



Electrifier l'Afrique rurale

Un défi économique,
un impératif humain

Sous la direction de la
**Fondation Énergies
pour le Monde**

Préfaces de
Jean Louis Borloo
et **Lionel Zinsou**

Sous la direction de la
Fondation Energies pour le Monde

Electrifier l'Afrique rurale
Un défi économique,
un impératif humain.

Observ'ER

Avertissement

Les opinions exprimées dans cet ouvrage n'engagent que les auteurs. La collecte de données a été achevée au 1^{er} juin 2019. Des éléments postérieurs à cette date ont pu être intégrés selon leur disponibilité avant achèvement de la rédaction.

Page web

Cet ouvrage est disponible en ligne :

<http://www.fondem.org/electrifier-lafrrique-rurale/>

Des données actualisées et des contenus additionnels sont disponibles sur le site de l'ouvrage :

<http://www.fondem.org/electrifier-lafrrique-rurale/>



Imprimerie des Hauts de Vilaine
BP 52179 - 35221 Châteaubourg Cedex

Achévé d'imprimer en octobre 2019

ISBN-978-2-913620-63-6

Cet ouvrage ne peut être vendu.

Couverture : © Cyril le Tourneur d'Ison

Conception et mise en œuvre



Éditeur :
146 rue de l'Université – 75007 Paris
Tél. : 01 44 18 00 80 – Fax : 01 44 18 00 36
www.librairie-energies-renouvelables.org

Directeur général :

Vincent Jacques le Seigneur

Auteurs : Gérard Madon, Yves Maigne,
Etienne Sauvage, Sarah Vignoles

Coordination éditoriale : Romain David

Mise en page : Alice Guillier

Relecture et corrections : Charlotte de L'escale

Tout ou partie de cet ouvrage ne peut être reproduit, stocké dans une base de données ou transmis, sous quelque forme que ce soit et par aucun moyen, que ce soit électronique, mécanique, par photocopie, enregistrement ou scan, sans autorisation écrite de l'éditeur.

L'utilisation ou la mise en pratique de tout élément de cet ouvrage est de la responsabilité unique de la personne en faisant usage. Si des données publiées s'avéraient inadaptées, incomplètes ou fausses, la responsabilité de l'éditeur ou de l'auteur ne serait pas engagée, y compris pour les conséquences qui pourraient en découler.

Electrifier l'Afrique rurale

**Un défi économique,
un impératif humain.**

Avant-propos

L' Afrique : une triple révolution



Vouloir faciliter l'accès à l'énergie dans les pays du Sud, et en premier lieu en Afrique, c'est non seulement garantir la réussite de nos politiques climatiques, mais c'est aussi prévenir un enjeu crucial pour la paix et la stabilité du monde. Pourquoi ? Parce qu'en Afrique, nous sommes face à une triple révolution et chacune d'elle, par sa vitesse et par ses impacts, est inédite dans l'histoire de l'humanité.

Première révolution, le choc démographique

La population africaine devrait doubler dans les trente ans qui viennent. Le continent, dont le nombre d'habitants a été multiplié par dix depuis l'accès à l'indépendance et/ou la création de nouveaux États, devra nourrir, loger, soigner, former, employer plus d'un milliard de personnes supplémentaires d'ici 2050. Un milliard de jeunes de moins de 30 ans – ils ne sont pas encore nés – vont représenter à l'échelle de la planète un actif sur quatre. Leurs modes de vie – produits de consommation courante, transport, habitat... – et leurs façons de travailler et de produire seront évidemment déterminants pour le succès ou l'échec des politiques climatiques engagées ailleurs sur la planète.

Seconde révolution, les communications

La rapidité de diffusion de la téléphonie mobile et des smartphones est tout simplement hallucinante : on compte aujourd'hui 995 millions d'abonnés au téléphone et 362 millions d'internautes. Il n'y a que peu de foyers qui sont dépourvus de téléphone portable alors même qu'il faut marcher des kilomètres pour aller le recharger parce qu'il n'y a pas encore l'électricité... Toute l'Afrique a fait en moins d'une décennie un saut technologique et, ce faisant, a vu ses perceptions, ses représentations, ses modes de vie et de production bouleversés, en moins d'une génération.

C'est à la fois une menace et une opportunité. Désormais, il est vain d'imaginer sédentariser des populations qui n'ont pas accès aux services essentiels indispensables au développement alors qu'elles sont connectées avec le reste du monde et voient Paris, Addis-Abeba, Londres ou Lagos briller de mille feux. Et demain, plus encore qu'aujourd'hui, la jeunesse n'aura de cesse de prendre la route, attirée par les lumières et la musique de la ville. C'est une chance aussi, car avec la communication, on accède à la modernité en tous points du territoire. Il est possible d'anticiper les récoltes, de

connaître les prévisions météo, d'alerter ou de prévenir des risques, de payer ou d'être payé. Et il est désormais faisable d'acheter de l'électricité à la demande, en fonction de ses besoins, mais surtout de ses ressources, comme on acquiert déjà des unités de communication. On appelle cela le *pay as you go*, une expression qui, à elle seule, illustre ce monde du nomadisme et de la communication permanente dans lequel nous sommes entrés avec tout le village planétaire.

Troisième révolution, l'accès à l'énergie

L'accès à l'énergie est un enjeu universel. C'est ce qui permet d'atteindre les droits fondamentaux : l'eau potable, mais aussi l'assainissement des eaux usées, l'éducation et la santé, l'emploi et la sécurité, la stabilité, en un mot le droit de vivre dignement dans son bourg ou dans son quartier. Et c'est un des objectifs de développement durable adoptés par l'Assemblée générale des Nations unies en 2015, qui entend « assurer à tous un accès à une énergie abordable, fiable, durable et moderne d'ici 2030 ».

Or l'Afrique est plongée dans le noir alors qu'il serait possible de permettre l'accès à l'électricité à quelque 620 millions d'Africains qui en sont dépourvus, dont près de 80 % vivent en milieu rural. Une opération à double dividende puisque les Africains auraient donc accès au développement et, simultanément, l'Afrique deviendrait le premier continent faisant massivement appel aux énergies renouvelables, ouvrant ainsi la voie à un monde décarboné, condition de survie de l'humanité. Ce n'est pas une gageure, c'est un pari fou peut-être, un défi certainement, mais qui reste à notre portée. Pourquoi ? Comme pour la téléphonie, l'absence de réseau est une opportunité à saisir pour développer un peu partout des minigrids à l'échelle de la commune ou du canton alimentés par de petites centrales photovoltaïques ou hydrauliques. Les progrès technologiques et les effets d'échelle font aujourd'hui des énergies renouvelables des sources compétitives qui, dans la majorité des cas, sont moins onéreuses que celles produites par de petits groupes diesel. Les technologies sont robustes et adaptées à ce continent qui est béni des dieux, ici pour son irradiation solaire, là pour son régime de pluie ou ses gisements éoliens et partout pour son gigantesque potentiel de biomasse.

L'urgence d'agir

Cette triple révolution – démographie, communication et accès à l'énergie – est fascinante et doit nous interpeller. C'est évidemment un devoir d'humanité, car on ne saurait laisser dans le noir un terrien sur quatre, mais c'est aussi un devoir pour l'humanité qui joue là sa survie. Nous n'avons pas le choix et il est urgent d'agir.

En premier lieu, les émissions de gaz à effet de serre dont l'Afrique est responsable sont aujourd'hui quantité négligeable, et pourtant elle paie déjà le prix fort en termes d'impacts du changement climatique : pénuries en eau ou épisodes cycloniques dévastateurs, recrudescence des maladies, malnutrition et famines à répétition, événements météorologiques extrêmes...

Second constat, si l'Afrique n'est que peu responsable de ces émissions, ce n'est évidemment pas une situation figée : ces cinq dernières années, 30 % des découvertes de ressources fossiles dans le monde l'ont été en Afrique subsaharienne. Pas plus que les pays du Nord, pendant le siècle passé, les pays du Sud concernés ne pourront résister à cette manne qui git dans leur sous-sol si rien n'est fait aujourd'hui pour les en dissuader.

Accompagner, donner un coup de main modeste pour permettre l'émergence du premier continent décarboné de l'humanité qui fera appel à 100 % d'énergie renouvelable, c'est jouer un coup d'avance. Il s'agit d'une course contre la montre qu'il nous faut pourtant impérativement gagner car l'Afrique n'attendra plus.

Jean-Louis BORLOO,

président de la Fondation Énergies pour le Monde

“Il est temps d’être optimiste”

Entretien avec Lionel Zinsou



Fondem : *Il y a quelques années, vous avez déjà préfacé un texte de Christine Heuraux sur les défis de l’électrification de l’Afrique. En quoi ce sujet vous semble-t-il essentiel ?*

Lionel Zinsou : Durant mes années d’exercice au Bénin, nous avons le projet “Lumière pour tous” de distribution de lampes solaires pour équiper les ménages, les centres de santé, les écoles. Ce projet m’a permis de rentrer dans la problématique de l’accès à l’électricité et il m’a convaincu qu’il fallait faire la démonstration qu’une initiative de grande envergure était possible et qu’elle était porteuse de nombreux bénéfices de pouvoir d’achat, de santé publique, d’éducation et de sécurité.

