaptés via des courbes de statisme optimisées, conçues et entretenues pour des durées de vie connues et maîtrisées (30 000 à 50 000 heures) permettant de garantir le service pendant les périodes de maintenance prolongée. L'effet d'échelle autorise un personnel technique permanent dédié, compétent, encadré par la compagnie nationale d'électricité, qui a un accès facilité au soutien des bailleurs de fonds internationaux.
- > **Un miniréseau rural diesel est une petite unité thermique de puissance 50 à 1000 fois inférieure à celle d'une centrale urbaine (50 à 300 kW).** La centrale est souvent composée d'une machine unique (groupe électrogène) qui encaisse seule des courbes de charges variables (peu de demande en journée, pointe importante en soirée) et tous les appels de puissance ; elle opère ainsi dans des conditions techniques dégradées. La moindre panne peut donc plonger un village dans le noir pendant plusieurs jours. Or, conçus pour un fonctionnement intermittent (ce type de matériel est utilisé en secours par le secteur tertiaire lors des délestages urbains), ces groupes de faible puissance sont de fait moins robustes que les machines des centrales du réseau national. Et leur consommation spécifique en litre/kWh est supérieure à celle des centrales urbaines.

Côté transport et distribution

Tandis qu'on trouvera systématiquement de la moyenne tension (20 kV, 33 kV, 63 kV) sur les lignes de transport des réseaux urbains (de fait plus complexes de conception), les miniréseaux ruraux sont essentiellement distribués en basse tension (0,4 kV), possiblement appuyés par quelques lignes MT (15 à 20 kV) du fait des plus faibles distances et de la moindre capacité de puissance à transiter. La différence est liée, d'une part, à la densité de puissance (fonction de la densité de consommateurs raccordés et à la nature des consommateurs), et, d'autre part, à la quantité d'énergie transitée par unité de longueur de réseau :

- > **en zone urbaine**, 1 km de ligne basse tension peut desservir jusqu'à 500 usagers et faire transiter jusqu'à 1 000 kWh par jour ;
- > **en zone rurale**, on constate une moyenne d'environ 50 usagers par km de ligne, laquelle fait transiter à peine 10 kWh par jour.

Côté exploitation et tarification

- > **En ville, les usagers payent une électricité qui est à la fois techniquement moins onéreuse et plus fortement subventionnée qu'en zone rurale.** Les réseaux urbains, en majorité exploités par les compagnies nationales d'électricité (cf. chapitre 1.2), bénéficient d'une mutualisation des achats et de la gestion. De plus, même s'ils aspirent à des modèles économiques autonomes et rentables, les bailleurs de fonds poursuivent leur soutien aux gouvernements soucieux de maintenir la paix sociale. Cet environnement autorise parfois des mécanismes de péréquation tarifaire entre les principales localités du pays, ou encore la mise en place de tarifications sociales (en dessous d'un certain seuil de consommation mensuel, le coût du kWh est minoré).
- > **En zone rurale, recouvrir le coût de production réel d'un kWh entraîne un prix de vente du kWh qui est deux à trois fois supérieur à celui payé en ville.** Si la plupart des miniréseaux diesels ruraux ont bénéficié d'importantes subventions à l'investissement, ils se sont rapidement retrouvés sans soutien financier en phase d'exploitation, avec une tarification non subventionnée, inadaptée aux moyens financiers des populations rurales. Par ailleurs, la gestion est souvent confiée à un opérateur, dont l'intégrité et la motivation influent fortement sur la pérennité de l'installation, point de fragilité de ce type de schéma.

La construction d'un miniréseau constitue-t-elle une étape de celle d'un réseau national ?

La mise en œuvre des projets d'accès universel à l'électricité repose historiquement sur un axiome hérité de l'électrification des pays industrialisés : « c'est par l'agrégation de multiples miniréseaux qu'on peut construire le réseau interconnecté dont les populations ont besoin. » Or, en l'état actuel, il paraît difficilement envisageable de réaliser cette extension des réseaux urbains vers les zones rurales puis leur interconnexion (cf. chapitres 1.2.1. et 2.1.2.), du moins à moyen terme.

Par ailleurs, ce n'est pas non plus par les programmes d'interconnexion de réseaux entre pays



Miniréseau basse tension en Guinée.



Réseau urbain.

mutualisant des sources de production de forte capacité (telles les centrales hydroélectriques de plusieurs GW) que les zones rurales seront progressivement électrifiées. Déployer un réseau national nécessite d'acheminer l'électricité jusqu'à l'utilisateur et de la vendre. Faire descendre l'électricité d'une ligne très haute tension de 400 000 volts vers une communauté présentant un habitat dispersé et de faibles revenus nécessite la conjonction de deux raretés : une volonté politique forte et une bonne mécanique de subventions.

Un miniréseau n'est pas seulement un réseau de moindre puissance

En première analyse, il existe des similitudes entre le réseau dit « national » et un miniréseau rural diesel (technologie initialement utilisée par les promoteurs de miniréseaux isolés) :

- production par groupe électrogène ;

- transport et distribution par un ensemble de poteaux et de câbles ;
- raccordement des consommateurs ;
- comptage et facturation des kWh vendus.

Pourtant, un miniréseau diesel rural présente des différences significatives liées au contexte du milieu rural africain, tant au niveau de la production qu'au niveau de la distribution ou de l'exploitation, avec une conséquence fondamentale : **le coût de production d'un kWh électrique est nettement plus élevé sur un « miniréseau diesel » que sur un réseau urbain** (cf. encadré).

Donner quelques ordres de grandeur relatifs à la consommation permet de mieux saisir la différence de poids économique entre un réseau urbain et un miniréseau rural.

Consommation électrique en zone urbaine et en zone rurale : quelques ordres de grandeur

URBAIN		RURAL
350 kWh/an Consommation moyenne d'un foyer électrifié en ville	x 3	100 kWh/an Consommation moyenne d'un foyer rural ¹
100 000 kWh/an Consommation d'un hôtel de standing moyen en centre-ville d'une capitale africaine		Consommation de 1 000 foyers ruraux par an
1 usine de textile en périphérie d'une capitale africaine	=	Consommation de 500 villages ruraux

Source : Fondation Energies pour le Monde.

1. Elle est d'environ 4 000 kWh en France, le double aux États-Unis.



Courbe de charge

Graphique représentant la puissance électrique appelée par un site à l'échelle d'une journée.

L'intégrale de la courbe de charge (surface située entre l'axe des abscisse et la courbe) renseigne la consommation d'énergie électrique journalière.

Exemple d'une courbe de charge exprimée en puissance active (kW), c'est-à-dire en puissance réellement consommée par les appareils électriques utilisés sur le miniréseau



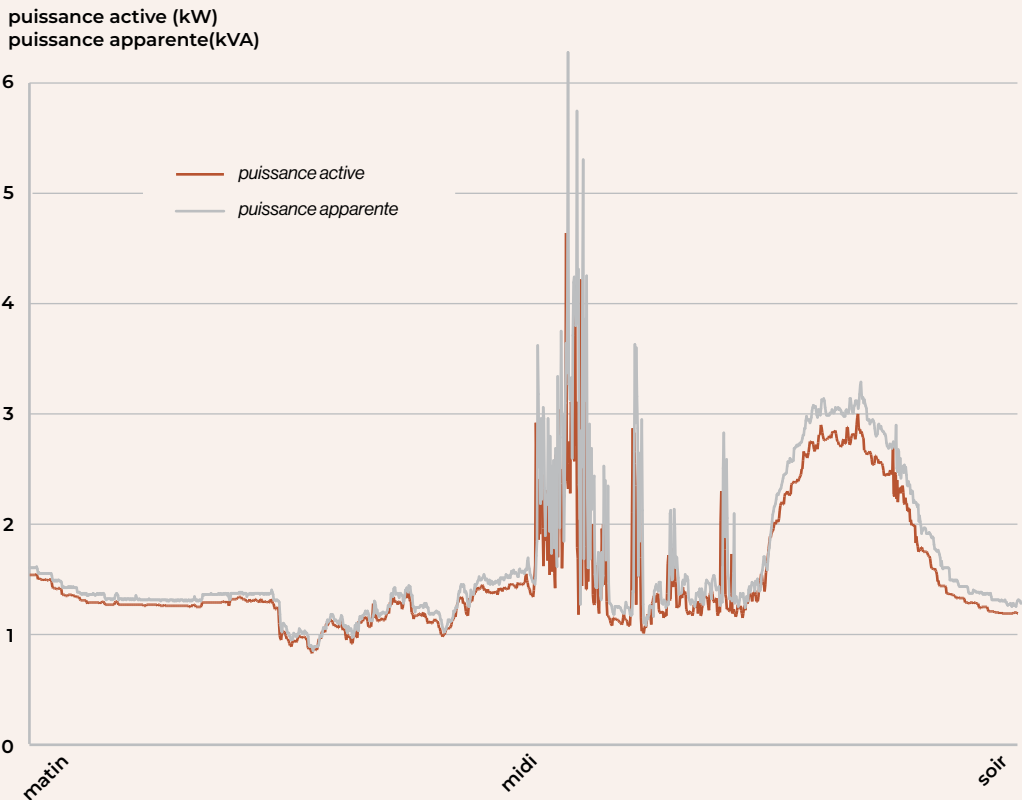
Source : Fondation Energies pour le Monde.



Appel de puissance

Le démarrage d'un moteur électrique génère des appels d'intensité jusqu'à dix fois la valeur de l'intensité de fonctionnement nominal, à facteur de charge très dégradé, pendant quelques secondes.

Exemple d'une courbe de charge exprimée en puissance active (kW) et en puissance apparente (kVA) illustrant les appels de courant et les facteurs de puissance des appareils électriques utilisés sur le miniréseau.



Source : Fondation Energies pour le Monde.

Accessibilité des énergies renouvelables et révolution numérique font évoluer le modèle des miniréseaux.

Dès les années 2000, ces deux évolutions technologiques (cf. chapitre 2.3.1.) ont conduit à la conception et à la mise en œuvre de systèmes de production d'électricité de source renouvelable en substitution des groupes thermiques.

Si l'adoption de ces technologies renouvelle le genre, elle ne permet pas de lever tous les obstacles. Elle met en exergue l'importance de la bonne prise en compte du facteur humain dans la réussite d'un projet.

La ruée vers les énergies renouvelables : un virage technologique qui pose le problème de la compétence locale.

Comme si les difficultés étaient d'abord liées à la source de production, les concepteurs se sont résolument tournés vers les ressources renouvelables pour développer des miniréseaux, notamment solaires ou hydroélectriques, souvent « hybrides ».

Or, cette évolution de la production fait surgir deux nouvelles problématiques :

- **leur financement** : quand elles sont de bonne fabrication, ces installations exigent un montant d'investissements cinq à dix fois supérieur au coût d'un groupe électrogène simple, malgré des coûts en baisse constante ;
- **leur maintenance** : si un groupe électrogène est réparable à peu près partout en Afrique, ce n'est pas le cas d'un onduleur solaire...

Concernant les miniréseaux solaires, avec le recul de l'expérience, il apparaît que la focalisation sur la production a conduit à des investissements de fonds publics significatifs dans des ouvrages souvent surdimensionnés et trop complexes au regard du service demandé et des capacités d'appropriation locale. Cette vision strictement

technique (système par ENR vs système thermique) a occulté des étapes essentielles à la survie d'un miniréseau rural dans le temps : l'identification de la demande, l'appropriation par les bénéficiaires, le choix et l'accompagnement de l'exploitant, l'encadrement institutionnel et le suivi dans la durée.

Autant de points qui seront abordés dans le chapitre 3.5.3., traitant des retours d'expérience.

La dématérialisation progressive de la gestion pose également la question de l'appropriation locale.

Autre évolution influençant l'exploitation technique des miniréseaux, le numérique offre un panel de solutions qui ne sont pas réservées aux SSI. Les compteurs à prépaiement communicants, ayant la même logique fonctionnelle que la gestion dématérialisée des kits PAYG exposée plus haut, se généralisent à grande vitesse au sein des miniréseaux. Les besoins en main-d'œuvre sont réduits, l'exploitation des centrales est facilitée grâce au *télémonitoring*, l'apprentissage des habitudes d'usage de l'électricité mûrit rapidement.

Corollaire évident de cette dématérialisation, l'humain s'efface, non sans effet pervers sur le montage et la conduite des projets. La sensibilisation des usagers et l'implication des autorités locales – qui, ayant fait leurs preuves, occupent une place centrale dans les interventions des ONG (cf. chapitre 2.4.2.) – sont parfois sacrifiées aux contraintes du plan d'affaires et à une vision à court terme, non sans risques.

Les modèles initiés par les pionniers, notamment les ONG, laissent place à ceux portés par un secteur privé ambitieux.

La révolution technique qui traverse le secteur de l'ERD s'accompagne d'une diversification des modèles et des acteurs (cf. chapitre 2.3.). Ce



Parole de professionnel Yann Chauvelin

Voyez-vous un risque à déployer des solutions 100 % numériques et connectées en minimisant la présence d'une équipe d'exploitants sur le terrain ?

« Les solutions numériques et connectées permettent de mieux gérer la production, la distribution et le paiement des abonnés. Elles favorisent et sécurisent les opérations et la maintenance, grâce à des centres mutualisés possédant une meilleure expertise, comme c'est le cas chez les opérateurs de la télécommunication. Elles ne dispensent pas d'une présence sur le terrain dans tous les villages, tant pour s'occuper de la partie commerciale que pour accompagner les populations dans l'utilisation de l'électricité et le développement de son usage. »

Yann Chauvelin, ingénieur de formation, mène depuis plus de vingt ans des projets en Afrique pour les télécom et l'énergie ; il est en charge du *business development* pour l'électrification rurale au sein de Sagemcom Energie et Telecom.

Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>

renouvellement n'épargne évidemment pas le monde des miniréseaux.

Il induit un certain effacement des objectifs humanistes portés par ses pionniers. Malgré un plaidoyer fondé sur l'expérience, les ONG et leurs soutiens, aujourd'hui largement minoritaires dans les programmes en cours, ont souvent du mal à justifier leurs projets socialement ambitieux, face à un secteur privé innovant et mieux armé en termes marketings et financiers.

Le modèle originel, fondé sur un ancrage institutionnel fort, repose sur l'action conjointe des acteurs publics et associatifs.

Comme pour d'autres schémas d'ERD, les miniréseaux ont longtemps été conçus à l'initiative de collectivités publiques avec le soutien de la coopération internationale et l'appui technique d'ONG ou de bureaux d'études du secteur. Les plateformes multifonctionnelles du PNUD (sorte de miniréseau à usage productif ; cf. chapitre 3.4.1.) ou les Facilités énergie de l'UE en sont des exemples concrets. Le modèle historique du miniréseau repose ainsi sur :

- des investissements de fonds publics (bailleurs internationaux) ;
- un encadrement institutionnel structuré (pouvoirs publics nationaux, régionaux, locaux) ;
- une mécanique d'appels à projets et de partenariats public/privé ;
- la présence forte d'ONG jouant un rôle de défricheurs et de garde-fous.

C'est grâce à ce combo – pas toujours harmonieux – d'acteurs publics, institutionnels, associatifs et privés placés sous la bannière de l'accès à l'électricité, qu'ont pu se multiplier les projets « pilotes » et être ainsi testés divers schémas opérationnels de miniréseaux (cf. chapitre 2.4.2.). Malgré un taux de pérennité de long terme objectivement

faible, ces opérations ont développé plusieurs bonnes pratiques, souvent suivies par les porteurs de projet de miniréseaux actuels. Entre plusieurs échecs assumés, les ONG de l'électrification rurale ont pris le temps de démontrer par l'expérience les invariants techniques, sociologiques et institutionnels d'un programme d'électrification par miniréseau (cf. chapitre 3.5.4.).

Mais ces projets collaboratifs complexes découragent plus d'un acteur.

Nombre d'opérateurs privés ou d'entrepreneurs locaux, pourtant solidement implantés et soucieux du développement local, renoncent à développer ou pérenniser un projet de miniréseau face aux promesses non tenues des politiques nationales ou aux délais administratifs qui mettent en péril un plan d'affaires fragile.

Autre problème : les mécanismes de subventions octroyées par les agences d'électrification rurale à ces acteurs s'essouffent. S'inscrivant dans un cadre proche de la « délégation de service public », elles préservent pourtant l'opérateur d'un assujettissement à une logique de rentabilité souvent incompatible avec la réalité du terrain, en l'aidant simplement à trouver l'équilibre économique.

De leur côté, les ONG ont de plus en plus de mal à obtenir les financements nécessaires pour déployer des projets soucieux d'appropriation locale et de transfert de compétences. Le bilan global de leurs opérations fait apparaître une fragilité financière difficilement contestable ; les mesures d'accompagnement mises en place ne peuvent pas tout ; elles restent impuissantes pour répondre aux chimères du changement d'échelle. Cela questionne aussi la pertinence des plans d'exploitation trop figés que développent certaines ONG : la modélisation est souvent mise en déroute par la réalité.

Lassés des divergences de point de vue entre praticiens de l'ERD et des délais supplémentaires induits par les approches sociales et institutionnelles des projets portés par la société civile, les bailleurs de fonds et les ministères se tournent désormais volontiers vers un secteur privé proposant des solutions plus rapides et apparemment aussi efficaces.

Les ruptures technologiques et l'évolution des cadres institutionnels ouvrent un large champ d'action au secteur privé.

Sans attendre les campagnes de subventions cadencées par le système des appels à projets, les opérateurs internationaux privés de miniréseaux sont entrés depuis 2015 sur le marché rural subsaharien, avec le soutien d'investisseurs privés, et représentent aujourd'hui la majorité des financeurs.

Parfois hors de toute référence aux planifications et aux politiques nationales, ces opérateurs interviennent le plus souvent de manière autonome :

- ils mènent leurs propres études dans les zones qu'ils identifient comme stratégiques ;
- leurs projets sont conçus dans le cadre d'une concertation restreinte et rapide avec les autorités locales, visant essentiellement à obtenir les autorisations nécessaires et une analyse souvent sommaire de la situation énergétique et sociologique ;
- la tarification et les services proposés aux « clients » sont fondés sur des plans d'affaires gardés confidentiels, ou formulés de telle sorte que les agences de régulation peinent à les challenger ;
- les solutions techniques déployées sont souvent trop innovantes pour pouvoir être appréciées sur le long terme par les autorités compétentes.



Parole de professionnelle Camille André-Bataille

Quelles sont les principales étapes et les délais moyens de mise en œuvre d'un miniréseau, de l'identification du site à la mise en service des ouvrages ?

« Longue, fastidieuse, la mise en place d'un miniréseau est ponctuée d'étapes clés qui dépendent en partie de l'action des services administratifs. Nous commençons par des enquêtes de terrain auprès des parties prenantes locales (ménages, usagers productifs, services publics, autorités locales, etc.) afin d'évaluer la demande énergétique et le potentiel de développement socio-économique.

Vient ensuite la sécurisation foncière. Elle peut prendre plusieurs mois, en fonction de la volonté des acteurs locaux de s'engager et de la durée des étapes techniques (bornage, plans) et administratives (certificats de situation juridique, convention communale de mise à disposition). En pratique, ces démarches, qui devraient être effectuées par les localités bénéficiaires avec l'appui de l'ADER, sont souvent assumées par le promoteur du projet. (...) Une fois le dossier finalisé, il est déposé à l'ADER pour visa technique, puis au régulateur, puis au ministère pour signature des autorisations et concessions (ce qui peut prendre deux à huit mois). »

Camille Andre-Bataille, ingénieur et économiste de l'énergie et des projets bas carbone, elle œuvre depuis cinq ans pour l'ERD et l'émergence de communautés rurales fortes à Madagascar et en Afrique.

Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>

Au final, l'utilisateur n'a pas plus d'assurance sur la pérennité du service et a moins de garanties sur son équité.

Alors qu'un projet de miniréseau porté par les pouvoirs publics compétents et accompagné par des acteurs de la société civile veillera à l'équité du service et à l'électrification de tous, un opérateur privé visera logiquement des zones à fort potentiel de développement économique. Il déploiera ses réseaux électriques autour des principaux pôles de consommation, pour une sélection d'utilisateurs susceptibles de payer le service à un tarif intégrant la rentabilité attendue des investisseurs.

Sans volonté politique d'établir un service public de l'électricité régulé et une péréquation tarifaire à minima territoriale, les nouveaux modèles d'électrification 100 % privés ne bénéficieront donc pas directement aux plus modestes. Sur ces projets, l'avenir parlera, mais les premiers constats de terrain laissent entrevoir des méthodes et des impacts assez éloignés d'une conception humaniste d'un droit à l'électricité.

L'électrification d'une zone rurale, quelle que soit la solution, souligne, parfois même renforce, les inégalités sociales existantes (voir le chapitre 2.4.1). Mais ce n'est pas une fatalité :

l'électrification des pays du Nord et de certains pays du Sud a pu se faire en équité, parfois tardivement (en France, après la nationalisation de 1947, par exemple), grâce à la péréquation tarifaire.

Comment réussir cette péréquation en Afrique subsaharienne, a minima à l'échelle d'une région ? Peut-être justement en jouant la complémentarité des logiques interventionniste et libérale ; cela requiert un cadre institutionnel et financier adapté, une vraie vision politique et sociale, ainsi que des moyens dont l'électrification rurale ne dispose pas aujourd'hui (voir les préconisations formulées en partie 4). Les ONG, fortes de leur implantation et de leur intervention soucieuse du terrain, doivent savoir évoluer pour un dialogue constructif avec des opérateurs privés, dont les contraintes découlent aussi de la pratique. Cette complémentarité doit s'imposer, au bénéfice de tous, mais surtout des populations locales.

L'équation économique est complexe, et aucun modèle ne semble réellement démontrer sa pertinence.

Nerf de la guerre, toujours traitée mais souvent sous-estimée par les ONG pionnières, la question économique est légitimement replacée au cœur des projets par les nouvelles initiatives privées.

Quel que soit le schéma opérationnel, le miniréseau par ENR est très consommateur de capitaux, ce qui explique que le modèle économique focalise toutes les attentions.

Les outils d'élaboration de plan d'affaires se multiplient, et certaines aides sont octroyées sous réserve de prévisions de flux de trésorerie positifs à vingt ans (ce qui relève en pratique de la divination...). L'arbitrage entre CAPEX (dépenses d'investissement) et OPEX (dépenses d'exploitation) reste au centre des débats, pour



Parole de professionnel Yann Chauvelin

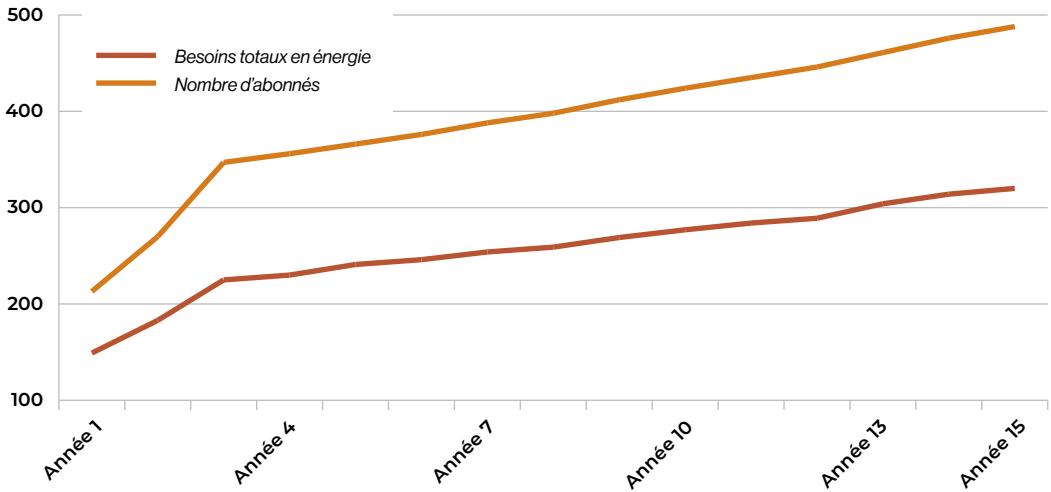
Pensez-vous qu'un travail conjoint entre secteur privé et secteur associatif peut être bénéfique à l'ensemble des parties prenantes ?

« Les ONG ont une très bonne connaissance des problématiques de l'électrification rurale décentralisée, non seulement dans l'identification et la quantification de la demande, mais aussi dans l'accompagnement des populations pour développer l'usage de l'électricité. Sur ces points, une collaboration avec les développeurs du secteur privé peut être complémentaire et bénéfique pour toutes les parties prenantes, et surtout pour les populations. »

Yann Chauvelin, ingénieur de formation, mène depuis plus de vingt ans des projets en Afrique pour les télécoms et l'énergie ; il est en charge du *business development* pour l'électrification rurale au sein de Sagemcom Energie et Télécom.

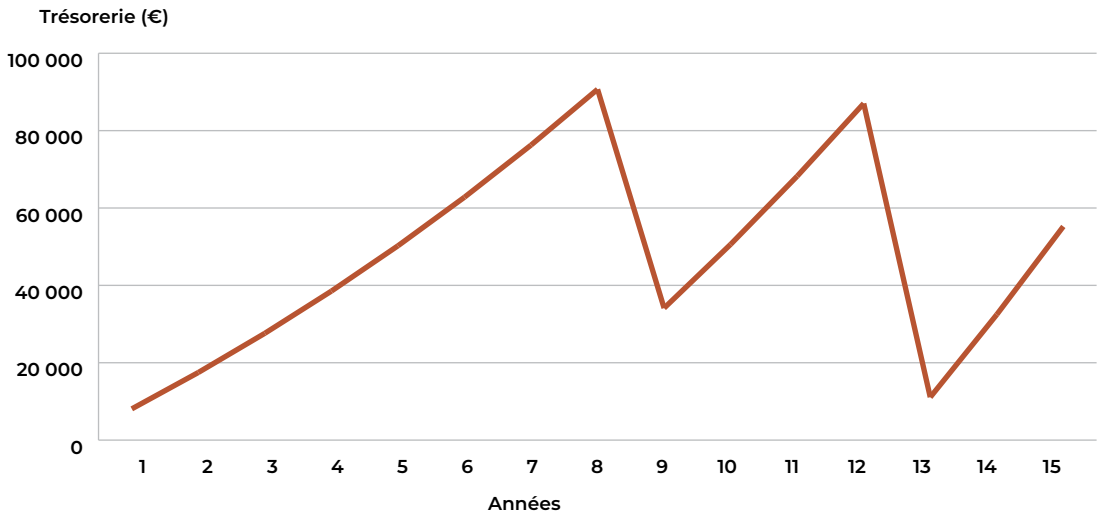
Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>

Evolution du nombre de clients et de la consommation d'électricité au cours du temps



Source : Fondation Energies pour le Monde.