Agir pour l’accès à l’électricité, c’est d’abord une question de crédibilité pour les gouvernements. En effet, il ne faut pas se méprendre : l’électrification ne progresse pas et on prend dix ans de retard chaque année, ce qui fait que 70 % de la population rurale en Afrique n’a pas accès à l’électricité. S’il existe un fort exode rural, la dynamique démographique est telle qu’il y a toujours plus d’habitants dans les campagnes, là où il n’y a pas l’électricité et où la population ne croit plus en l’électrification, alors que c’est une revendication majeure, un droit social.

Les bienfaits de l’accès à l’énergie sont évidents. Dans les arrondissements les plus pauvres du Bénin, un accès gratuit à des lampes solaires et à la recharge de téléphones portables suscite une économie de 100 000 FCFA/an (153 €/an). Loin d’être négligeable, cette économie a un effet macroéconomique important en termes de pouvoir d’achat. C’est un premier résultat. Mais au-delà de l’impact financier, les bénéfices immatériels sont aussi extrêmement sensibles. Le lien entre accès à l’électricité et éducation est évident comme l’a montré, encore au Bénin, la distribution de lampes dans les écoles béninoises qui a suscité une vague d’inscriptions. D’autres impacts existent : l’autonomie et la vie collective des femmes, la sécurité et la santé publique.

Fondem : *Vous dites que les Africains ne croient plus à l’électrification alors que c’est une revendication majeure. La situation peut-elle évoluer ?*

Lionel Zinsou : Éducation, santé, eau et électricité sont les quatre revendications essentielles des populations. Ce sont les biens publics fondamentaux auxquels il est

aujourd'hui nécessaire d'ajouter la connectivité, désormais incontournable. Auparavant réservés aux riches, ces services sont devenus des exigences de tous. C'est un phénomène de masse. Inscrits dans une démarche démocratique, les Africains attendent de plus en plus que les pouvoirs publics satisfassent ces besoins et entendent, s'ils n'y répondent pas, les sanctionner. C'est une situation nouvelle.

Le programme " Lumière pour tous " que j'évoquais et qui disposait de financements de plusieurs bailleurs de fonds a été perçu par certains comme une initiative liée à des ambitions électorales. Cette attitude montrait en fait une profonde indifférence des personnes qui disposent déjà de l'électricité à l'égard de celles qui ne l'ont pas. Nous sommes loin d'une société de péréquation, nous étions même encore dans le déni.

Mais le contexte a profondément changé. Dans mon enfance, le pays n'avait pas l'électricité, mais on pensait qu'on ne l'aurait jamais. Il n'y avait ni routes ni port... On n'avait rien et c'était la norme. Aujourd'hui le port de Lomé est le plus grand port d'Afrique. Et aujourd'hui, la norme, c'est que cette absence de services est intolérable : on ne peut pas vivre sans électricité. C'est devenu un besoin fondamental, tout comme le téléphone. Ce changement radical des attitudes a eu lieu ces quinze dernières années : l'inexistence des biens publics est insupportable. Et c'est cela qui nous avait fait agir en montant le programme " Lumière pour tous ".

À partir de cette notion du droit aux services essentiels, beaucoup de programmes peuvent se construire avec les populations et bien entendu les ONG qui sont des pionnières dans le domaine. Des systèmes innovants et de nouveaux modèles économiques sont à élaborer. Mais je pense que le mouvement est inexorable et que c'est l'affaire des dix prochaines années.

Fondem : *Le Sénégal, qui réfléchit à l'harmonisation des tarifs pour favoriser l'accès à l'électricité en zone rurale, n'imagine pas une mécanique de péréquation, difficile à tenir... Alors, comment satisfaire la demande d'électricité en milieu rural en respectant à la fois l'accessibilité tarifaire et la viabilité économique ?*

Lionel Zinsou : C'est le cœur du problème. En milieu rural, vous ne pouvez pas payer le vrai coût de l'électricité. Il est donc impossible de développer cette électrification en passant par le réseau national. En 1980, on disait que l'électrification rurale en Afrique serait universelle et achevée en 2000. En 1990, on disait que ce serait en 2010, aujourd'hui, en 2030... En fait, c'est impossible car nous n'avons pas les ressources financières suffisantes – et si c'est une gestion privée encore moins – pour aller jusqu'au dernier village qui dispose de peu de ressources et consomme peu. C'est pourquoi il faut développer des systèmes décentralisés et hors réseau pour en réduire les coûts, les pertes en ligne et pour les rendre accessibles même s'ils nécessiteront toujours une aide et du crédit pour l'investissement venant de bailleurs publics ou privés.

Fondem : *Dans ce processus, quel est le rôle des bailleurs de fonds internationaux ?*

Lionel Zinsou : Je pense que les bailleurs de fonds sont dans une période de contrition : ils n'ont pas vraiment aidé à améliorer la situation du continent et ne sont pour rien dans l'évolution du mix énergétique car ils ne l'ont pas considérée comme une priorité. Ce n'est pas surprenant puisque l'agriculture – liée à la problématique de l'électrification –, qui est le premier secteur d'activité en milieu rural, a été négligée par les bailleurs de fonds pendant trente ou quarante ans. Alors même que c'est elle qui fixe la population rurale. Le nombre des interventions de la Banque mondiale sur l'agriculture a été divisé par deux. Pour la Banque africaine de développement également, l'agriculture représente 8 % du portefeuille, alors que ce secteur correspond à 25 % du PIB africain et emploie 50 % de la population active. Depuis la Révolution verte, la problématique de l'agriculture est passée en second plan, ce qui fait que l'électrification du milieu rural a elle-même été négligée. Cette situation, défavorable au monde rural, est aussi liée au modèle de financement des bailleurs de fonds. Ils transitent par les gouvernements et véhiculent implicitement un modèle intensif : « L'avenir n'est pas l'agriculture familiale, c'est la transformation, le tertiaire... »

Fondem : *Et comment cette situation pourrait-elle évoluer ?*

Lionel Zinsou : Le contexte n'est plus le même. Nous sommes en transition démocratique et les populations portent des revendications. Or la démocratie est plus vivante à l'échelle locale que nationale car il est toujours plus important pour des pouvoirs centraux de contrôler l'élection présidentielle que celle du maire. Certes, ces derniers sont encore souvent privés de ressources propres, mais la situation est en train d'évoluer. C'est intéressant parce que les collectivités territoriales sont sous le contrôle direct et vigilant des citoyens, et la corruption a moins de prise car les ressources à détourner sont moindres. Ainsi, des problèmes inhérents au montage et à l'exécution de projets en milieu rural vont pouvoir être réglés et surmontés au niveau des collectivités locales.

Fondem : *Dans ce contexte, les acteurs financiers locaux ont-ils une place ?*

Lionel Zinsou : Bien sûr. Je pense que tout va se passer sur le terrain local, de façon décentralisée. Preuve que cela change, c'est la microfinance qui contribue le plus au fonds de roulement pour le commerce et les ménages. Elle fait par nature l'objet d'un contrôle social, et elle affiche des taux de recouvrement qui atteignent 95 % contre 50 % pour n'importe quel opérateur bancaire classique. De la même manière, les services en matière d'énergie et d'eau pourront être portés à l'échelle territoriale par des entreprises locales et des structures de microfinance. Elles sont indissociables. L'abonnement aux services de l'énergie va fonctionner grâce à cette même logique du microcrédit, contrôlé par la communauté solidaire, et non pas comme dans les quartiers périurbains où la communauté est solidaire pour ne pas payer les consommations à l'entreprise publique...

Fondem : *Les collectivités locales du Nord ont-elles une carte à jouer ?*

Lionel Zinsou : À l'évidence. La coopération décentralisée atteint mieux ses objectifs que la coopération centralisée, notamment parce qu'elle ne passe pas par les financements de l'État. Il y a beaucoup moins de pertes en ligne. Je crois également que les collectivités territoriales africaines sont en train de se transformer et de revendiquer leur identité économique et que la coopération décentralisée peut beaucoup leur apporter. Elle est assez aisée, fructueuse, saine, pratique et plus éthique que la coopération centralisée car un projet d'État à État consomme invariablement 50 % des fonds qui lui sont dédiés. Si on imagine un jumelage entre les petites villes, comme Komé ou Bopa, avec les collectivités territoriales d'un autre pays, vous verrez beaucoup plus de résultats, moins de bureaucratie, plus de rendement avec des montants de transaction beaucoup plus faibles.

Fondem : *Ne faudrait-il pas profiter en France du prochain débat parlementaire sur la loi pour le développement pour recommander d'accélérer cette coopération sur de petits projets locaux plutôt que de réaliser de grands programmes nationaux ?*

Lionel Zinsou : Aujourd'hui, il est plus facile, je crois, de financer des grandes infrastructures énergétiques que des petites, délocalisées. C'est bien pourquoi ces dernières méritent d'être considérées en priorité dans la mesure où les mécanismes de marché sont beaucoup moins rodés. Trouver une réponse à la question du financement des petites infrastructures électriques n'est pas simple. Les modèles économiques sont à ajuster selon le contexte local. Certains projets de minigrids locaux doivent être subventionnés, parce que les recettes issues du paiement de l'électricité ne couvriront que les frais généraux et la maintenance mais pas le coût du projet, alors qu'ailleurs, parce qu'il y aura un ou deux consommateurs industriels significatifs, le modèle économique sera très différent. Mais cela ne veut bien entendu pas dire qu'il faut exclure les cofinancements de projets de grande taille.