Evolution de la trésorerie au cours de l'exploitation



Source : Fondation Energies pour le Monde.

la définition entre autres du taux d'hybridation par groupe électrogène, et la prise en compte des renouvellements de matériel.

Le modèle économique peut paraître simple : il s'agit d'investir dans un outil de production et de distribution d'électricité avec des coûts d'exploitation minimales (d'où l'essor des ENR), et de compenser l'investissement en vendant de l'électricité à des consommateurs. Mais, en pratique, plusieurs modèles coexistent, avec ou sans subventions, selon des logiques économiques traduisant des schémas opérationnels divers et des philosophies d'intervention parfois opposées :

- certains petits opérateurs locaux et indépendants présents sur le terrain depuis des années et proches de leurs clients affichent une rentabilité minimale mais suffisante grâce à quelques subventions à l'investissement¹;
- d'autres acteurs de l'énergie, d'envergure parfois internationale², se lancent dans le métier d'opérateur en visant plusieurs centaines de villages à fort potentiel pour mutualiser les coûts ; ils optent le plus souvent pour des solutions « containérisées » et/ou « connectées » permettant une gestion à distance ou avec une présence locale minimale ;
- de leur côté, les ONG continuent de plaider en faveur d'un droit à l'électricité pour tous (d'autant plus si elle est de source renouvelable et locale), de promouvoir une gestion privée locale et incarnée et de démontrer la nécessité de subventionner à minima l'investissement, et parfois aussi l'exploitation (comme le renouvellement, les extensions).

La question posée par les développeurs à la recherche d'un modèle économique viable sans subvention est simple et essentielle : investir aujourd'hui dans un miniréseau offre-t-il un

retour sur investissement cohérent à court terme (idéalement cinq ans dans le contexte africain), et des gains significatifs à moyen terme (les modèles économiques sont élaborés avec des horizons de quinze à vingt-cinq ans) ?

La réponse est évidemment bien plus complexe que la question, car un projet est soumis à de multiples facteurs d'incertitude. Le chapitre 3.5.3. évoque de manière synthétique les éléments qui fondent le ciment fragile du modèle d'électrification rurale par miniréseau et de son déploiement opérationnel dans le contexte actuel. Préalablement, les fondamentaux techniques sont repris dans un chapitre que les professionnels du secteur de l'énergie pourront passer, mais qui permettra aux autres lecteurs de mieux comprendre quels sont les sous-jacents de la mise en place et de l'exploitation d'un miniréseau. ○

1. Comme la société EOSOL, qui opère à Madagascar - (cf. Interview de Camille Bataille sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>)

2. Comme les groupes français Orange, EDF, Engie, Schneider Electric ou Sagemcom.

3.5.2.

Miniréseaux : rappel des fondamentaux techniques

Concevoir une centrale de production d'électricité pour alimenter un miniréseau demande plusieurs corps d'ingénierie complémentaires (le cas de l'hydroélectricité ayant ses propres spécificités additionnelles) : géologie et génie civil, électronique de puissance et automates, électromécanique, transport et distribution d'électricité.

Ce chapitre s'oriente volontairement vers les miniréseaux alimentés par centrale solaire et/ou hybrides. Le cas fort intéressant de l'hydroélectricité exige un contexte initial spécifique. Sur le sujet, on peut se référer au document de capitalisation publié en janvier 2019 par le GRET, « Des turbines et des hommes¹ », qui présente un excellent retour d'expérience du déploiement de miniréseaux hydroélectriques à Madagascar.

Sur le plan technique, un miniréseau repose ainsi classiquement sur trois piliers :

- un système de production par une source ou plusieurs sources combinées d'électricité, incluant la régulation et le stockage ;
- une infrastructure de distribution de l'électricité ;
- un raccordement créant une interface avec l'utilisateur final, incluant le compteur électrique.

Les paragraphes qui suivent visent à décrire le fonctionnement d'un miniréseau dans ces différentes dimensions techniques et à en évoquer les principales problématiques.



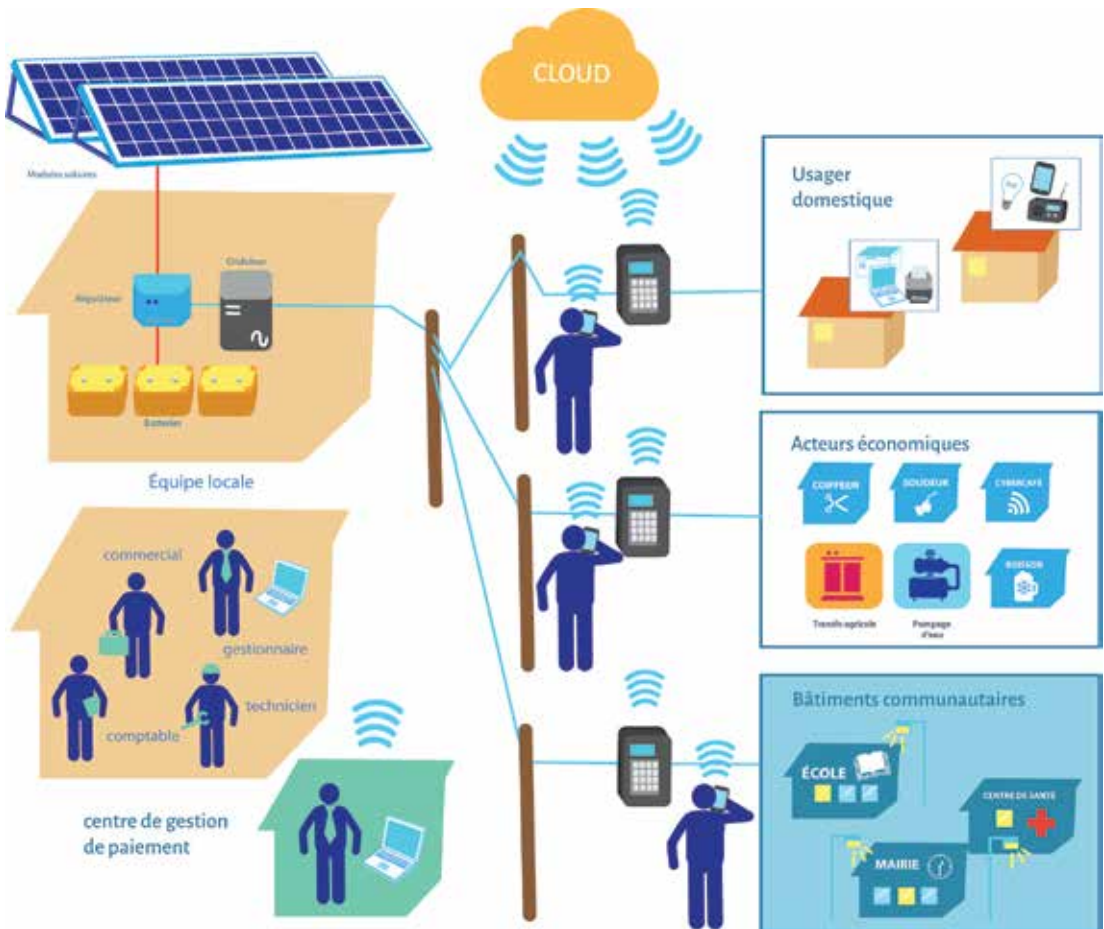
Miniréseau basse tension à Madagascar.

Actuellement la production est marquée par la domination du solaire.

Même si d'autres sources d'énergie renouvelable sont envisageables pour la production d'électricité par miniréseau, le solaire photovoltaïque prédomine, du moins pour l'heure. Au-delà d'une baisse des coûts expliquant sa rapide banalisation, le photovoltaïque bénéficie d'un gisement relativement constant et abondant sur l'année, et particulièrement en Afrique de l'Ouest (cf. chapitre 1.1.2.). Le générateur est parfois associé à un groupe électrogène d'appoint, lorsque nécessaire, pour en faire un système hybride.

1. Julien Cerqueira, Juliette Darlu, Rija Randrianarivony et Théo Grondin, "Des turbines et des hommes, quelles coalitions d'acteurs pour l'électrification rurale à Madagascar ? Retour d'expériences du projet Rhyviere" (Paris : Éditions du Gret, 2019). Une synthèse sous forme d'étude de cas est également disponible sur le site web de l'ouvrage.

Principe d'un miniréseau solaire



Source : Fondation Energies pour le Monde.



© Fondation Énergies pour le Monde

Préparation des interfaces pour le raccordement des usagers



© Fondation Énergies pour le Monde

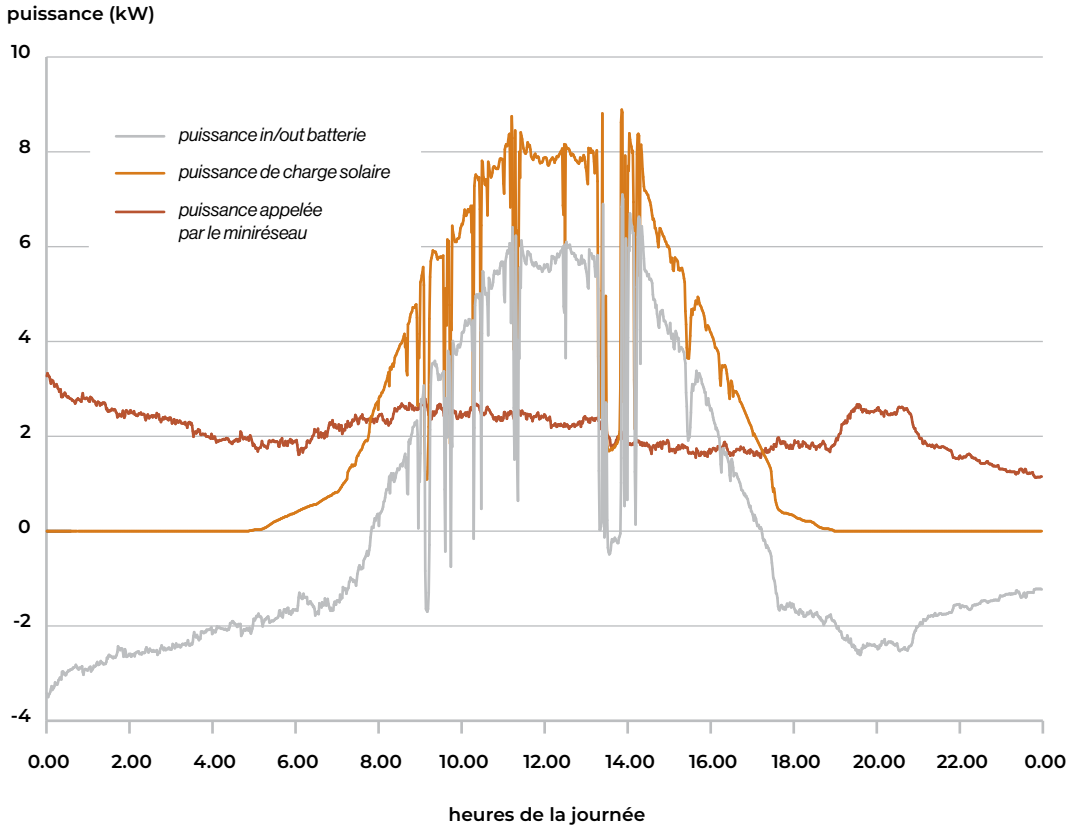
Les batteries sont vérifiées quotidiennement par l'équipe exploitante de la centrale

Les deux particularités de la production par source solaire.

Si le principe de fonctionnement d'un générateur solaire est le même que celui des petits systèmes (cf. chapitre 3.1.), deux points spécifiques au mini-réseau méritent d'être soulignés :

- l'électronique de régulation et de conversion est plus complexe, car elle doit répondre à des problématiques différentes du fait de la diversité des récepteurs électriques connectés au miniréseau ;
- concernant les batteries, les accumulateurs au plomb restent les plus utilisés, mais le lithium, aux côtés d'autres technologies innovantes, prend progressivement une place qui devrait, à terme, être prépondérante, particulièrement pour les solutions containérisées.

Exemple des flux de puissance sur un miniréseau de 10 kWc, journée type de 24 heures



Source : Fondation Energies pour le Monde.

Les systèmes hybrides : la voie étroite d'une certaine souplesse

S'il est relativement simple d'estimer les besoins en électricité d'un ménage pour dimensionner un SSI domestique, modéliser la demande en électricité d'une communauté rurale et anticiper son évolution n'est pas évident.