Fondem : *Et quel serait alors le rôle des bailleurs de fonds institutionnels ?*

Lionel Zinsou : Les bailleurs de fonds, pour revenir à eux, n'ont pas d'intérêts personnels et de demandes des États souverains pour soutenir les secteurs agricoles et donc les populations rurales. De plus, ils ne sont pas outillés pour appréhender les projets de petite taille. La façon dont les banques peuvent intervenir sur un financement de masse, c'est de refinancer les associations de microfinance, et surtout de ne pas faire elles-mêmes des microcrédits de 200 € ou 500 € sur lesquels elles perdront de toute façon de l'argent. Il en va de même pour les bailleurs de fonds : il leur faut trouver des structures qui refinancent les programmes plutôt que de les financer directement. Ils gagneront en efficacité et cela à moindre coût.

Fondem : Comment faudrait-il opérer le changement d'échelle ?

Lionel Zinsou : Il faut regrouper des petits projets pour leur permettre d'être financés. Et il faut que le secteur privé ou associatif en capacité de monter et gérer de tels projets en association avec les collectivités locales soit refinancé. Je reste convaincu que l'on va passer à l'échelle assez vite, que beaucoup de projets sont viables, même si les facteurs de pérennité - l'environnement local, la nature de la demande, etc -, sont exogènes. Je pense que le rôle des bailleurs de fonds est tout trouvé. Attijari, par exemple, première banque commerciale concessionnaire du Green Climate Fund, est en train de mobiliser tout son réseau d'agences pour faire remonter des projets. Ce sera assez intéressant de voir ce que ça donne. En tant que membre du conseil d'Attijari, je vais m'attacher à suivre ces questions directement en accord avec le président : voir ce que le réseau remonte, et si un réseau de banques peut aider à la mise en place de projets, pas seulement d'énergies renouvelables. A l'image de cette expérience, on devrait avoir des projets et des solutions de toutes tailles.

Il faut mixer des fonds d'origines différentes, prendre un peu de liquidités privées, un peu de concours de la Banque mondiale, de l'AFD, etc., pour augmenter les budgets et ensuite continuer à travailler, à travers ces partenariats avec le secteur privé. Les opérateurs ont besoin de ces concours qui nécessitent des financements hybrides. Je suis assez confiant et je crois que cette approche va rentrer dans les mœurs. Il est temps d'être optimiste. Mais il s'agit encore de « sur-mesure », et non de « prêt-à-porter » financier. C'est un environnement plus complexe, taillé sur mesure, dans lequel les acteurs qui ne savent pas recouvrer leurs créances doivent refinancer ceux qui le savent.

Fondem : Le « sur-mesure » se ferait-il localement plutôt qu'au niveau central ? La complexité va-t-elle en diminuant ?

Lionel Zinsou : Oui, en effet. Si cela n'existait pas déjà en microfinance, je dirais qu'il faudrait vingt ans pour y arriver. Mais les outils sont là et nous avons l'expérience. On pourrait également encourager les institutions de microfinance à avoir des projets de financement de l'ordre de 100 à 200 000 USD correspondant au traitement d'un projet d'électrification d'une localité de 500 habitants environ.

Lionel ZINSOU,
économiste, ancien Premier ministre du Bénin

Equipe

L'équipe de rédaction

Yves Maigne a passé vingt ans dans l'industrie au sein des sociétés Leroy-Somer et Photowatt, dans le développement des microcentrales hydrauliques et du solaire photovoltaïque dans les pays du Sud, avant de rejoindre la Fondation Énergies pour le Monde (Fondem) en tant que directeur. Dans cette ONG dédiée à l'accès aux services de l'électricité et aux énergies renouvelables, il participe à la conception et la réalisation de projets de terrain associant étroitement l'ensemble des parties prenantes, du partenaire financier, aux élus locaux et les usagers, sans oublier les opérateurs et les acteurs institutionnels nationaux et régionaux. C'est de la rencontre de ces partenaires, aux rôles indispensables et complémentaires, que naît l'idée de cet ouvrage. Il est membre de l'Académie des technologies et contribue aux travaux du Pôle Energie.

Gérard Madon a débuté sa carrière en 1975 comme ingénieur de recherches en énergies renouvelables au Sénégal. Il l'a poursuivie à partir de 1982 en tant que consultant spécialiste du développement durable, de l'énergie domestique et de l'électrification rurale au sein de bureaux d'études, notamment en tant que cofondateur et associé à Énergie, environnement et développement durable (MARGE, Toulouse). Il est intervenu dans plus de 50 pays, principalement en Afrique. Depuis 2015, il est président du conseil d'administration d'Enercoop Midi-Pyrénées, coopérative du réseau Enercoop fournisseur d'électricité d'origine 100% renouvelable en France.

Etienne Sauvage, ingénieur ESPCI/ENSAM, a débuté sa carrière en 2000 aux Comores sur un programme d'électrification par kits solaires. Il a ensuite travaillé pour le bureau d'études Transénergie dans l'ingénierie des programmes d'électrification de la zone Océan Indien, basé à Madagascar. Il poursuivi à partir de 2005 en tant qu'ingénieur consultant spécialisé dans la problématique de l'accès à l'eau et l'électricité en zone rurale, principalement dans les territoires insulaires du Pacifique, en Afrique et dans l'océan Indien. En 2007, il fonde le bureau d'études HACSE qu'il dirige, spécialisé dans l'électrification rurale décentralisée, partenaire privilégié de la Fondem depuis de nombreuses années.

Sarah Vignoles a assuré la coordination rédactionnelle de cet ouvrage. Depuis 2002, elle met sa formation et son expérience pluridisciplinaires au service de diverses organisations du secteur public et associatif. Elle a contribué à plusieurs publications sur le thème du Développement durable.

Les auteurs remercient leurs proches. Leur soutien leur a permis de travailler sereinement à cet ouvrage, en disposant du temps nécessaire et de lieux propices à la réflexion et l'écriture. Leur gratitude va également à Vincent Jacques le Seigneur, directeur général de la Fondation Energies pour le Monde, pour son appui et sa patience tout au long de la réalisation de ce projet.

Remerciements

Cet ouvrage collectif a été rendu possible grâce aux conseils, aux témoignages et à l'expertise de nombreux contributeurs.

Iconographie et coordination graphique

Marion Cubizolles

Contributeurs

Christian de Gromard, Marie-Christine Zelem

Études de cas

GRET/Juliette Darlu ; GERES/Marie-Noëlle Reboulet ; ESF/Hervé Gouyet ; MARGE / Robert van der Plas, Maurice Pigaht et Samuel Martin ; FONDEM/ Celia Creff

Interviews

Jean-Louis Borloo et Lionel Zinsou

Camille André-Bataille, Hary Andriantatvy, Jean-Pierre Bresson, Arnaud Chabanne, Samy Chalier, Yann Chauvelin, Juliette Darlu, Guilhem Dupuy, Bernard Equer, Grégoire Gailly, Hervé Gouyet, Caroline Frontigny, Elodie Hestin, Sarah Holt, Boureima Kabre, Jean-Baptiste Lenoir, Olivier Oriol, Olivier Rasoldier, Stéphane Redon, Rodolphe Rosier, Vincent Renaud, Mamadou Saidou Diallo, Nicolas Saincy, Boubacar Sow

Relecteurs

François-Xavier Albouy, Bernard Equer, Abdou Fall, Iris Nicomedi, Bernard Tardieu, Marin de Viry

Experts

Renée Chao-Béroff, Alexandre Chavanne, Jean-Paul Louineau, Gérard Moine

Équipe Fondem

Valentin Benoît, Cyril Durieu, Alice Coureau, Vincent Jacques Le Seigneur, Isaure Marchand, Marie-Estelle Grison, Jérémy Ankri, Raphaël Sappey, Tanguy Poupart-Lafarge, Julie Trognon, Emilie Souchaud, Mehrin Ashraf

Président

Jean-Louis Borloo

Président Fondateur de la Fondation Énergies pour le Monde

Alain Liébard

La Fondation Energies pour le Monde remercie tout particulièrement les partenaires financiers sans lesquels l'ouvrage n'aurait pas pu voir le jour : l'ADEME, l'IFDD et Synergie Solaire. Elle remercie également tous les partenaires et les donateurs, grâce auxquels elle peut poursuivre sa mission et développer son expertise au service de l'accès à une électricité inclusive et durable.

Partenaires

ADEME

Presque 20 ans après un premier ouvrage qui soulignait l'intérêt de l'Électrification Rurale Décentralisée, présentée comme « une chance pour les hommes et des techniques pour la planète », il nous a paru important de soutenir la Fondation Energies pour le Monde dans son effort de mesurer les progrès accomplis dans ce domaine, notamment grâce aux innovations technologiques et sociales.

L'accès à l'énergie représente toujours un enjeu crucial pour le développement humain, la croissance économique et la protection de l'environnement et du climat. En témoigne son inclusion parmi les Objectifs du Développement Durable des Nations Unies adoptés en 2015.

Près d'un milliard d'êtres humains dans le monde n'a pas d'accès à l'électricité. A cela s'ajoutent plusieurs centaines de millions de personnes dont l'accès à l'électricité n'est pas satisfaisant puisqu'il repose sur des générateurs fonctionnant aux énergies fossiles, chères et polluantes. C'est en particulier le cas en Afrique subsaharienne. En effet, dans cette région, malgré des progrès encourageants, le taux d'électrification reste le plus faible au monde, et les projections de l'Agence Internationale de l'Énergie indiquent qu'en 2030 environ 600 millions des 674 millions d'habitants de la planète sans accès à l'électricité seraient en Afrique subsaharienne, en particulier dans les zones rurales.

S'il est irréaliste d'imaginer étendre les réseaux centralisés à l'ensemble des populations rurales, l'électrification de ces populations peut être grandement facilitée par le recours aux solutions renouvelables décentralisées. Grâce au développement du digital et à la baisse du coût des énergies renouvelables, un changement de paradigme est désormais possible pour l'accès à l'énergie hors réseaux. Des modèles disruptifs et plus flexibles émergent, associant l'électrification des villages et le développement d'activités génératrices de revenus pour les populations. D'après la Banque Mondiale, 210 000 mini-réseaux pourraient permettre d'électrifier 490 millions de personnes d'ici 2030, particulièrement en Afrique sub-saharienne, pour un investissement de 220 milliards de dollars.

Néanmoins, afin d'assurer un déploiement efficace des solutions hors réseaux, de nombreux défis restent à relever, notamment en termes de fiabilité des équipements, de maintenance, de solvabilité. Il est aussi crucial de renforcer localement les compétences et

d'impliquer les communautés afin de définir de manière conjointe les solutions les plus adaptées, y compris en termes de gouvernance. Les femmes sont parmi les premières à être concernées, à la fois comme actrices et bénéficiaires de l'électrification rurale, en luttant contre la déforestation et les changements climatiques. Elles sont très impliquées, que ce soit en tant qu'éluées locales, éducatrices, promotrices de techniques agricoles respectueuses de l'environnement ou de solutions entrepreneuriales innovantes.

Améliorer l'accès aux financements est un autre enjeu prégnant, dans un contexte où, paradoxalement, peu de dispositifs existent pour soutenir ce type de projets moins coûteux que l'extension des réseaux centralisés ou la réalisation de centrales de puissances importantes alimentées par des énergies renouvelables. D'autres défis sont à relever pour adapter les politiques publiques de nombreux pays à ces nouveaux modèles. Des solutions innovantes en termes de plans d'affaire et de modes de financement doivent aussi être déployées, en associant les acteurs privés, les ONG et les pouvoirs publics nationaux et locaux.

Pour contribuer à relever ces défis, l'ADEME, forte de plus de trente années d'expérience dans le domaine de l'accès à l'énergie en Afrique, a lancé en 2017 un premier appel à projets pour soutenir le développement de solutions innovantes en la matière, et a sélectionné 9 projets. Devant le succès rencontré par cet appel, l'ADEME s'est associée à l'AFD pour lancer un nouvel appel à projets en 2019. Des actions sont par ailleurs menées avec le Syndicat des Energies Renouvelables et l'ensemble des acteurs français de l'accès à l'énergie pour renforcer leur mobilisation collective.

A partir d'un état des lieux nourri de nombreuses études de cas, ce guide décrit l'évolution des dernières années, dresse des perspectives pour l'avenir et propose des recommandations enrichies du retour de terrain de multiples acteurs. Nous espérons vivement que cet ouvrage servira de référence pour accompagner la dynamique initiée, ainsi que la mobilisation coordonnée des différents acteurs, permettant à l'ERD de franchir une nouvelle étape vers le changement d'échelle attendu et nécessaire à l'atteinte des objectifs fixés d'accès universel à l'énergie en 2030.

Dominique Campana

Directrice Europe et International Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

IFDD

L'électrification rurale décentralisée (ERD) est restée un défi persistant des dernières décennies au cours desquelles les populations rurales des pays en développement ont vu se succéder des programmes et projets de pérennités économiques, sociales et technologiques, inégales dans le temps et dans l'espace.

Depuis la première édition de l'ouvrage ERD, les acteurs du secteur public ont fait évoluer les environnements réglementaires en vue de résorber le fossé croissant de l'électrification entre les régions rurales et les centres urbains. Le secteur privé et les partenaires techniques et financiers ont également contribué à proposer des solutions innovantes pour accompagner ce combat de l'accès qui concerne des centaines de millions de personnes dans l'espace rural.

L'IFDD, à l'époque l'IEPF, avait apporté en 2000 son soutien à la première édition de l'ouvrage ERD déjà conduite sous l'égide de la Fondation Énergies pour le Monde (FONDEM). L'Institut est heureux de poursuivre ce partenariat pour le renforcement des capacités de toutes les catégories d'acteurs impliqués dans l'amélioration de la réalité de l'accès à l'électricité de tous les francophones en zone rurale.

C'est le sens même de la réédition de ce guide technique qui, après un état des lieux très complet et nourri de multiples expériences de terrain de l'ERD ces dernières décennies en Afrique, en présente dans une optique de développement durable les nécessaires mutations souhaitées ou en cours. Je salue le travail de la FONDEM et de tous les partenaires qui y ont contribué, et j'encourage les lectrices et les lecteurs à s'approprier les recommandations de cet ouvrage. Je souhaite que les prochaines décennies voient le déploiement partout où cela est nécessaire, des modèles d'électrification rurale décentralisée, désirable et durable.

Jean-Pierre Ndoutoum

Directeur de l'Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD)

Synergie Solaire

L'accès aux Energies renouvelables est le fil conducteur qui relie croissance économique, équité sociale et développement durable. C'est sur cette conviction que le fonds de dotation Synergie Solaire a été créé pour mobiliser les entreprises des énergies renouvelables autour de projets solidaires d'accès à l'énergie, mis en œuvre par des ONG françaises puis européennes .

L'expertise des ONG en matière d'électrification rurale décentralisée est avérée, notamment en matière d'ingénierie sociale qui est un facteur-clé de succès cependant trop souvent méconnu du monde entrepreneurial . Depuis 10 ans les choses ont évolué dans le bon sens ; cette expérience et expertise, de la Fondem en particulier, sensibilisent maintenant de plus en plus d'acteurs économiques et l'on voit émerger de nouveaux partenariats. Ils permettent d'associer 2 facteurs-clé, l'ingénierie financière et l'ingénierie sociale pour créer des modèles de plus en plus innovants. Il faut se réjouir que l'électrification rurale décentralisée (off-grid) soit désormais considérée comme l'indispensable complément des programmes centralisés (grid connected) d'extension des réseaux électriques nationaux. Les deux vont de pair pour doter les territoires africains d'un accès cohérent et plus efficient et permettre aux populations les plus reculées de bénéficier de cet essor.

Le projet d'ouvrage a émergé dans ce contexte de rapprochement des parties prenantes de l'ERD, la volonté de comprendre et de reconnaître la place de chacune pour avancer plus efficacement dans des projets communs, qu'il s'agisse des états, des agences rurales d'électrification, des entreprises, des agences internationales de développement, des ONG, des banques, des fonds d'impacts, des fondations, ou même des jeunes start-ups locales.

Nous avons été honorés de rejoindre la Fondem, l'ADEME et l'Institut de la Francophonie pour le Développement Durable et de soutenir la réalisation de cet ouvrage qui promeut une synergie entre acteurs, seule manière, nous en sommes convaincus, d'aborder le défi immense de l'Accès à l'énergie et d'espérer avoir un impact réel. Nous sommes appelés à construire un écosystème d'acteurs et à coordonner nos actions à tous les niveaux.

Hélène Demaegt

Présidente du fonds de dotation Synergie Solaire

Résumé

En Afrique subsaharienne, où la population va doubler d'ici 2050, une transformation rurale inclusive et écologique s'impose. Défi planétaire, la question énergétique est cruciale pour l'avenir de la région : pas de développement sans infrastructures électriques durables, au service de l'éducation, de la santé et de l'emploi des communautés rurales, essentiellement agricoles, qui vont devoir nourrir les villes. Il y a là un impératif humain.

Or, la fracture électrique reste préoccupante dans de nombreux pays subsahariens, qui disposent pourtant d'abondants gisements d'énergies renouvelables. Les politiques nationales privilégiant l'électrification urbaine, les populations rurales se tournent naturellement vers les solutions marchandes disponibles, de qualité souvent médiocre, pour couvrir leurs besoins essentiels en électricité. L'expérience acquise depuis 50 ans et les récentes avancées technologiques dans le domaine du solaire et du numérique pourraient pourtant permettre de déployer massivement les infrastructures électriques durables nécessaires.

Mais la question du modèle économique reste entière, notamment pour les territoires où les opérateurs privés ne peuvent aller en raison des contraintes de rentabilité, incompatibles avec l'objectif d'accès universel. Par la combinaison bien pensée des solutions d'électrification collective (notamment miniréseau) et individuelle, il serait pourtant techniquement possible de couvrir une part significative des besoins, et d'atteindre l'objectif d'une électrification rurale, sinon universelle, du moins inclusive.

Pour réussir, il faut mettre en commun les analyses et les expériences, afin de mobiliser de manière mieux coordonnée et plus efficace les ressources, au Sud comme au Nord. Le débat sur le sens et les moyens de l'action devant être relancé, les auteurs proposent des pistes de réflexion à chaque acteur concerné.

En Afrique subsaharienne, la fracture énergétique persiste, induisant une électrification rurale encore largement informelle

La communauté internationale se mobilise pour promouvoir l'accès à l'énergie, indispensable auxiliaire de développement humain, sous sa forme la plus polyvalente en termes d'usage : l'électricité. Malgré cette impulsion, **plus de 600 millions de personnes vivent encore sans électricité en Afrique subsaharienne (soit plus de 70 % de la population de la région), essentiellement en zone rurale**. Or, la demande en électricité va y rester forte, sous l'effet conjugué des croissances économique et démographique. La région doit donc relever un double défi, social et environnemental : suivre la demande d'électricité selon une trajectoire de croissance sobre en carbone.