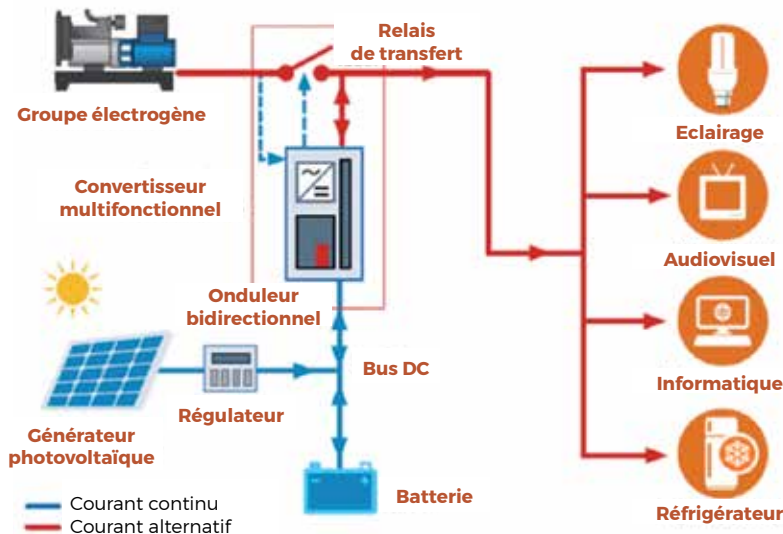
Combien de ménages se raccorderont au miniréseau ? De nouvelles activités économiques consommatrices d'électricité vont-elles apparaître ? Quelle sera l'évolution de la demande dans le temps ? Ces questions doivent être impérativement posées en amont de la conception d'un miniréseau. Le dimensionnement correct d'une centrale solaire alimentant un miniréseau s'appuie

en effet sur l'évaluation de la demande prévisionnelle actuelle et future, elle-même fortement dépendante de plusieurs éléments, plus ou moins maîtrisables par les concepteurs du projet :

- la politique tarifaire envisagée ;
- les limitations techniques imposées aux consommateurs (la qualité du gisement local et la puissance du système de production installé limitent la quantité d'électricité disponible pour les usagers ; cf. encadré) ;
- les possibilités de développement économique de la zone.

En revanche, certains facteurs techniques, climatiques, sociologiques ou politiques sont plus évanescents. Dans un contexte rural où on ne

Système hybride avec convertisseur multifonctionnel monophasé



Source : Gérard Madon.



Bien comprendre les limites énergétiques d'une centrale solaire (ou éolienne) par rapport à une centrale thermique (alimentée par groupe électrogène)

Un **groupe électrogène** de 100 kVA (80 kW) installé pour alimenter un miniréseau dispose d'une capacité en puissance instantanée de 100 kVA, en théorie toute la journée, soit une quantité d'énergie électrique restituable proche de 2000 kWh chaque jour. En pratique, le groupe tournera de 30 % à 70 % de sa puissance maximale en fonction de la courbe de charge du village, qui dispose ainsi d'une réserve énergétique importante. Si les besoins en électricité en journée sont amenés à doubler, le groupe suivra et consommera deux fois plus de carburant.

Une **centrale solaire** de 100 kWc pourra également, si les onduleurs le permettent, disposer d'une capacité de puissance instantanée de 100 kVA, mais ne pourra restituer sur une journée ensoleillée que 300 à 400 kWh, et 10 fois moins par temps pluvieux. Ce système ne disposant pas de réserve, les besoins journaliers en électricité du site à alimenter doivent rester en deçà des capacités de production quotidiennes, qui sont figées. Si le système est sollicité pour plus d'énergie, il se mettra en sécurité et s'arrêtera automatiquement.

dispose que rarement de statistiques fiables, il est difficile d'écarter l'incertitude de l'équation du dimensionnement.

L'hybridation, association d'un groupe électrogène à une centrale solaire autonome, permet justement de pallier en partie la variation de la demande en électricité. Le groupe électrogène prendra le relais de la centrale solaire :

- en cas de forte demande ponctuelle, voire de manière plus systématique si la demande a progressé au-delà des prévisions ;
- pendant une période d'absence prolongée de soleil ;
- en cas de défaillances des équipements photovoltaïques.

Sa présence permet également de réduire le parc d'accumulateurs (le groupe électrogène peut être activé le soir pour préserver les batteries), dont le coût pèse significativement sur

l'investissement initial et les charges d'exploitation (renouvellement).

Mais cette flexibilité a un prix : chaque kWh additionnel produit par le groupe électrogène coûte plus cher à l'opérateur que les kWh solaires... et émet des gaz à effet de serre, pénalisant le bilan environnemental de l'ensemble.

D'autres hybridations, associant plusieurs sources différentes, éolien/solaire, hydro/solaire sont possibles. Très stimulants pour les ingénieurs et les développeurs de logiciels de conception, ces systèmes se heurtent à leur cherté et à une forte complexité opérationnelle, qu'il est nécessaire d'anticiper.



Pour en savoir plus sur les systèmes hybrides

Il existe près d'une dizaine d'architectures électriques de couplage de puissance et de gestion différentes pour les systèmes hybrides.

L'ouvrage de Gérard Moine, *L'Électrification solaire photovoltaïque*, résume très bien les différentes modalités techniques de conception et de fonctionnement des centrales hybrides, en plus d'être l'ouvrage de référence technique sur tous les aspects de conception et d'exploitation des systèmes photovoltaïques autonomes.

Retrouvez tous les documents utiles dans la bibliographie en fin d'ouvrage.

La distribution de l'électricité repose sur les mêmes fondamentaux techniques qu'un réseau classique.

Physiquement, un miniréseau est composé d'un ensemble de supports (poteaux) et de conducteurs (câbles) permettant de distribuer l'électricité de la source de production aux points de consommation. D'une longueur comprise entre 1 et 10 km en moyenne, un miniréseau basse tension (BT) rural ne présente pas de différences significatives avec une antenne BT d'un réseau urbain.

Pourtant, les contraintes techniques et financières du milieu rural rendent certains choix plus difficiles ; ainsi pour les supports, pour lesquels il faut arbitrer entre longévité et prix :

Les poteaux en bois, les plus utilisés en milieu rural subsaharien, doivent recevoir un traitement antipourrissement de leur partie enterrée, qui n'est pas toujours synonyme de durée de vie satisfaisante. Il faut s'assurer de la provenance des poteaux (forêt correctement gérée) mais aussi de la qualité de leur traitement, opération parfois complexe lorsqu'ils sont fabriqués localement. Pour limiter les risques, les concepteurs recourent de plus en plus aux poteaux normalisés en provenance d'Europe ou d'Afrique du Sud.

Les poteaux en béton armé, majoritaires dans les pays industrialisés, sont plus onéreux mais ont l'avantage de pouvoir être fabriqués sur site lorsque l'acheminement de matériel est difficile. La qualité des matériaux et la provenance du sable et des fers utilisés doivent être attentivement vérifiées.

Les poteaux en acier galvanisé, plus onéreux, offrent une très bonne robustesse et une flexibilité d'usage. Moins ancrés dans les pratiques de l'ERD que les solutions traditionnelles, ils sont pourtant adaptés aux caractéristiques des miniréseaux ruraux (faibles hauteurs, conducteurs de faible section au poids compatible avec la capacité de résistance mécanique des poteaux).

La complexité principale de conception d'un miniréseau ne réside pas dans le choix des matériaux ou le dimensionnement des lignes. De nombreux outils de calcul normalisés, inspirés de ceux utilisés pour dessiner les réseaux urbains, apportent des réponses précises.

Le parcours d'implantation au sein d'une localité est en revanche un exercice subtil, et capital pour l'acceptation du projet par les populations. Il laissera nécessairement des habitations non desservies, qu'une solution d'électrification complémentaire devra satisfaire.

L'interface avec le client final, créée par le raccordement, constitue un point névralgique du dispositif d'exploitation.

Le dernier maillon technique d'un miniréseau est le raccordement des utilisateurs – que la pratique a décidé de classer en trois catégories (domestiques, économiques, communautaires). Cette interface entre le miniréseau et l'utilisateur est essentielle à l'équilibre social, économique et fonctionnel de l'ouvrage.

Un miniréseau solaire, conçu pour délivrer quotidiennement une quantité d'énergie électrique finie, doit être en mesure de maîtriser les consommations de chaque usager. Même si une tarification dissuasive peut servir de régulateur naturel, un miniréseau solaire conçu pour alimenter une dizaine d'acteurs économiques « productifs » ne pourra pas techniquement satisfaire la demande d'une dizaine d'activités supplémentaires.



Poteau dont le bois est pourri.

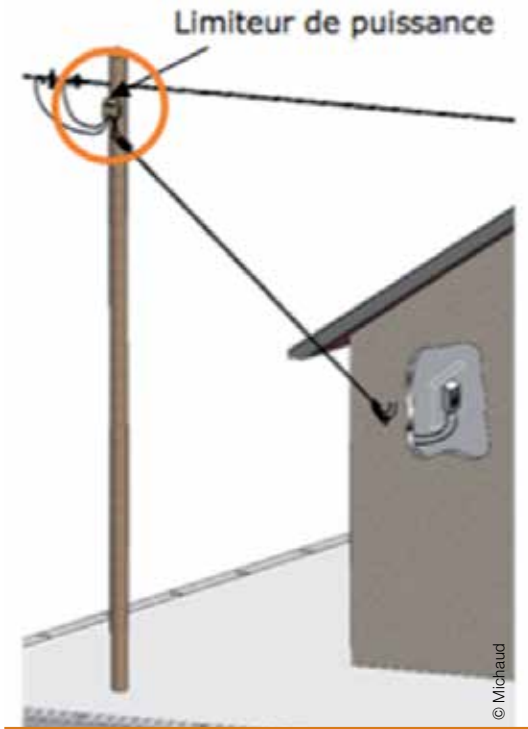


Poteau en béton.

L'interface avec le client joue plusieurs rôles essentiels.

C'est via le boîtier fixé chez l'abonné, principal outil de communication entre l'opérateur et l'utilisateur, que s'organise la maîtrise de la puissance d'utilisation et de la quantité d'énergie consommée. Au-delà de l'échange d'informations sur la consommation, les dispositifs qu'il inclut garantissent le respect des clauses contractuelles de l'abonnement et protègent l'installation électrique, et donc les biens et les personnes.

Pour limiter la puissance d'utilisation, on peut installer des fusibles ou des disjoncteurs classiques, mais leurs seuils de déclenchement ne sont pas précis, et leur temps de réaction est



Limiteur.



Limiter la puissance utilisable : ménage vs acteur économique

On pourra limiter la puissance utilisable d'un ménage à 200 W, évitant ainsi qu'il utilise des appareils électroménagers, et calibrer ce même limiteur à 2 500 W pour un atelier de menuiserie.



Limiter la quantité d'énergie consommée : ménage vs acteur économique

On pourra plafonner cette valeur à 0,5 kWh pour un ménage peu équipé (avec une puissance maximum de 200 W), en lui attribuant en retour un tarif du kWh bas, et calibrer le même dispositif à 3 kWh par jour pour un acteur économique (avec une puissance maximum de 2 500 W), avec un tarif du kWh différent.

souvent supérieur à celui des onduleurs de production (déclenchement électronique). Il existe de plus en plus de limiteurs électroniques de puissance performants, rapides, réglables et abordables (quelques dizaines d'euros), qui permettent d'équilibrer la charge au regard de la capacité de production des centrales. Ils se déclenchent chez l'utilisateur si celui-ci utilise un récepteur inadapté.

La quantité d'énergie électrique consommée par jour doit elle aussi être circonscrite, car elle est limitée par la source elle-même. Certains limiteurs de puissance disposent de limiteurs d'énergie : sur une base de 24 heures, ils « laissent passer » une quantité finie de kWh chez l'utilisateur. D'autres équipements, comme les interrupteurs horaires, permettent de limiter le fonctionnement du service à certaines plages seulement et d'optimiser la capacité de production par rapport aux besoins des usagers. Il est ainsi possible d'accroître le nombre d'acteurs économiques à forte demande raccordés au miniréseau en répartissant leur utilisation du service entre la

matinée et l'après-midi, pendant la période de fort ensoleillement.

L'interface client doit également rassembler les dispositifs de protection des personnes et des biens : l'électricité distribuée par un miniréseau solaire de quelques kW est tout aussi mortelle que celle distribuée en ville. On retrouvera ainsi un minimum de dispositifs de protection : disjoncteurs, protection différentielle le cas échéant. Enfin, le dispositif doit être compréhensible par l'utilisateur. Il est important de diffuser une notice illustrée sur le fonctionnement du service, ses limites et ses risques, en plus des campagnes



Interface client installée dans le cadre du projet Pehgui, en Guinée.



Le problème des disjoncteurs sur les miniréseaux autonomes

Par habitude, les interfaces clients de nombreux miniréseaux sont équipées de disjoncteurs classiques (comme en ville...), dont la fonction est de déconnecter la charge en cas de surintensité (utilisation d'un appareil trop puissant) ou de court-circuit franc (récepteur électrique en défaut) dans une habitation. Cependant, les temps de réponse de ces dispositifs de coupure, conçus pour les réseaux urbains, sont la plupart du temps plus longs que la coupure de protection électronique au sein des onduleurs de la centrale.

Par conséquent, en cas de défaut franc chez un usager, ce n'est pas le disjoncteur qui ouvre mais toute la centrale qui se met en défaut ! Elle ne pourra redémarrer qu'une fois le défaut corrigé. Mais comment trouver l'origine du court-circuit parmi plusieurs centaines d'usagers raccordés ? L'exercice peut prendre plusieurs heures, si toutefois un opérateur technique compétent est immédiatement mobilisable localement.

Cet exemple, parmi tant d'autres, doit faire réfléchir les concepteurs qui seraient tentés de restreindre au maximum la présence d'un opérateur technique compétent sur site.

de sensibilisation. Pour prévenir la fraude, notamment s'il n'y a pas d'opérateur physique sur site, on peut envisager le plombage ou tout autre dispositif de protection posé sur le boîtier. La sensibilisation et l'exemplarité de certains consommateurs sont également des facteurs de cohésion et d'adhésion aux règles du jeu (cf. chapitre 3.5.3.).

Le comptage de l'énergie électrique reste la clé de voûte de la facturation et de l'équilibre économique d'un miniréseau.

Les premiers miniréseaux ont été équipés de compteurs électromécaniques classiques, à l'instar des réseaux urbains. Robustes et normalisés, ils assurent un comptage précis de l'électricité consommée par le client et permettent une facturation au réel : en pratique, l'usager paie a posteriori les kWh qu'il a consommés sur la période passée.

Au-delà des problématiques de recouvrement (cf. chapitres 2.4.4.), ce dispositif, toujours répandu, tend à être rapidement remplacé par les systèmes de prépaiement, dont les récents progrès permettent la diffusion au sein des miniréseaux ruraux.

Simple et ergonomique, le prépaiement se diffuse largement.

Répondant aux habitudes de consommation pay as you go qui se sont ancrées avec l'essor de la téléphonie mobile en Afrique, le prépaiement du service électrique est d'un principe simple : un crédit de kWh est acheté à l'avance puis consommé.

Très répandu dans de nombreuses capitales africaines, ce système limite théoriquement la fraude et assure le paiement de l'électricité effectivement consommée :

- dans les systèmes simples, l'utilisateur du miniréseau se procure un code (qui correspond à un



Parole de professionnelle Camille André-Bataille

Eosol développe et exploite des miniréseaux solaires à Madagascar en utilisant des systèmes de prépaiement connectés. Au-delà du recouvrement des paiements, quels sont les avantages de ces systèmes numériques ?

« L'utilisation d'une solution de comptage et de monitoring intelligente et accessible à distance est un atout indéniable ; elle constitue à la fois un outil de suivi et d'analyse, et un outil d'aide à la prise de décision. Ces systèmes permettent de proposer plusieurs tarifications et des modalités de paiement modernes et adaptées au contexte rural (prépaiement, post-paiement, échéancier), mais surtout d'effectuer un suivi et une analyse de la consommation en temps réel et en cumulé (selon plusieurs indicateurs comme le type d'usager, le type de connexion, la période, la fréquence, etc.). Nous pouvons ainsi anticiper les besoins techniques (extension) ou commerciaux (action ou sensibilisation ciblée, offre incitative, événements marketing, etc.). L'objectif est de fournir des services de qualité tout en assurant la performance économique du modèle. »

Camille André-Bataille, ingénieur et économiste de l'énergie et des projets bas carbone, œuvre depuis cinq ans pour l'ERD et l'émergence de communautés rurales fortes à Madagascar et en Afrique.

Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>

crédit de kWh ou à un crédit de temps) et le saisit sur son compteur. Ce dernier s'active, il informera l'usager lorsque la fin de son crédit sera proche, afin qu'il se procure une nouvelle recharge ;

- dans les miniréseaux récents et en cours de développement, plus sophistiqués, la codification n'est plus manuelle mais pilotée à distance grâce aux compteurs intelligents, déjà utilisés par les opérateurs PAYG (cf. chapitre 3.2.2.).

Mais dans la réalité, l'application de cette innovation aux miniréseaux n'est pas si simple :

- la mise en place du dispositif est parfois absurde : certains ménages ruraux consommant moins de 0,1 kWh/jour, il arrive que le compteur intelligent soit le premier poste de consommation, devant

les récepteurs. Ce point de détail, souvent négligé, peut perturber l'équilibre énergétique du miniréseau dans son ensemble ;

- son utilisation s'avère coûteuse pour les petits exploitants : la mise en place d'un dispositif de prépaiement à l'électronique complexe, plus fragile que celle d'un compteur traditionnel, exige la présence sur site de matériel informatique, d'une connexion Internet, de personnel compétent et, souvent, du paiement d'une licence annuelle. Envisageables pour un opérateur gérant plusieurs miniréseaux et des milliers d'usagers, ces investissements connexes sont économiquement impossibles pour une installation isolée de quelques centaines de clients.



Exemple de compteur utilisé pour le prépaiement de l'électricité

Exemple de compteur intelligent adapté aux miniréseaux ruraux

Vers la ligne électrique



Fixer à un poteau
ou à un bâtiment

Vers le câblage domestique

Source : Spark Meter, <https://www.sparkmeter.io/>.

Cela dit, le prépaiement restant la solution technique la plus robuste pour pallier le problème de recouvrement et renforcer l'équilibre économique des exploitants, des industriels ont développé des solutions intégrées de comptage intelligent spécialement conçues pour les miniréseaux ruraux.

Peu coûteuses et peu consommatrices, elles offrent plusieurs options cohérentes avec les contraintes du terrain : limitation de puissance et d'énergie, prépaiement, compteurs connectés, tarification selon plusieurs plages horaires, facturation au nombre de kWh ou au forfait temps, etc.

Fonctionnant avec des logiciels dits « propriétaires », souvent soumis à un abonnement et à un système de gestion spécifique, elles empêchent cependant l'opérateur d'évoluer vers une autre solution, contrairement à la codification STS, plus évolutive et ouverte à de multiples compteurs certifiés (cf. encadré).

A ce jour, la solution technique idéale pour la gestion d'un miniréseau n'existe pas. Il serait judicieux de partager collectivement les retours des diverses expériences conduites, afin d'orienter la profession vers une standardisation des interfaces. Mais la percée de plusieurs dizaines de nouveaux acteurs, sans concertation ni régulation, semble écarter une telle perspective à court terme.

En revanche, il est d'ores et déjà possible de tirer de nombreuses leçons des projets de miniréseaux conduits depuis plusieurs décennies par les acteurs historiques de l'ERD. ●



Prépaiement : la codification Standard Transfer Specification (STS)

La norme STS définit le cadre technique d'un système sécurisé de transfert d'information entre un point de vente et un compteur d'électricité.

Elle est administrée par l'association internationale STS, basée en Afrique du Sud et cofondée par plusieurs constructeurs de compteurs électriques, qui est garante des licences STS accordées aux fabricants pour des compteurs testés et validés en laboratoire. Elle référence également les opérateurs utilisant ces matériels et leur fournit les clés de cryptage spécifiquement conçues pour chacun.

Le système STS garantit d'abord l'interopérabilité entre les composants des systèmes produits par divers fabricants de compteurs prépayés et des systèmes de vente conformes aux normes STS. De cette façon, l'opérateur n'est pas tributaire d'un seul fabricant : en cas de défaillance de matériel, d'interruption de production ou de tarif devenu prohibitif, il peut se tourner vers un autre fournisseur titulaire d'une licence STS sans modifier son infrastructure actuelle.

Le deuxième atout de la licence STS est de rendre impossible la fraude et le marché noir de crédits d'énergie. Chaque jeton généré par l'opérateur à la demande de l'abonné sera valable uniquement sur le compteur de cet abonné et encodé de manière à ce qu'il soit infalsifiable (impossibilité de modifier les informations comme le montant alloué ou les paramètres de réglage du compteur). En outre, en cas de vol de ticket, de compteur, ou des serveurs et boîtiers de cryptage, les jetons générés ne sont utilisables ni sur d'autres compteurs, ni chez un autre opérateur.

Ces services, payants, doivent être pris en compte dans le plan d'affaires de l'opérateur.

Ce dernier doit s'acquitter de l'achat minimal chaque année de 10 000 jetons, pour un prix de 140 USD.

3.5.3.

Les miniréseaux ruraux par EnR : retour d'expériences et pistes de réflexion.

Du ciblage territorial à l'entretien des infrastructures électriques, de la tarification à la sélection de l'exploitant (ou opérateur), ce chapitre explore, de manière synthétique et sans prétendre à l'exhaustivité, les différents facteurs à prendre en considération pour réussir la conception, la réalisation et l'exploitation d'un ou plusieurs miniréseaux concertés.

Illustré d'exemples et de retours de terrain concrets, il vise à valoriser les pratiques susceptibles de pallier les défaillances des modèles existants et à partager les multiples questions que soulève un schéma d'électrification qui n'est pas encore pleinement mature.

Les raccourcis de la planification : quels critères pour déployer un miniréseau ?

Les premières études de planification d'électrification de grande ampleur réalisées en Afrique datent du début des années 2000, lorsque le déploiement de miniréseaux diesels s'est opéré sous l'égide de la Banque mondiale, avec la contribution des agences d'électrification rurale nouvellement créées. Procédant parfois d'analyses trop macroscopiques ou trop rapides, ces études envisageaient plusieurs « schémas » d'électrification rurale pour un territoire, mêlant plusieurs types de solution : SSI pour l'habitat dispersé, extension de réseau pour les localités proches des villes électrifiées, miniréseaux pour les localités rurales à forte densité.

Aujourd'hui encore, certains rapports d'étude de planification tiennent pour acquises la solidité technique des solutions envisagées, la capacité

des opérateurs locaux à en assurer une exploitation pérenne ou encore la capacité des entités institutionnelles à en garantir une supervision régulée. Selon cette conception, l'option des miniréseaux doit être retenue lorsque les conditions suivantes sont réunies :

- une population significative et une densité de l'habitat élevée ;
- un potentiel de croissance économique significatif (agriculture de transformation, tourisme, pêche) ;
- une « richesse locale », synonyme de capacité à payer le service électrique.

Or les praticiens et les observateurs de terrain décrivent une réalité bien différente : la corrélation entre la capacité théorique d'un territoire à se doter d'un miniréseau et la pérennité effective de l'ouvrage n'est pas démontrée. Cette pérennité procède d'un équilibre plus complexe.

Faire le choix de déployer un miniréseau sur un territoire exige une approche fine, multidimensionnelle, patiente. Le porteur du projet doit prendre le temps nécessaire pour se forger des convictions sur les points suivants :

- le niveau réel d'acceptation des futurs abonnés, au-delà du « oui » apparemment unanime que suscite l'annonce d'un projet d'électrification ;
- la nature de la demande en électricité et les possibilités de sa progression ;
- les capacités réelles d'appropriation locale ;
- les capacités et la propension à payer le service de l'électricité ;
- les impacts sociologiques et économiques de l'arrivée de l'électricité.

La sélection d'un territoire : un processus long, complexe et parfois décourageant pour les populations.

Depuis plusieurs générations, les communautés rurales d'Afrique subsaharienne voient défiler les ONG, les bailleurs de fonds institutionnels et les sociétés étrangères, qui formulent des promesses d'infrastructures dans des secteurs divers (santé, éducation, agriculture, eau...), rarement tenues.

Or, mettre en œuvre un miniréseau prend du temps : deux à cinq ans s'écoulent en moyenne entre l'identification d'un site, les premières études et la mise sous tension du réseau. Incompréhensibles par des populations locales, ces délais pénalisent la crédibilité des porteurs de projet et des autorités nationales, et ils découragent les futurs usagers (à qui l'on demande souvent une contribution comme preuve de leur intérêt ou de leur engagement à se raccorder ultérieurement).

La méfiance, parfois, s'installe. Enquêtes socio-économiques, études d'emplacement des ouvrages, plans de réseau... il est fréquent que l'implication des communautés locales dans ces travaux préalables, indispensable à la réussite du



Négociations pour le terrain, à Kouramangui (Guinée).



Retour de terrain

En Guinée, lors de l'électrification d'un village par centrale solaire hybride, près de deux ans d'études préalables ont donné lieu à l'identification d'un terrain pour la construction de la centrale et à un tracé du réseau prévoyant des poteaux implantés sur des propriétés privées.