Les pays subsahariens sont justement dotés d'importants gisements de sources renouvelables (eau, soleil, vent, biomasse), toutes exploitables sous certaines conditions. En particulier, l'énergie solaire, de loin la plus abondante, suscite de nombreux espoirs et la technologie photovoltaïque, actuellement la plus simple à mettre en œuvre en milieu rural pour les petits et moyens systèmes, se généralise malgré la contrainte liée au stockage* de l'électricité pour satisfaire la demande nocturne.

Ce n'est donc pas la disponibilité de la ressource énergétique qui pose problème. La faiblesse des taux d'électrification rurale des pays subsahariens reflète surtout l'absence de desserte par le réseau. Soutenues par les bailleurs institutionnels, les sociétés nationales d'électricité ont en effet donné priorité à l'électrification des zones urbaines et périurbaines, plus rentables, sans pour autant réussir à dégager la capacité d'investissement nécessaire pour financer l'extension du réseau vers les zones rurales. Par ailleurs, même en présence de stratégie nationale favorable, la mise en œuvre effective de projets d'électrification hors réseau par initiative locale ou privée se heurte à plusieurs difficultés d'ordre politique et institutionnel (notamment le manque de moyens des collectivités territoriales et les conflits de compétences entre agences nationales) mais aussi et surtout d'ordre économique (le manque d'attractivité des zones rurales pour les investisseurs).

Dans le même temps, le besoin d'électricité s'exacerbe, sous l'effet de la diffusion massive de la téléphonie mobile. Lassés d'attendre un hypothétique raccordement au réseau, les populations se tournent légitimement vers les autres solutions disponibles, dont la gamme est de plus en plus large. Profitant de la démocratisation rapide des équipements de production photovoltaïque et des récepteurs à haute performance (LED notamment), le secteur marchand propose un nombre croissant de services électriques très divers, couvrant essentiellement les usages domestiques. Cette offre fragmentée, souvent de qualité médiocre, sans garantie d'un service

inclusif et pérenne, n'est évidemment pas une réponse satisfaisante. Par ailleurs, la diffusion exponentielle des systèmes solaires individuels, parfois présentée comme une avancée majeure de l'accès à l'électricité, repose essentiellement sur celle des lampes portables, très loin de couvrir tous les besoins sociaux et productifs des communautés rurales.

L'accélération de l'électrification rurale peut s'appuyer sur les solutions décentralisées, grâce aux innovations et aux leçons de l'expérience

Les solutions décentralisées apparaissent nécessaires pour électrifier le milieu rural, en complément du réseau, dont l'extension, trop coûteuse pour les opérateurs, ne peut être rapidement généralisée. C'est d'ailleurs ainsi que les campagnes françaises et américaines ont accédé à l'électricité, grâce à l'impulsion locale (via des concessions communales accordées à des entreprises privées ou des coopératives rurales d'électricité).

Depuis 50 ans, le sol subsaharien est le terrain de nombreux projets d'accès à l'électricité hors réseau, dite aussi « électrification rurale décentralisée » (ERD). Dans l'esprit humaniste de ses pionniers, l'ERD est au service du développement humain ; elle doit couvrir le spectre le plus large possible d'usages de l'électricité ; dans la conduite des projets, doivent prévaloir le respect du territoire, la compréhension des besoins des populations et la recherche d'équité. En Afrique subsaharienne, l'ERD (notamment par hydroélectricité) a

ainsi été testée dès avant les indépendances. Elle s'est ensuite diffusée dans les années 1970 avec l'aide de la coopération internationale, souvent via des projets d'électrification d'infrastructures collectives (écoles, centres de santé, pompes...) par éolien ou solaire menés par des ONG pionnières. Depuis le milieu des années 1980, elle connaît une phase d'extension, caractérisée par une implication plus forte du secteur privé, qui s'est récemment accélérée.

Depuis une dizaine d'années, le secteur de l'ERD vit une mutation à la fois prometteuse et risquée.

La prise de conscience d'une urgence écologique est favorable aux projets promouvant les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. Surtout, un véritable changement de paradigme technologique - fondé sur la révolution numérique, la baisse du coût du photovoltaïque, les récepteurs basse consommation et les progrès du stockage - rend possible l'accélération de l'électrification rurale par énergie solaire. Profitant de l'ouverture d'un large marché peu régulé et misant sur de meilleures chances de viabilité de l'exploitation, le secteur privé multiplie les schémas de distribution innovants à destination des populations non desservies par le réseau. Soutenues par l'aide internationale en raison des bénéfices sociaux qu'elles promettent, ces solutions relèvent d'une logique marchande pourtant parfois très éloignée de l'objectif de pérennité du service et d'autonomisation des communautés que porte historiquement l'ERD.

L'obstacle à la généralisation des solutions décentralisées n'est donc pas technique, il est financier. Electrifier un territoire, rural ou urbain, est d'abord très consommateur de capitaux d'investissement ; puis l'exploitation doit couvrir les frais de fonctionnement et de maintenance, dont le renouvellement du matériel. Du fait des

faibles capacités contributives des usagers ruraux, les opérations présentent un double handicap. D'une part, elles sont peu attractives pour les investisseurs (contraintes opérationnelles au moins aussi fortes qu'en zone urbaine, retour sur investissement beaucoup plus long). D'autre part, dans un contexte où les Etats ne disposent pas des ressources fiscales suffisantes, elles sont très dépendantes des financements internationaux, y compris dons et aides, qui, quoique de plus en plus nombreux, restent largement insuffisants

Certains types de projet souffrent plus particulièrement de cette pénurie, comme les mini-réseaux ruraux ; pourtant reconnus comme la solution décentralisée à privilégier pour atteindre l'accès universel, ils sont pénalisés par leur logique complexe de coopération institutionnelle, le coût des actions de renforcement des capacités locales et les incertitudes sur le plan d'affaires (sans données de référence, il est difficile de prévoir précisément l'évolution de la demande d'un service sur plusieurs années). De ce point de vue, parce qu'elle est fondée sur la relation durable entre deux collectivités territoriales, la coopération décentralisée apparaît comme une alternative à promouvoir pour financer et mettre en œuvre des projets d'ERD structurés à l'échelle d'un territoire, socialement ambitieux.

Principale piste pour résoudre cette équation complexe du financement, mixte, les collaborations entre bailleurs privés et publics sont sans doute amenées à se développer ; pour servir l'accès universel à l'électricité, ce renforcement de la mécanique de dons ou de prêts à taux favorable devra néanmoins bénéficier prioritairement aux projets les plus inclusifs.

Au-delà des évolutions et des incertitudes, le retour d'expérience croisé des acteurs de

L'ERD permet d'identifier plusieurs paramètres méthodologiques stables pour réussir un projet, qui tous se rejoignent dans un même constat : le facteur humain est décisif. Pas de bénéfices sociaux et économiques de l'arrivée de l'électricité sans adhésion de la communauté au projet et prise en main locale des systèmes électriques : il faut faire émerger un écosystème d'acteurs qui fera durablement fonctionner le service sur le territoire. Ainsi, la réussite d'un projet dépend d'abord de la qualité de l'orchestration des parties prenantes, plus ou moins complexe suivant le type de schéma d'électrification, ce qui suppose un savoir-faire spécifique en maîtrise d'ouvrage. Lorsque la logique de coopération institutionnelle est au cœur de la construction de la solution technique, comme c'est le cas pour un miniréseau, il ne faut pas sous-estimer les contraintes liées à la différence de compréhension des problématiques par les différents acteurs (futurs usagers, pouvoirs publics, partenaires financiers, fournisseurs d'équipements, etc.) et leurs intérêts parfois divergents.

Loin d'être seulement technologique, un projet d'accès à l'électricité nécessite donc une approche sociologique, fondée sur l'écoute du terrain et la coopération, assortie des budgets pour assurer l'ensemble des activités de sensibilisation, d'accompagnement et de médiation nécessaires avant, pendant et après la mise en service des infrastructures. Il s'agit notamment d'assurer la bonne compréhension des conditions d'utilisation des solutions décentralisées, qui diffèrent en effet de celles du réseau urbain (puissance* limitée, quantité journalière et/ou horaires restreints, recours aux batteries...), ainsi que de la tarification proposée (tarif du kWh plus élevé, choix d'un niveau de service, absence de tarif subventionné) et des modalités de paiement (prépaiement).

Par ailleurs, le secteur fait encore face à des problématiques persistantes de qualité des matériels, due à l'absence de normes et de régulateur compétent, et de capacité d'entretien des installations. Le projet doit donc anticiper, dès sa conception, les facteurs de déshérence des équipements et la question de leur prise en charge en fin de vie. Même si la qualité est tirée vers le haut par les offres récentes en abonnement (l'opérateur a un intérêt certain à limiter les coûts de maintenance des matériels), la bonne appropriation du service par les usagers reste la meilleure garantie de pérennité.

Enfin, quel que soit le schéma mis en œuvre, le service d'électricité suppose des investissements de la part de l'opérateur et une contribution de l'utilisateur pour accéder à un service pérenne ; une juste tarification et des modalités de paiement adaptées sont deux éléments-clés d'une exploitation viable.

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

Le secteur de l'accès à l'électricité hors réseau est aussi innovant et dynamique qu'il est fragmenté et désorganisé. Mais qu'ils s'appuient sur un long processus institutionnel ou sur un échange marchand quasi instantané, les différents schémas actuels présentent un point commun : la technologie photovoltaïque, avantagée par sa simplicité et son accessibilité quel que soit le type d'usage.