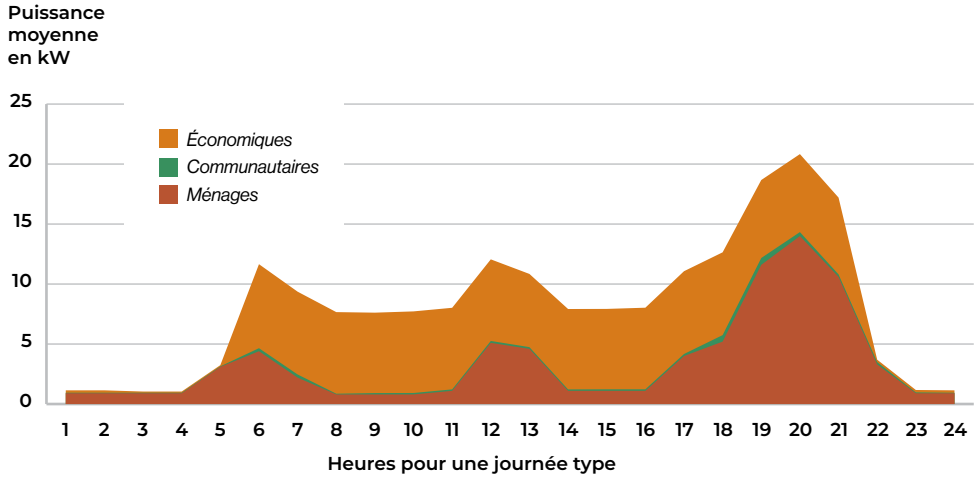
N'accordant que peu de confiance au porteur du projet, les populations et les autorités locales avaient attribué, pour lui donner satisfaction, des parcelles de terrain censées appartenir à la commune. Plusieurs mois après, lorsque l'entreprise de génie civil est arrivée dans la localité pour démarrer les travaux, l'ensemble des terrains concédés a été remis en question et plusieurs journées de discussion ont été nécessaires pour trouver de nouveaux accords.

projet, s'avère insuffisante. Souvent, les études sont à reprendre une fois que les populations ont la preuve tangible que leur localité va être électrifiée. Entre les premières enquêtes socio-économiques et la mise en service d'un miniréseau, le contexte local a également évolué : des ménages se sont équipés de SSI, des acteurs économiques à fort potentiel ont changé d'emplacement ou d'activité ou une échéance électorale a modifié l'adhésion des autorités au projet.

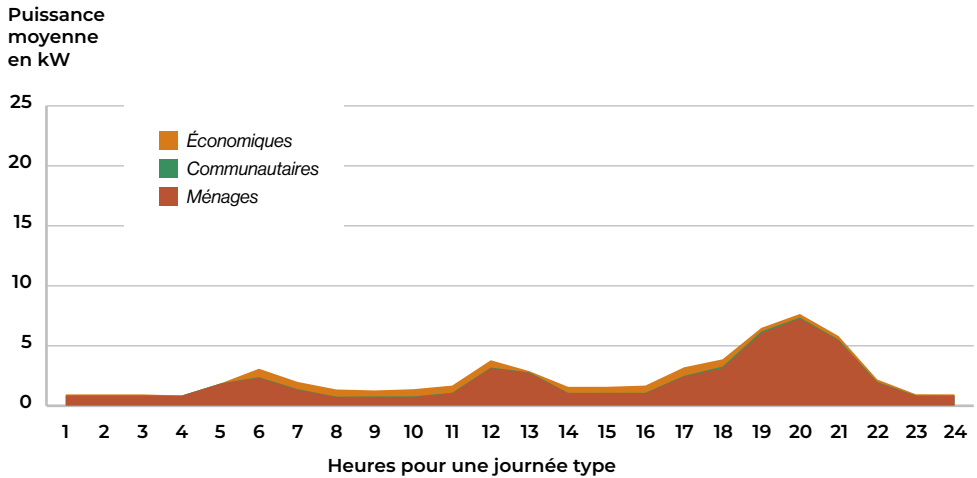
La solidité des liens tissés durant cette longue période de maturation ne se révèle généralement qu'une fois les premiers poteaux dressés.

Exemple de courbe de charge : scénario maximum vs scénario pondéré

**SCÉNARIO 100 % CONNECTÉS - ANNÉE 1
COURBE DE CHARGE « MOYENNE » RECONSTITUÉE**



**SCÉNARIO PONDÉRÉ - ANNÉE 1
COURBE DE CHARGE « MOYENNE » RECONSTITUÉE**



Source : Fondation Energies pour le Monde.

L'analyse de la demande, un exercice complexe.

Les composants d'une centrale solaire, figés pour environ dix ans, déterminent la quantité d'énergie disponible quotidiennement. Dès lors, comment prévoir la nature de la demande en électricité d'une localité rurale de plusieurs milliers d'habitants n'ayant aucun usage préalable de l'électricité ? Comment estimer l'évolution de cette demande à horizon dix ans ? L'exercice, qui paraît impossible, est pourtant indispensable.

Enquêtes socio-économiques détaillées, utilisation de ratios standards basés sur les retours d'expérience, approche macroscopique et statistique... il est intéressant de constater que ces différentes méthodes aboutissent, si elles sont bien conduites, à des résultats globalement cohérents, matérialisés par la courbe de charge d'un village.

Mais cette courbe seule ne fournit qu'une information partielle et insuffisante à l'évaluation de la demande. Quelques questions simples permettent de comprendre à quel point l'incertitude est grande, en Afrique subsaharienne comme ailleurs :

- quel sera le nouveau comportement énergétique des ménages ? Leur adhésion au service électrique rendu par le miniréseau dépendra-t-elle de son tarif (non défini à ce stade du projet) ? Vont-ils réellement renoncer à l'utilisation des lampes solaires ou des bougies ? ;
- les foyers s'équipent massivement de SSI, connectés ou non. Quelle sera leur attitude en présence d'un miniréseau ? ;
- il y a dix ans, qui aurait pu prédire que l'on pourrait éclairer correctement avec quelques watts électriques ? Quelle sera la consommation électrique des éclairages et équipements multimédias du futur proche ? ;
- l'arrivée de l'électricité dans un village isolé fait évoluer les comportements. Aura-t-elle une

incidence démographique ? Va-t-elle vraiment stimuler l'emploi ? ;

- les acteurs économiques, notamment ceux à forts besoins énergétiques (artisanat, transformation agricole), assurent une part majoritaire de la consommation électrique, et leur présence justifie parfois la mise en place du miniréseau. S'ils sont déjà équipés d'un groupe électrogène ou d'une machine thermique, deviendront-ils clients d'un service électrique distribué ? Comment s'en assurer ?



Impact économique d'un miniréseau : attention au mirage

On présuppose souvent que la présence d'électricité par miniréseau entraîne naturellement la création de nouvelles activités économiques à forte valeur ajoutée. Les retours d'expérience démontrent que ce n'est majoritairement pas le cas.

Plutôt que d'imaginer la création de telle ou telle activité, il vaut mieux observer les activités économiques des villes avoisinantes déjà électrifiées.

Retour de terrain, Mauritanie

Un village de Mauritanie électrifié par miniréseau diesel depuis 2010, hybridé en 2014 par un parc photovoltaïque et des éléments de stockage, alimente une localité d'environ 2500 personnes, avec environ 300 clients raccordés.

Le nombre de raccordements, deux ans après la mise en service, est resté stable, la consommation d'électricité a baissé de 8 % (constat réalisé par l'opérateur) entre 2012 et 2017, pour atteindre environ 0,3 kWh/clients/jour, tous secteurs confondus.

Retour de terrain, Madagascar

A Madagascar, alors qu'un miniréseau solaire hybride est installé dans une localité rurale à forte activité rizicole, les propriétaires des trois décortiqueuses de riz existantes (15 kW chacune) ont décidé de ne pas se raccorder au réseau.



© Fondation Énergies pour le Monde

Décortiqueuse.

Les raisons évoquées étaient tout à fait compréhensibles.

Du point de vue de l'utilisateur :

(i) décortiqueuse à moteur thermique déjà investie, fiable et robuste, (ii) pas envie d'externaliser l'approvisionnement énergétique de l'activité. Que se passe-t-il si la centrale est en panne le jour où l'on doit décortiquer presque 24 heures sur 24 ?

Idem, du point de vue de l'opérateur du

miniréseau : concevoir une centrale pouvant accueillir quelques mois par an une ou plusieurs décortiqueuses consommant à elles seules en une journée l'équivalent des besoins en électricité de tout le village exigerait un besoin de surcapacité de production qui resterait non utilisé le reste de l'année.

Ainsi, ce sont davantage l'expérience du porteur de projet, sa connaissance fine des facteurs socio-économiques locaux, l'analyse des retours d'expérience menés à proximité du site et la reconnaissance d'une marge d'incertitude qui doivent guider la conception d'un système décentralisé d'électrification.

La définition du périmètre réseau, entre pragmatisme et contingences politiques.

La notion de « périmètre réseau » s'entend comme la zone de couverture, le territoire au sein duquel tout bâtiment pourra être raccordé au futur réseau de distribution. Comment le définir précisément, compte tenu des intérêts divergents des parties en présence ?

- **Du point de vue de l'investisseur/opérateur :** le pragmatisme commande de tirer des lignes en fonction des seuls points de consommation cohérents (lieux d'activités économiques, zones à forte densité d'habitations ou situées le long des principaux axes de circulation).
- **Du point de vue du régulateur :** rien ne vient a priori justifier l'exclusion de certaines habitations ou de bâtiments publics du périmètre réseau, même s'ils sont de très faibles consommateurs et de mauvais payeurs (cf. encadré).
- **Du point de vue des populations locales :** le périmètre doit être le plus large possible et tenir compte des hiérarchies locales, passer par certains foyers « stratégiques » (notables, chefs traditionnels ou religieux, élus ou anciens élus, proches de politiciens engagés au niveau national, membres importants de la diaspora, etc.), afin d'assurer la stabilité et la cohésion sociale de l'opération. Le pouvoir des hiérarques n'est pas sans influence sur le respect des règles et l'équilibre économique de l'opération.

Définir un périmètre réseau est donc un exercice délicat, nécessitant diplomatie et flexibilité : entre les premières études de dimensionnement et la pose des équipements, des modifications significatives sont inévitables.



Exemple de traçage de réseau.

Rouge : réseau primaire

Orange : réseau secondaire

Bleu : réseau tertiaire



Installation d'un miniréseau à Madagascar.



Infrastructures publiques : *in or out?*

Dans le cadre d'un projet d'électrification par miniréseau d'une localité rurale, il paraît logique, pour des raisons sociales, d'intégrer les bâtiments publics (écoles, centres de santé, édifices religieux...) au périmètre d'électrification.

En pratique, la situation est plus délicate et les opérateurs privés sont confrontés à plusieurs problèmes clairement identifiés. D'abord, les ouvrages sont souvent hors du centre de la localité, donc leur raccordement est onéreux. Par ailleurs, même si leur demande en électricité prévisionnelle est faible, ils ne disposent pas d'un budget de fonctionnement permettant le paiement régulier de factures d'électricité.

Il en résulte un difficile arbitrage entre paix sociale et rentabilité, qui n'est pas toujours en faveur des infrastructures publiques. En pratique, certains bâtiments à vocation communautaire ne sont in fine pas électrifiés.

Comment concevoir les organes de production ?

Première étape de la conception des organes de production, l'analyse énergétique des ouvrages permet de dimensionner les caractéristiques en puissance et en énergie des principaux éléments de la centrale. Le dimensionnement énergétique est basé sur les scénarios d'analyse de la demande, avec les incertitudes évoquées précédemment.

Le dimensionnement des principaux organes de la centrale est défini en confrontant la disponibilité de la ressource énergétique aux besoins en électricité exprimés : puissance crête PV (ou nominale d'une autre source), puissance des onduleurs, capacité du parc d'accumulateurs, puissance du groupe électrogène pour les systèmes hybrides.

Aux incertitudes liées à l'évaluation des besoins viennent s'ajouter les aléas liés à la source :

- doit-on prévoir des périodes prolongées sans vent ou sans soleil, des périodes d'étiage du cours d'eau ? ;
- doit-on assurer un service continu toute l'année ou peut-on s'autoriser une adaptation de la durée de service journalier en fonction de la ressource renouvelable ? ;
- l'hybridation du système est-elle prévue pour un appoint quotidien ou pour des conditions exceptionnelles (forte période pluvieuse, demande en électricité exceptionnelle) ? ;
- quel sera le gisement du site dans les dix à vingt prochaines années ? Des évolutions notables sont-elles à prévoir ? Comment anticiper les effets du changement climatique, notamment sur le débit des cours d'eau ?

Ces arbitrages résultant du bilan énergétique sont délicats mais aussi déterminants : ils influent autant sur la qualité du service électrique que sur l'équilibre CAPEX/OPEX de l'opération. A partir

d'une même courbe de charge pour un site donné, il y aura autant de dimensionnements et d'équilibres CAPEX/OPEX qu'il y a d'ingénieurs, de méthodes d'analyse des contraintes ou de valeurs :

- une ONG assurant l'essentiel de l'investissement grâce à une subvention concevra un système solaire avec un parc batteries conséquent (CAPEX élevé) pour limiter les OPEX tout en maximisant la durée de vie de l'installation. Cela lui permet d'assurer un tarif de l'électricité abordable à tous les usagers, calculé sur la base des coûts d'exploitation uniquement ;
- à l'inverse, un opérateur privé réalisant les investissements cherchera à réduire la taille du parc batteries et des infrastructures en général pour limiter le CAPEX et le risque en capital ; le groupe électrogène devient alors rapidement un

appoint quotidien, ce qui complexifie techniquement et économiquement l'exploitation. En effet, le parc batteries est alors à renouveler plus régulièrement. D'où des exigences de rentabilité plus fortes afin de pouvoir réinvestir des sommes conséquentes dans le nouveau matériel.

Comment construire les miniréseaux ?

A partir des arbitrages énergétiques et du dimensionnement de l'unité de production et du miniréseau associé, le maître d'œuvre conçoit l'architecture globale du système électrique. A cette étape, il s'agit encore de trouver l'équilibre entre l'exigence de qualité (performance et durée de vie) et la cohérence économique (coûts d'investissement ajustés).

Si de nombreuses approches sont possibles, deux



© Fondation Énergies pour le Monde

Installation d'une minicentrale solaire au sud de Madagascar.



Solutions containerisées : quelle pérennité ?

Moins coûteuses et plus simples, mais aussi moins documentées, ces solutions sont trop récentes pour qu'on puisse tirer des conclusions sur leur adoption par les populations ou sur le respect des engagements contractuels en matière de garantie et de suivi des équipements par le constructeur.

Néanmoins, les systèmes containerisés/connectés reposent a priori sur une logique marchande, plutôt éloignée des fondamentaux de développement humain sur lesquels s'est constituée l'ERD et des bonnes habitudes mises en avant par les praticiens.

Certains pays d'Afrique de l'Ouest voient se construire de nombreux miniréseaux selon des périmètres définis à partir d'une photo satellite, livrés sur place « clés en main », sans présence d'opérateur sur site ni personnel de maintenance, sans sensibilisation préalable des usagers, sans transfert de compétences vers les acteurs locaux.

Dès lors, difficile de voir dans ces systèmes une solution d'avenir, en tout cas tels qu'ils se déploient aujourd'hui. Intégrer une logique d'appropriation locale obligerait à revoir leur modèle économique (intégrer des coûts d'accompagnement) et/ou à organiser différemment leur production (assemblage réalisé au Sud et non plus au Nord).

dominant actuellement :

- **la première, dans une démarche éprouvée, encourage un large transfert de compétences vers les acteurs locaux**, l'appropriation des technologies par les exploitants, le recours aux entreprises locales pour la construction, privilégiant les matériels et les composants disponibles et maîtrisés dans la région ;
- **la seconde, plus innovante sur le plan technologique, s'oriente vers des solutions « containerisées »** : des centrales de production sont conçues, assemblées et câblées dans les locaux du fournisseur (souvent européen), puis sont livrées « prêtes à l'emploi » sur le terrain. Monitorées à distance, les infrastructures électriques ne nécessitent aucune maintenance et n'exigent, à l'exception d'un gardien et d'un éventuel représentant commercial pour les premières connexions, pas de personnel local permanent. La gestion, grâce au prépaiement par *mobile money*, est entièrement dématérialisée. Éloigné de la réappropriation citoyenne du bien commun énergétique, et encore au stade expérimental, ce modèle doit prouver sa pertinence dans le temps (cf. encadré).

L'opérateur : un acteur essentiel, dont la qualité est déterminante pour la pérennité d'un miniréseau.

Il n'existe pas de définition de référence d'un « opérateur » d'un miniréseau. Intervenant selon diverses modalités, il joue un rôle central à toutes les phases du projet :

- de nature institutionnelle, associative ou privée, cadré ou non par un contrat d'autorisation, de concession ou d'affermage (il est alors délégataire de service public), l'opérateur est chargé d'exploiter les ouvrages d'électrification en place. Il est ainsi également désigné sous le terme d'« exploitant » ;
- qu'il soit ou non l'un des investisseurs des



Parole de professionnelle Elodie Hestin

Vous proposez des solutions dites « containérisées » avec des batteries li-ion. Beaucoup d'experts sont sceptiques sur la viabilité de ces systèmes dans des environnements climatiquement rudes et très enclavés. Quelle est votre position ?

« Au sein de la BU Energy Storage, nous avons mis en place une équipe technique entièrement dédiée à des projets "clé en main". Cette équipe est composée de spécialistes qui participent aux spécifications de solutions containérisées uniques. Ainsi, en basant les solutions sur une offre standard connue et testée, ainsi qu'en capitalisant sur notre expérience avec les solutions UPS (Uninterruptible Power Supply), les équipes prennent en considération les spécificités, notamment environnementales, de chaque projet afin de définir des climatisations, des peintures, des équipements de sécurité incendie... adaptés. De plus, étant en relation régulière avec les leaders mondiaux de fabrication de batteries, nous restons informés des évolutions en termes de mesures de sécurité. De cette manière, nous gardons la maîtrise de la solution fournie et nous nous assurons de sa viabilité. »

Elodie Hestin a une formation d'ingénieur ainsi qu'un master en management de l'innovation. Elle a rejoint Socomec en 2008 en tant que responsable produits de la gamme inverseurs de sources, puis en 2016 elle a intégré l'équipe Energy Storage Solutions. Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>

infrastructures dont il a l'usage et/ou la propriété, l'opérateur est garant de la production, de la distribution et de la fourniture de l'électricité et des services associés dans sa zone d'intervention.

En amont de l'exploitation du miniréseau, il facilite l'adhésion au projet et sa concrétisation.

S'il est déjà désigné, l'exploitant se doit de participer aux études initiales d'analyse de la demande et de dimensionnement des ouvrages ou, a minima, d'en valider les résultats. Son point de vue doit être pris en compte lors des arbitrages relatifs à la définition du périmètre d'électrification. En tant qu'interlocuteur privilégié des futurs abonnés,

il doit participer aux campagnes de sensibilisation et d'information, et veiller à l'acceptation et à l'appropriation des modalités du projet par les autorités locales, qu'elles soient élues ou traditionnelles.

Pendant les travaux, grâce à sa présence sur le site, l'opérateur doit s'assurer du respect des droits coutumiers et d'éventuelles contraintes foncières non identifiées en phase d'étude. Il doit enfin être un participant actif aux formations des fournisseurs d'équipements et aux réceptions sur site des ouvrages.

En phase d'exploitation, il porte une responsabilité opérationnelle étendue.

L'opérateur est d'abord garant du respect des engagements réciproques entre fournisseur du service et usager du service. Pour cela, il doit établir un lien fort avec les usagers :

- il s'assure de la bonne compréhension de la facturation par les usagers, quel que soit le schéma envisagé (post-paiement, prépaiement, forfait, abonnement) ;
- il veille à l'exemplarité des notables et acteurs publics de la localité quant au respect des consignes (les limitations en puissance et en énergie, la non-utilisation des appareils proscrits) et au paiement effectif du service ;
- il encourage les utilisateurs à se regrouper en comité d'usagers pour disposer d'un interlocuteur représentatif des abonnés, maintenir un dialogue permanent et constructif, rester à l'écoute d'éventuelles insatisfactions, et être en mesure d'ajuster l'offre si besoin (facilités de paiement en période de soudure, offre commerciale innovante, etc.) ;
- il dispose des pouvoirs et de l'autorité suffisants pour déconnecter des utilisateurs ne respectant pas les engagements contractuels ou fraudant, ce qui est gage d'exemplarité ;
- techniquement, il doit anticiper et comprendre les flux énergétiques de la centrale pour adapter le service et gérer les différentes sources de production (« responsabilité d'équilibre »).

La qualité de service, à laquelle participent la maîtrise de la consommation et la fiabilité des équipements, est un point clé de son intervention :

- l'opérateur contribue à la maîtrise de l'énergie consommée par les abonnés en proposant des services et produits adaptés : conseils d'utilisation, ampoules LED, téléviseurs et réfrigérateurs basse consommation ;

- il anticipe, par une épargne raisonnée, les dépenses liées aux renouvellements des composants en fin de durée de vie.

L'opérateur est également gardien du respect des règles de conformité et des informations indispensables pour envisager une extension ou un renforcement de capacité :

- il tient des registres clients et une comptabilité stricte, à disposition des autorités du secteur mais aussi des partenaires financiers ;
- il rend des comptes réguliers au maître d'ouvrage, aux investisseurs, et paie les taxes et redevances convenues dans son contrat d'exploitation.

Quels critères pour sélectionner un bon opérateur ?

Au regard des multiples tâches qui incombent à l'opérateur, sa sélection ne relève pas uniquement d'une expertise d'énergéticien :

- **l'opérateur doit disposer des compétences techniques nécessaires** pour comprendre le fonctionnement de la centrale, pour l'exploiter quotidiennement et assurer sa maintenance préventive. Il doit également disposer des relais techniques nécessaires pour gérer rapidement des pannes ou le remplacement de pièces défectueuses. Au cours du temps, l'opérateur doit assurer le raccordement des nouveaux abonnés à mesure que la demande croît ;
- **mais l'opérateur doit aussi être connu localement, apprécié et respecté** : son activité doit être comprise par la communauté comme procédant d'une logique de développement à long terme et non d'une logique opportuniste, au risque qu'il soit rapidement décrédibilisé auprès des usagers. Le degré de respect qu'inspire l'opérateur à ses interlocuteurs fait partie des critères clés de sélection.

L'opérateur réunissant toutes ces compétences et ces qualités est une perle rare, sans laquelle

il est impossible de parier sur la pérennité d'un miniréseau.

Les retours d'expérience semblent confirmer que l'exploitation est davantage pérenne lorsque l'opérateur participe aux investissements dans les ouvrages de production et/ou de distribution (modèle classique de mise en concession porté par les agences d'électrification rurale). L'appropriation des équipements et leur entretien seront d'autant plus rigoureux que l'opérateur en assume la propriété, voire qu'il est à l'origine des travaux de réalisation. Ceci confirme clairement l'approche très capitalistique des modèles d'électrification : un opérateur d'électrification rurale doit présenter un double profil d'investisseur et d'entrepreneur social, tout en respectant les règles d'un délégataire de service public.

L'implication des autorités locales et de la société civile : un pari coûteux mais payant.

« Implication de la population », « renforcement des capacités des parties prenantes locales »... ces termes se retrouvent dans toutes les publications des acteurs du développement et de l'accès à l'électricité. Banalisée, parfois dévoyée, la participation active des autorités locales et de la société civile reste déterminante pour la réussite d'un projet de miniréseau rural à court, moyen et long termes. Elle relève autant d'une approche anthropologique et sociologique structurée que du simple respect de l'autre et d'une bonne capacité d'observation et d'écoute (cf. chapitre 2.4.2.).

L'arrivée d'un miniréseau dans une localité ne peut s'envisager sans une concertation étroite avec l'ensemble des parties prenantes. Les informations qu'elles communiquent sont précieuses et leur influence est déterminante pour la pérennité du service de l'électricité :

- **les autorités régionales** : souvent dotées de moyens limités mais encouragées à assumer la décentralisation, elles doivent être informées dès les premières études préalables à l'installation d'un miniréseau et tout au long des étapes de sa réalisation. Leur soutien peut s'avérer essentiel pour prévenir ou dénouer des blocages relationnels ou politiques, identifier des risques cachés et informer sur les programmes d'infrastructures passés ou prévus dans la zone ;
- **les élus locaux** : premiers interlocuteurs de terrain pendant toutes les phases d'un projet, ils doivent en avoir parfaitement appréhendé et accepté les règles et les enjeux ; ils informent leurs administrés et doivent susciter leur adhésion aux modalités d'exécution du projet. L'implication du maire et de ses proches conseillers dans les différentes étapes est un excellent indicateur de cohésion locale, garante de la réussite de l'opération ;
- **les autorités informelles** : qu'elles soient religieuses ou coutumières, elles sont, par leur influence, un relais puissant auprès des futurs usagers. Souvent d'approche difficile ou peu enclins à la conversation, les notables n'apparaissent que dans un deuxième temps mais doivent être rapidement identifiés, car leur influence peut s'avérer décisive, particulièrement au sein des populations très enclavées. Un notable qui paie régulièrement l'électricité servira de modèle et sera gage d'autorité en appui à l'opérateur ;
- **les comités ou associations locaux** : ces structures clés du développement communautaire permettent de sensibiliser les usagers potentiels puis de mobiliser rapidement les volontaires au raccordement. Habitues à traduire les concepts économiques et commerciaux du Nord pour les populations rurales, elles relaient de manière adaptée les éléments clés du projet : calendrier, limites du service (puissance et énergie), tarification, modalités de paiement, coûts de raccordement,

responsabilités de chacun, etc. Par ailleurs, une association d'usagers de l'électricité est un excellent relais pour asseoir un dialogue constructif avec l'opérateur, tout en conservant aux autorités locales et aux élus leur rôle d'observateurs.

Ces démarches doivent s'inscrire dans la temporalité propre au milieu rural. Elles génèrent des besoins de financements additionnels mais leur impact positif sur la pérennité du modèle économique et la maîtrise des risques est indéniable.

Ne pas réaliser ce type de travaux préalables risque, à l'inverse, de coûter cher aux promoteurs de projets, lorsqu'il est trop tard pour une action ajustée et efficace.

Élément central du modèle économique, la tarification doit être adaptée et comprise par tous.