L'électrification des ouvrages publics (écoles, centres de santé, bâtiments culturels ou culturels) constitue le chantier historique de l'accès à l'électricité. Séduits par l'utilité sociale évidente et la simplicité technique des opérations, les

porteurs de ces projets ont souvent sous-estimé les contraintes liées à l'exploitation des systèmes installés ; en dehors de ceux réalisés par les programmes d'envergure nationale, peu d'ouvrages sont encore en état de fonctionnement. Dans tous les cas, la collectivité doit cotiser pour l'entretien périodique et le renouvellement des composants. Autre application historique du PV, le pompage solaire est une solution utile (accès à l'eau potable, irrigation des cultures, abreuvement de bétails), économique (ni carburant, ni batteries) et assez mature pour trouver localement la compétence et les pièces de rechange, ce qui explique l'exceptionnelle longévité de certaines infrastructures. Autre exemple d'application communautaire, l'éclairage public solaire se développe grâce aux avancées technologiques récentes (LED, PV, stockage). Outre qu'il améliore la sécurité le long des axes routiers, il élargit le spectre des activités sociales et permet aux plus modestes de disposer gratuitement d'une source lumineuse de qualité.

Destinés à l'usage domestique, les petits systèmes solaires individuels (SSI) se sont considérablement diffusés ces dernières années. Traditionnellement acquis par l'usager auprès d'un revendeur local contre un paiement cash, ils sont aussi de plus en plus souvent proposés en abonnement par des opérateurs dits Pay As You Go (PAYG), utilisant systématiquement le prépaiement, apparus au milieu de la décennie actuelle. Exemples emblématiques de la démocratisation de l'énergie décentralisée, ces systèmes souffrent de plusieurs limites. La puissance disponible étant faible et la quantité d'énergie journalière limitée, ils sont inadaptés à la plupart des usages productifs. Et le PAYG, pourtant soutenu par des aides et libre de toute pression réglementaire quant à la qualité du service ou l'équité tarifaire, s'avère économiquement plus fragile que prévu, obligeant ses promoteurs à réorienter leur action vers les zones périurbaines.

Ni l'acquisition spontanée de SSI, uniquement accessible à une frange aisée de la population, ni la généralisation du PAYG ne permettront donc, à elles seules, d'électrifier l'Afrique rurale de manière inclusive. D'où l'importance des initiatives élargissant l'accès à ces systèmes, comme les Sociétés de Services Décentralisées, gérée par un opérateur privé selon des modalités proches de la délégation de service public. Autre piste, associer un exploitant privé et une institution de microfinance permet à de petits entrepreneurs d'acquérir à crédit une installation PV de qualité. Dans tous les cas, le soutien d'un financeur du développement est requis, pour couvrir les dépenses d'assistance technique et/ou de subventionner une partie des équipements.

En complément de ces initiatives d'électrification individuelle ou collective, plusieurs schémas innovants tentent de résoudre l'équation de la multiplicité des usages sur un territoire. Grâce à une production d'électricité significative située au centre de la localité, le concept générique de « kiosque énergie » offre divers services aux habitants (recharge de téléphones ou lampes portables, multimédia, froid, etc.). Confié à un gérant local choisi pour son profil commercial et entrepreneurial ainsi que sa bonne implantation locale, le kiosque reste généralement propriété de l'opérateur privé. Quelques ONG françaises pionnières testent également plusieurs concepts de plateformes énergétiques.

Solution intermédiaire en cours d'expérimentation, le nanoréseau organise la production mutualisée d'électricité au sein d'une habitation à laquelle 3 à 5 autres foyers sont raccordés, pour un usage essentiellement domestique. Le concept repose sur les économies d'échelle et l'évolutivité du dispositif (interconnexion de nanoréseaux pouvant se relayer entre eux,

raccordement au réseau) au service d'une électrification progressive du territoire, concertée avec les autorités locales et cohérente avec les éventuelles planifications d'extension de réseau.

Seul le miniréseau permet d'apporter l'électricité simultanément à tous les membres d'une communauté rurale, en couvrant la diversité de leurs besoins domestiques, productifs et sociaux. Très bien représenté sur le territoire subsaharien, ce schéma est en pleine mutation. Si le virage technologique pris suite au recours aux EnR et au numérique est favorable au modèle économique (prépaiement, pilotage plus fin des consommations), il fragilise l'appropriation locale. Par ailleurs, le secteur privé porte désormais l'essentiel des projets selon une logique de rapidité plébiscitée par les financeurs et les populations, tandis que s'efface le modèle originel, fondé sur la mécanique collaborative initiée par les ONG, dont les délais sont souvent décourageants. S'affranchissant souvent des planifications nationales, ces opérations ciblent logiquement les pôles ruraux dynamiques et les usagers susceptibles de payer un tarif intégrant la rentabilité attendue par les investisseurs.

Les nombreux projets de miniréseaux ruraux par EnR sont riches d'enseignements pour la pratique.

La plupart d'entre eux, sinon tous, traduisent la variété des approches possibles et mettent en lumière les limites des outils standardisés. Ils montrent également combien il est difficile de concilier viabilité économique et utilité sociale.

L'analyse préalable du contexte est décisive : adhésion réelle des futurs abonnés, demande d'électricité, potentiel de progression, capacités d'appropriation locale, revenus et propension à payer le service de l'électricité... En la matière, rien ne remplace l'expérience, la connaissance des

facteurs socio-économiques locaux, l'analyse des autres projets menés à proximité du site. Pour définir la zone de couverture du miniréseau, aucune formule qui tienne non plus : c'est un exercice ad hoc de diplomatie, ménageant des intérêts souvent divergents. L'arrivée d'un miniréseau dans une localité nécessite une concertation étroite avec l'ensemble des parties prenantes (autorités formelles, informelles, structures associatives et communautaires) qui génère des coûts additionnels mais renforcent la pérennité du modèle économique.

La conception du système repose aussi sur des arbitrages qui déterminent le modèle économique. L'architecture globale du système dépend également de l'approche. Une première démarche, éprouvée, encourage le recours aux compétences locales et le renforcement de capacités des acteurs locaux. La seconde, innovante technologiquement, s'oriente vers des solutions « containerisées », assemblées par l'industriel, livrées clés en mains aux porteurs du projet et pilotées à distance.

Si les solutions numériques facilitent le paiement des services électriques, elles ne le garantissent pas. Élément central du modèle économique, la tarification doit être adaptée et comprise par tous quant à ses deux dimensions-clés : le prix et le service. Ces derniers présentant des différences notables par rapport à ceux d'un réseau urbain, il est indispensable de transmettre un minimum de culture de maîtrise et d'usage rationnel de l'énergie aux usagers.

Maillon essentiel du dispositif, l'exploitant est le garant de la qualité de service (maîtrise de la consommation, entretien des équipements), du respect des règles et de la collecte des informations indispensables pour satisfaire ses clients,

envisager une extension ou un renforcement de capacité. Son profil doit donc être très polyvalent : capacité technique, réputation de confiance, capacité d'investissement et de gestion, tempérament d'entrepreneur social et sensibilité de délégataire de service public.

Au-delà de ces constats, il apparaît que l'essor de accès à l'électricité en milieu rural ne se fera pas par la seule addition de projets mieux conçus et mieux gérés. Il est sans doute aussi conditionné par des actions qui excèdent le périmètre des « bonnes pratiques » et l'échelle du « projet » ; il passe par des changements sectoriels procédant d'une véritable volonté politique, pour garantir la pérennité des systèmes.

Réaliser l'accès à l'électricité pour tous nécessite une coalition d'acteurs mieux coordonnés, aux méthodes et aux moyens plus adaptés.

Le manque de volonté politique et la multiplication des strates décisionnelles, la défaillance de la fiscalité et la dépendance aux financements internationaux, l'insuffisance des cadres juridique et normatif et de la planification nationale, le manque de coordination entre bailleurs internationaux et de compréhension entre secteur financier et non financier... Les nombreux points de faiblesse sectoriels constatés ne relèvent pas du domaine technique mais de la gouvernance, de l'organisation, de l'encadrement réglementaire et du financement des actions, à tous les niveaux. Ces sujets complexes perdurent malgré l'arrivée du numérique, l'implication de plus en plus forte des acteurs privés et la diffusion des solutions d'électrification les plus récentes. L'état des lieux réalisé dans cet ouvrage conduit ainsi logiquement à poser la question des actions possibles pour faire évoluer le secteur, et à formuler des préconisations destinées à chaque acteur concerné, afin de (re)lancer le débat.

Ces préconisations sont axées sur le développement des solutions d'électrification collective (notamment miniréseau) qui, couplées aux solutions individuelles, apparaissent essentielles pour réaliser l'accès universel à l'électricité et devraient donc être au cœur des stratégies. **Elles sont par ailleurs centrées autour de quatre points névralgiques pour assurer la pérennité des systèmes dans le respect des populations bénéficiaires** : faire de l'accès à l'électricité en milieu rural une question de niveau interministériel pour une meilleure coordination stratégique, renforcer la décentralisation et la déconcentration pour une mise en œuvre de proximité plus efficace, encadrer l'action des acteurs privés pour garantir la qualité et le professionnalisme, et, enfin, respecter le principe d'équité entre usagers à l'échelle d'un territoire.