La bonne compréhension du service électrique et de la tarification associée est cruciale pour la réussite d'un projet de miniréseau. Elle n'est pourtant pas aisée (cf. chapitre 2.4.4.). En effet, les futurs usagers se réfèrent spontanément aux services et conditions des réseaux urbains : pas de

limitation d'usage, un service plus ou moins fiable, une facturation « abordable », voire inexistante. Deux éléments sont essentiels dans le cas d'un miniréseau :

- **le prix** : la viabilité du modèle économique d'un miniréseau, avec ou sans subvention, exige un tarif de vente du kWh plus élevé qu'en ville, pour les raisons déjà évoquées (cf. chapitre 3.5.1.) ;
- **le service** : généralement rendu 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 et de qualité, il sera limité individuellement en puissance, et parfois en quantité d'énergie journalière utilisable. Certains appareils énergivores ne pourront pas être utilisés, parfois l'opérateur imposera la vente de récepteurs (ampoules LED, téléviseurs à basse consommation).

Pour garantir l'acceptation des règles particulières au miniréseau, il est donc indispensable de transmettre un minimum de culture énergétique aux usagers : comprendre qu'une ampoule LED consomme dix fois moins qu'une ampoule à incandescence, que l'utilisation d'un poste à souder requiert un abonnement spécifique, etc.

Le temps consacré à cette sensibilisation en amont de l'installation du système est autant de temps épargné à corriger les problèmes de

Parole de professionnelle Juliette Darlu

Le secteur privé déploie d'importants moyens prospectifs dans le secteur des miniréseaux. D'après votre expérience, leur action menace-t-elle la dimension humaine de l'accès à l'électricité ?

Le secteur privé n'est pas mauvais par nature. Il sait innover et faire émerger de petits opérateurs privés dans le cadre de PPP. Cela dit, certaines initiatives récentes cherchent uniquement la rentabilité (qui est nécessaire) et ne se soucient ni de réduire la pauvreté et les inégalités, ni de créer de valeur ajoutée locale (emplois, compétences), ni de maîtriser les externalités environnementales (déchets, pollution, recyclage). Le rôle de l'Etat est

donc primordial pour encadrer les actions et s'assurer de la redistribution des bénéfices au collectif. Et les ONG doivent garder leur rôle de sentinelle et de plaidoyer.

La définition et la compréhension de la tarification par les usagers jouent-elles un rôle-clé dans la réussite d'un projet de miniréseau ?

Comprendre la tarification, c'est comprendre le montant de sa facture, savoir comment maîtriser sa consommation, et donc être en mesure de consommer et payer en fonction de ses moyens. C'est aussi savoir qu'une partie des sommes va bénéficier au collectif (commune, coopérative, etc.). Comprendre son contrat, c'est connaître les droits et devoirs de chaque partie et être en mesure de les faire respecter. Pour toutes ces raisons, la sensibilisation des futurs usagers sur les tarifs est gage de pérennité de l'exploitation.

Quelles seraient vos recommandations sur l'implication de la société civile, des autorités locales et traditionnelles, du tissu institutionnel national?

La société civile et les autorités locales peuvent assurer un suivi de proximité de l'exploitation, susciter et accompagner le développement économique et exercer un contre-pouvoir face au duo formé par les pouvoirs publics nationaux et l'opérateur privé. Dès le début du projet, elles doivent être impliquées dans la construction de la gouvernance du schéma d'électrification (et non simplement informées ou sensibilisées) et placées au cœur du dispositif. Les ONG, par leur neutralité, peuvent appuyer l'émergence de ces accords locaux et des règles publiques ou contractuelles.

Pensez-vous que le secteur doit être davantage organisé ? Les compétences et les moyens des organes et des agences de régulation sont-ils suffisants ?

Au niveau national, les prérogatives des différentes institutions sont souvent floues et/ou se recoupent entre urbain et rural, ce qui est contreproductif pour mettre en place une politique d'électrification forte : les compétences mériteraient d'être mieux définies et réorganisées. Il paraît aussi évident que les moyens de ces institutions doivent être renforcés pour qu'elles puissent remplir pleinement leur rôle.

Ingénieur agronome, **Juliette Darlu** s'est spécialisée dans la gestion de projets d'accès à l'énergie. Elle est responsable du programme énergie au GRET.

Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>



Différents modèles de tarification constatés sur le terrain

Abonnement et vente de kWh en « post-paiement ». Inspirés des modèles urbains traditionnels, de nombreux miniréseaux proposent un service électrique constitué d'une part fixe (abonnement mensuel ou annuel) et d'une part variable (facturation mensuelle) au kWh consommé.

Certains schémas peuvent mettre en place différents coûts du kWh en fonction des seuils de consommation : un coût bas pour les 10 premiers kWh mensuels, puis plus élevé pour les autres, ou encore un coût avantageux pour les acteurs économiques à forts besoins.

Forfait pour les petits consommateurs. Avec des interfaces clients équipées de limiteurs de puissance et d'énergie réglables, il est possible de mettre en place des modèles de paiement au forfait, indépendamment de la consommation réelle. Le forfait consiste à payer, en avance, pour une durée limitée d'utilisation (par exemple, un jour, une semaine). Plusieurs types de forfait pour différents types de consommateur peuvent être envisagés, adaptés à leur consommation d'électricité moyenne effective.

Prépaiement. Les dispositifs de prépaiement, malgré les contraintes évoquées en début de chapitre, sont quasiment généralisés dans les nouvelles opérations. Permettant de réduire la présence de personnel local et offrant des possibilités de gestion dématérialisée, le prépaiement reste le meilleur garant d'un taux de recouvrement optimal des kWh consommés. Ne reposant pas sur un système d'abonnement régulier, ce modèle génère cependant des flux de trésorerie irréguliers que l'opérateur devra savoir anticiper.



© Fondation Énergies pour le Monde

Abonnée payant ses factures, Madagascar.

Chiffre clé

Les coûts du kWh produits par les minigrids varient de 0,55 à 0,85 \$/kWh ayant des facteurs de charge moyens de 0,22 %. Un objectif de 0,22 \$/kWh serait atteignable d'ici 2030. Ces coûts peuvent être comparés aux coûts des compagnies nationales d'électricité de réseau en Afrique qui, eux, sont fortement subventionnés

Source : selon une enquête de la Banque Mondiale réalisée auprès d'une cinquantaine de miniréseaux en Asie et en Afrique (PV et hybride PV / diesel).

Exemple en image : Le 1^{er} niveau de tarification de Kouramangui, en Guinée (1/4)

SERVICE 1 N'DAYGOU		
Usagers domestiques ou communautaires à faible demande en électricité		
Service destiné aux ménages et infrastructures communautaires désireuses de bénéficier des services de base de l'électricité , avec un tarif réduit .		
Coût de raccordement	150 000 GNF + coût de la distribution intérieure (si non existante ou non conforme)	
Coût de consommation	3 000 GNF / kWh	
Durée de fourniture	24h/24, 7j/7	
Appareils autorisés	 Ampoule LED Fournie par BDK  Radio  Recharge téléphone  Lecteur audio/vidéo	
Appareils interdits	 Télévision  Réfrigérateur congélateur  Ampoules à incandescence  Electro-ménager  Outillage	
Données techniques	<ul style="list-style-type: none"> - Puissance appelée limitée à 100 W - Energie limitée à 0,5 kWh/jour - 230 V alternatif monophasé - Compteur électronique à prépaiement 	

Source : Fondation Energies pour le Monde.

compréhension surgissant au cours des premiers mois d'exploitation.

Le renouvellement des composants d'un miniréseau renouvelable : l'autre incertitude du modèle économique.

Les centrales solaires et éoliennes¹, hybridées ou non, alimentant les miniréseaux sont équipées d'un parc d'accumulateurs électrochimiques : les batteries, dont la durée de vie, comme déjà évoqué, est limitée, de l'ordre d'une dizaine d'années (cf. encadré).

Représentant jusqu'à 40 % du coût d'investissement de l'unité de production, le coût de renouvellement du parc de batteries est loin d'être négligeable. Cette dépense pouvant peser jusqu'à 50 % du prix de vente de l'électricité payé

par les abonnés, la tarification doit la prendre en considération et son anticipation est indispensable. Si les composants électroniques nécessaires à la régulation et à la conversion des flux d'électricité ont acquis une grande fiabilité, il n'en reste pas moins que le changement de quelques composants est souvent nécessaire après une dizaine d'années de fonctionnement. Là encore, anticiper la charge financière afférente est nécessaire.

Un plan d'affaires de miniréseau doit ainsi prévoir :

- **un renouvellement complet du parc de batteries après une certaine durée de service** (deux à dix ans pour les batteries au plomb), calculé en fonction du dimensionnement initial et des conditions d'utilisation, notamment les fortes chaleurs ;
- **un renouvellement de l'électronique de puissance**, soumise à des contraintes fortes d'utilisation susceptibles de provoquer des



Environnement, conditions d'utilisation, et durée de vie des batteries

Le nombre de cycles de charge/décharge que pourra fournir une batterie, quelle que soit la technologie, dépendra entre autres de la profondeur de décharge. Les batteries au plomb, très majoritairement utilisées, y sont particulièrement sensibles.

Les accumulateurs au plomb à électrolyte liquide supportent mal les recharges partielles.

La centrale devra permettre une recharge complète chaque jour, en fournissant une énergie additionnelle de 5 à 10 % dédiée à cette charge dite de déstratification.

La température est un paramètre crucial : alors que certaines batteries au lithium risquent une dégradation irréversible au-delà de 40 °C, les batteries au plomb perdent 50 % de leur capacité de cyclage chaque 10 °C d'élévation de température.

Le vieillissement naturel de l'électrochimie des accumulateurs, la qualité de l'entretien, de la régulation des courants et de la tension de charge/décharge, sont également des paramètres techniques influant sur la durée de vie des matériels.

Cette complexité technologique confrontée à la réalité du terrain rend quasi impossible d'estimer précisément la durée de vie d'un parc de batteries, quelle qu'en soit la technologie.

pannes soudaines après plusieurs années de bon fonctionnement.

Au-delà de la difficile prévision de la date du renouvellement, plusieurs questions vont ainsi naturellement se poser :

- **comment prendre en compte les évolutions technologiques ?** Quelle sera la technologie optimale lors du renouvellement des batteries et/ou de l'électronique de puissance du miniréseau ? Quelle sera la compatibilité entre des composants « anciens » et d'autres de « nouvelle génération » ? Un remplacement complet de la centrale ne sera-t-il pas économiquement et techniquement plus pertinent ? ;
- **quels autres besoins d'investissement pourraient venir concurrencer le renouvellement de matériel ?** Extension de réseau, renforcement des capacités de production, modernisation des interfaces client ? Quelles subventions seront disponibles auprès des agences d'électrification ?

Cette problématique de renouvellement et de modernisation des miniréseaux, ponctuelle aujourd'hui, va devenir prégnante dans les années à venir, suite à la multiplication des miniréseaux solaires. Les décideurs, les agences, les ministères et les bailleurs de fonds doivent l'anticiper, en élaborant dès aujourd'hui les mécanismes de soutien technique et financier nécessaires pour éviter de futures avaries porteuses de mécontentement social. Ils ne doivent pas non plus oublier le nécessaire recyclage des éléments de batterie, à fort pouvoir nocif pour la santé et les écosystèmes. ○

1. Le cas de l'hydroélectricité ne sera pas traité, car les charges techniques d'exploitation sont mieux maîtrisées (entretien courant, remplacement de quelques pièces d'usure).

[Partie 3]

Conclusion

De ce panorama des modèles d'électrification rurale décentralisée déployés en Afrique subsaharienne, qui se révèle d'une grande diversité, on peut tirer trois grands enseignements.

Il apparaît d'abord que les différents modèles ont tous leurs avantages et leurs inconvénients et qu'aucun ne peut prétendre à réaliser seul l'accès universel à l'électricité en milieu rural. Idéalement, il faudrait que ces solutions se déploient simultanément sur un même territoire. Mais l'expérience montre que la diversité des contraintes liées à chaque solution, et donc des modes de gestion, rendent leur combinaison opérationnellement complexe. Certes, les miniréseaux s'imposent dans les politiques programmatiques d'électrification comme la solution la plus proche de l'électrification urbaine, et offrant la possibilité de couvrir très largement la palette d'usages de l'électricité en zone rurale. L'équilibre économique et la pérennité des matériels demeurent cependant deux points de fragilité de ce modèle actuellement dominant.

Par ailleurs, si les énergies renouvelables s'imposent de manière naturelle grâce aux gisements, à la technologie et à la maturité industrielle liée à la baisse des coûts, ce changement de paradigme comporte un risque : celui que l'Afrique devienne un territoire d'expérimentations des départements de R&D des acteurs des énergies renouvelables (et notamment ceux du stockage), sans considération pour une problématique environnementale majeure : le recyclage des équipements, au premier chef celui des batteries.

Enfin, la percée du numérique simplifie considérablement l'exploitation, tant sur le plan technique que financier. Mais elle incite les opérateurs à délaisser la proximité de terrain, que l'expérience a pourtant validée comme un facteur clé de pérennité des infrastructures.

Au-delà de ces constats, il apparaît que l'essor de l'électrification rurale décentralisée ne se fera pas par la seule addition de projets mieux conçus et mieux gérés. Il nécessite des actions qui excèdent le périmètre des « bonnes pratiques » et l'échelle du « projet » ; il passe par des changements sectoriels, pour garantir la pérennité des systèmes. Quelles évolutions, mises en œuvre par quels acteurs ? Telle est la question à laquelle la quatrième et dernière partie de l'ouvrage tente d'apporter des éléments de réponse.