Retrouvez l'intégralité des développements et des préconisations en téléchargement libre sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifierlafriqueurale/>

Les bouleversements qui traversent le secteur de l'accès à l'électricité sont porteurs d'opportunités comme de risques. La voie est étroite qui n'oublie pas l'impératif humain et relève le défi économique, au service d'une transformation rurale inclusive. Elle passe par la notion de territoire, sur lequel doivent se centrer la réflexion et l'action de toutes les parties prenantes. Cette question de l'électrification rurale, dont l'ouvrage propose une analyse fondée sur l'expérience de praticiens de terrain du secteur, apparaît ainsi comme paradigmatique : la problématique de l'électrification est aussi celle de tous les réseaux de distribution des services essentiels au développement de tous les territoires. Elle soulève la question fondamentale des « communs », et de la protection dont ils doivent bénéficier pour en garantir l'accès, même aux plus vulnérables. ○

Sommaire

- 07 Avant-propos
- 16 Equipe
- 18 Partenaires
- 22 Résumé
- 34 Liste des acronymes

- 36 Introduction

- 39 **Partie 1 - Contexte**
En Afrique subsaharienne, la fracture énergétique persiste, induisant une électrification rurale encore largement informelle.
- 40 **Introduction**
- 42 **La fracture énergétique reste préoccupante malgré la richesse en énergies renouvelables. (1.1.)**
- 44 Malgré une dynamique internationale favorable, l'accès à l'électricité est loin d'être universel. (1.1.1.)
- 62 La région dispose pourtant d'un important potentiel d'électrification à partir des gisements d'énergies renouvelables. (1.1.2.)
- 76 **L'électrification formelle est d'abord urbaine et centralisée. (1.2.)**
- 78 Au niveau institutionnel, la priorité est donnée aux zones urbaines et périurbaines, par défaut. (1.2.1.)
- 86 L'électrification rurale, affichée comme un objectif, souffre du manque de moyens et de volonté. (1.2.2.)
- 94 **En conséquence, l'électrification rurale reste en grande partie informelle. (1.3.)**
- 96 L'offre et la demande d'électrification rurale sont bouleversées par plusieurs innovations. (1.3.1.)
- 97 Dans cet environnement en réinvention, l'électricité pénètre dans les foyers ruraux le plus souvent de manière informelle et hétéroclite. (1.3.2.)
- 104 **Conclusion**

- 107** **Partie 2 - État des lieux**
L'accélération de
l'électrification rurale peut
s'appuyer sur les solutions
décentralisées, grâce aux
innovations et aux leçons de
l'expérience.
- 108** **Introduction**
- 110** **Dans sa définition comme dans**
ses objectifs, l'électrification
rurale décentralisée comporte
plusieurs dimensions : territoriale,
économique et humaine. (2.1.)
- 112** Qu'entend-on par « électrification rurale
décentralisée » ? (2.1.1.)
- 122** Le recours aux solutions décentralisées
par énergies renouvelables est la seule
alternative crédible à l'extension de
réseau pour électrifier les zones rurales
subsahariennes. (2.1.2.)
- 132** **Les solutions d'électrification hors**
réseau reposent sur 50 années
d'histoire. (2.2.)
- 134** Historiquement, l'accès à l'électricité
s'est fait par processus décentralisé dans
les zones rurales des pays industrialisés.
(2.2.1.)
- 144** L'électrification rurale décentralisée par
énergie renouvelable bénéficie de plus de
quarante ans d'expérimentations. (2.2.2.)
- 152** **L'électrification rurale, en pleine**
mutation, manque toujours de
financements adaptés aux enjeux.
(2.3.)
- 154** Depuis dix ans, de multiples évolutions
viennent élargir le champ des possibles
pour l'électrification rurale décentralisée.
(2.3.1.)
- 170** Nerf de la guerre, le financement reste
problématique pour la plupart des projets
d'électrification rurale. (2.3.2.)
- 200** **Les facteurs-clés de succès**
d'un projet d'électrification
rurale décentralisée demeurent
inchangés. (2.4.)
- 202** Construire un écosystème d'acteurs
qui devienne in fine autonome n'est pas
si simple. (2.4.1.)
- 216** Pour garantir l'adhésion de la communauté
rurale, l'ingénierie sociale est essentielle,
à toutes les étapes d'un projet. (2.4.2.)
- 237** Un des principaux défis consiste
à assurer la présence durable du service
de l'électricité alors que le secteur local
est encore balbutiant. (2.4.3.)
- 242** Les enjeux liés à la tarification et au
paiement de l'électricité doivent être
soigneusement anticipés pour assurer la
viabilité et la pérennité du service. (2.4.4.)
- 252** **Conclusion**

- 255** **Partie 3 - Cahier technique De la lampe portable au miniréseau, le territoire rural subsaharien est devenu un laboratoire de solutions décentralisées.**
- 257** **Introduction**
- 258** **En l'absence de politique sectorielle structurée, de multiples solutions coexistent, reposant notamment sur le photovoltaïque. (3.1.)**
- 260** Le panorama des solutions d'électrification rurale décentralisée est très diversifié. (3.1.1)
- 264** Les systèmes photovoltaïques autonomes : notions techniques de base. (3.1.2.)
- 268** **Les schémas d'électrification individuelle démocratisent l'accès à l'électricité, sans résoudre l'équation de la diversité des besoins. (3.2.)**
- 271** L'acquisition directe d'un système solaire individuel. (3.2.1)
- 278** Les systèmes solaires individuels *Pay As You Go*. (3.2.2.)
- 292** L'électrification par système solaire individuel au sein d'un projet intégré. (3.2.3.)
- 298** **L'électrification des infrastructures publiques reste problématique. (3.3.)**
- 300** Electrifier les infrastructures publiques : l'évidence sociale à l'épreuve de la réalité. (3.3.1)
- 302** L'électrification des infrastructures publiques : un problème de méthode ? (3.3.2.)
- 308** Pompage solaire et éclairage public : d'autres exemples d'électrification d'infrastructures publiques. (3.3.3.)
- 314** **De nouveaux schémas d'électrification collective sont apparus récemment. (3.4.)**
- 316** Les solutions collectives dédiées aux usages productifs : modèle pertinent ou innovation sans lendemain ? (3.4.1)
- 327** Les nanoréseaux : le concept est encore en exploration (3.4.2.).
- 332** **Le miniréseau, schéma d'électrification collective historique, est en pleine mutation. (3.5.)**
- 334** Malgré de nombreux échecs et des postulats économiques complexes, les miniréseaux ruraux séduisent de nouveaux acteurs. (3.5.1)
- 350** Miniréseaux : rappel des fondamentaux techniques (3.5.2.)
- 364** Les miniréseaux ruraux par énergies renouvelables : retours d'expérience et pistes de réflexion. (3.5.3.)
- 382** **Conclusion**

385 **Partie 4 - Préconisations**
Réaliser l'accès à l'électricité
pour tous nécessite une
coalition d'acteurs mieux
coordonnés, aux méthodes et
aux moyens mieux adaptés.

387 **Introduction**

392 **Préconisations aux pouvoirs**
publics nationaux, régionaux
et locaux des pays du Sud. (4.1.)

394 Préconisations aux pouvoirs publics
nationaux. (4.1.1.)

397 Préconisations aux pouvoirs publics
régionaux. (4.1.2.)

399 Préconisations aux pouvoirs publics
locaux. (4.1.3.)

402 **Préconisations à la communauté**
internationale. (4.2.)

406 **Préconisations aux financeurs**
des projets. (4.3.)

408 Préconisations aux bailleurs de fonds
internationaux. (4.3.1.)

411 Préconisations aux investisseurs
internationaux. (4.3.2.)

411 Préconisations au secteur financier dans
les pays du Sud. (4.3.3.)

412 **Préconisations aux monteurs de**
projets et à leurs partenaires directs
sur le terrain. (4.4.)

418 **Conclusion**

420 **Glossaire**

423 **Index**

438 **Bibliographie**

Tous les termes dont la 1^{ère} occurrence est suivie d'un astérisque () sont repris dans le glossaire, en p. 420.*

Un certain nombre de termes et d'expressions utiles sont repris en Index, en p. 423.

Une bibliographie complète recense les sources utilisées dans l'ouvrage en p. 438.

Sauf mention contraire, les traductions de l'anglais vers le français sont des auteurs.

L'intégralité de cet ouvrage, ainsi que de nombreux documents complémentaires (études de cas, interviews et articles) sont disponibles en libre accès sur le site de la Fondation Énergies pour le Monde : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>

Liste des acronymes

ACP Afrique, Caraïbes, Pacifique	ASS Afrique subsaharienne	DFID Department for International Development	GIZ Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Agence de coopération allemande pour le développement)
ADEME Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie	BAD Banque africaine de développement	ECDPM European Centre for Development Policy Management	GOGLA Global Off-Grid Lighting Association
ADER Agence pour le développement de l'électrification rurale	BEI Banque européenne d'investissement	ELECTRIFI Electrification Financing Initiative (Union européenne)	GSM Global System for Mobile Communication
AFD Agence française de développement	BT basse tension	EnR énergies renouvelables	GSM GSM Association
AFME Agence française de la maîtrise de l'énergie	CA courant alternatif	ERD électrification rurale décentralisée	GW gigawatt
AGER Agence guinéenne d'électrification rurale	CAPEX capital expenditure	ESMAP Energy Sector Management Assistance Program	IED Innovation énergie développement
AIE Agence internationale de l'énergie	CC courant continu	EUEI European Union Energy Initiative	IFDD Institut de la francophonie pour le développement durable
APD avant-projet détaillé	CE Commission européenne	FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations	IFRI Institut français des relations internationales
APS avant-projet sommaire	CIRAD Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement	FCFA franc CFA	IMF Institut de microfinance
ARE Alliance for Rural Electrification	CNRS Centre national de la recherche scientifique (France)	FFEM Fonds français pour l'environnement mondial	INES Institut national de l'énergie solaire (France)
AREI Africa Renewable Energy Initiative	COP Conférence des parties	GIEC Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat	IRENA International Renewable Energy Agency
ASER Agence sénégalaise d'électrification rurale	COPERES Conseil patronal des énergies renouvelables du Sénégal		
ASI Alliance solaire internationale	DEG Deutsche Investitions- und Entwicklungsgesellschaft		

KfW Kreditanstalt für Wiederaufbau (Banque publique de développement allemande)	ODD objectifs de développement durable	RSE responsabilité sociétale des entreprises	UNIDO United Nations Industrial Development Organization
kVa kilovoltampère	ONG organisation non gouvernementale	RTE Réseau de transport d'électricité (France)	USAID United States Agency for International Development
kW kilowatt	ONU Organisation des Nations unies	SE4ALL Sustainable Energy for All	USD US dollar
kWc kilowatt crête	OPEX operational expenditure	SENELEC Société nationale d'électricité du Sénégal	WB World Bank
LED Light-Emitting Diode	PAYG pay as you go	SHS solar home system	Wc wattcrête
MT moyenne tension	PMA pays les moins avancés	SSD sociétés de services décentralisées	ZAE zone d'activité économique
NiMH Nickel Metal Hybride	PME petites et moyennes entreprises	SSI système solaire individuel	
NOAA National Oceanic and Atmospheric Agency	PNUD Programme des Nations unies pour le développement	STS standard transfer specification	
NRECA National Rural Electric Cooperative Association (USA)	PPER Programme pilote d'électrification rurale	TWh terrawattheure	
OCDE Organisation de coopération et de développement économiques	PTMF plateforme multifonctionnelle	UE Union européenne	
OCEF Off-Grid Clean Energy Facility	PV photovoltaïque	UNDP United Nations Development Program	
	RDC République Démocratique du Congo	UNECA United Nations Economic commission for Africa	
	RECP Renewable Energy Cooperation Program	UNICEF United Nations International Children's Emergency Fund	

Introduction

« L'avenir du monde se joue en Afrique », titrait le journal *Le Monde* en 2016. Tous les regards convergent vers le continent, et notamment vers l'immense territoire subsaharien, grand comme 36 fois la France, et regroupant près de 50 pays, 1 milliard d'habitants en 2017, 2 milliards en 2050.

Des regards où se mêlent l'espoir et la crainte. Le paysage est contrasté : un dynamisme entrepreneurial marqué, une jeunesse nombreuse et connectée, de nouveaux débouchés pour les biens et les services dans une économie mondiale léthargique, mais aussi une démographie atypique, des Etats aux ressources fiscales encore trop faibles et de nombreuses zones sous forte tension politique ou religieuse.

Perçue comme la manifestation la plus symbolique et la plus visible de la mutation qui est en marche, la croissance rapide et quelque peu anarchique des métropoles est largement commentée dans les médias.

C'est pourtant ailleurs que se joue vraisemblablement l'avenir de l'Afrique subsaharienne : dans ses campagnes, là où « *se concentre la majorité des populations qui souffrent de la pauvreté et de la faim* ». La nécessité d'une transformation rurale inclusive, respectueuse de l'environnement s'impose, pour tout un faisceau de raisons que soulignent de nombreux rapports (FAO, IFAD, UNECA). Et qu'on peut ainsi résumer : il va falloir nourrir et employer une population très jeune, qui va doubler en moins de cinquante ans, au sein de laquelle les nouveaux travailleurs seront encore majoritairement ruraux.

Comment procurer aux populations rurales les moyens de leur développement, si ce n'est en s'attaquant méthodiquement aux inégalités qui nourrissent un exode forcé ? Comment réaliser cette transformation si les territoires ruraux restent enclavés, dépourvus d'infrastructures et de services de base ? Comment relever le défi alimentaire dans un contexte de changement climatique accéléré qui fait peser de fortes incertitudes sur la production agricole, en quantité et en qualité ?

La question énergétique, défi planétaire du ^{xxi}^e siècle, est décisive pour l'avenir de la région, en ce qu'elle porte en elle une partie de la solution : pas de développement rural durable sans infrastructures rurales énergétiques respectueuses de l'environnement.

La fracture énergétique est un fait. Elle est multiple, au point qu'on pourrait parler de plusieurs fractures énergétiques et non d'une seule : entre pays du Nord et pays du Sud, entre pays émergents et pays moins avancés au Sud, entre zones rurales et urbaines, entre classes sociales d'une même communauté rurale... La première partie de cet ouvrage synthétise les données du problème en brossant à grands traits le portrait de cette fracture, de son origine et des habitudes énergétiques qui en résultent.

Le combat pour réduire la fracture énergétique a pourtant commencé il y a près de cinquante ans : apporter l'électricité aux populations non desservies par les opérateurs nationaux, en s'appuyant sur des solutions décentralisées et par énergies

renouvelables. Depuis quelques années, l'essor de la technologie solaire et la révolution numérique lui donnent un nouveau souffle. Mais réussir une électrification rurale réellement inclusive reste complexe dans un environnement où la rentabilité des projets d'électrification est le plus souvent structurellement incertaine, voire impossible. Ce sont ce combat et les leçons de ces cinq décennies d'expérience que raconte la deuxième partie de l'ouvrage.

La troisième partie, conçue comme un cahier technique accessible aux non-initiés, vise à donner les clés de compréhension des systèmes photovoltaïques qui émaillent le territoire subsaharien. Elle dessine un panorama détaillé des solutions d'aujourd'hui, avec leurs avantages et leurs limites, et esquisse celles de demain.

Ces trois récits font apparaître de nombreuses problématiques non résolues, qui concernent un large panel d'acteurs, des failles sectorielles qui expliquent en grande partie le retard pris par l'accès à l'électricité en Afrique subsaharienne. Adopter les bonnes pratiques de gestion de projet ne suffira pas à les réduire. Un travail approfondi de coopération et de coordination doit s'enclencher, pour concevoir, financer et pérenniser un changement d'échelle. La quatrième et dernière partie de l'ouvrage recense ces actions essentielles, autant de préconisations directement adressées aux acteurs qui peuvent et doivent changer la donne. ●

Cet ouvrage reflète les constats et les analyses de praticiens de l'électrification rurale décentralisée par énergies renouvelables. S'il ne prétend pas à l'exhaustivité des points de vue, il présente cependant une vision réaliste de l'existant, issue de leur longue expérience de terrain.

Il est délibérément axé sur l'électrification rurale des pays d'Afrique subsaharienne francophone, sujet sur lequel la littérature de capitalisation est peu abondante. Il se concentre sur l'utilisation de la technologie solaire photovoltaïque, qui, au moment où il est rédigé, est la plus adaptée au contexte rural subsaharien. Enfin, il focalise l'attention sur les miniréseaux, qui apparaissent comme le seul schéma d'électrification capable de couvrir tous les usages nécessaires au développement durable des communautés rurales.

Il a été réalisé avec le soutien de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), acteur pionnier dans le domaine des énergies renouvelables et de l'accès à l'électricité, ainsi que celui de l'Institut de la francophonie pour le développement durable (IFDD), qui a fait de la formation et de l'information des thématiques centrales, et de Synergie solaire, fonds de dotation qui permet à de nombreux projets d'accès à l'électricité de voir le jour en Afrique francophone.

 **Info**

 **Retour de terrain**

 **Définition**

 **Chronologie**

 **Chiffres-clés**

[Partie 1 - Contexte]

En Afrique subsaharienne, la fracture énergétique persiste, induisant une électrification rurale encore largement informelle.

Introduction

La communauté internationale s'est fixé l'objectif global d'atteindre en 2030 un accès universel à une énergie propre, abordable et moderne. Concrètement, cette ambition recouvre deux chantiers principaux : l'électrification par énergie renouvelable des territoires non desservis par les réseaux électriques et la diffusion de modes de cuisson propres et efficaces.

En Afrique subsaharienne, force est de constater que la fracture énergétique ne se réduit que très lentement et que les zones rurales



En 2015, le monde rural en Afrique subsaharienne représente

62 % de la population
25 % du PIB (production agricole)

Sources : Sara Mercandalli et Bruno Losch, « Une Afrique rurale en mouvement - Dynamiques et facteurs des migrations au sud du Sahara » (FAO et Le Cirad, 2018).

FIDA, « Rural Development Report 2016 - Chapter 3: Structural and rural transformation in Africa » (Rome, 2016), 133.

sont encore largement sous-électrifiées ; la sous-région dispose pourtant d'un potentiel important en énergies renouvelables (1.1.).

Souvent délaissée par les politiques nationales, qui privilégient l'électrification des centres urbains pour des raisons à la fois économiques et sociales, l'électrification rurale souffre toujours d'un manque significatif de volonté et de moyens (1.2.).

En conséquence, l'électrification reste ainsi largement informelle : les populations rurales n'ont d'autre choix que se procurer l'électricité hors réseau, par leurs propres moyens, en combinant les différentes solutions disponibles sur le marché, pour couvrir l'ensemble de leurs besoins (1.3.).

.....

« L'énergie se trouve au cœur de deux aspects fondamentaux de l'avenir de l'Afrique : le développement économique et social d'une part, et le changement climatique d'autre part. »

Marta Musso et Roberto Cantoni,

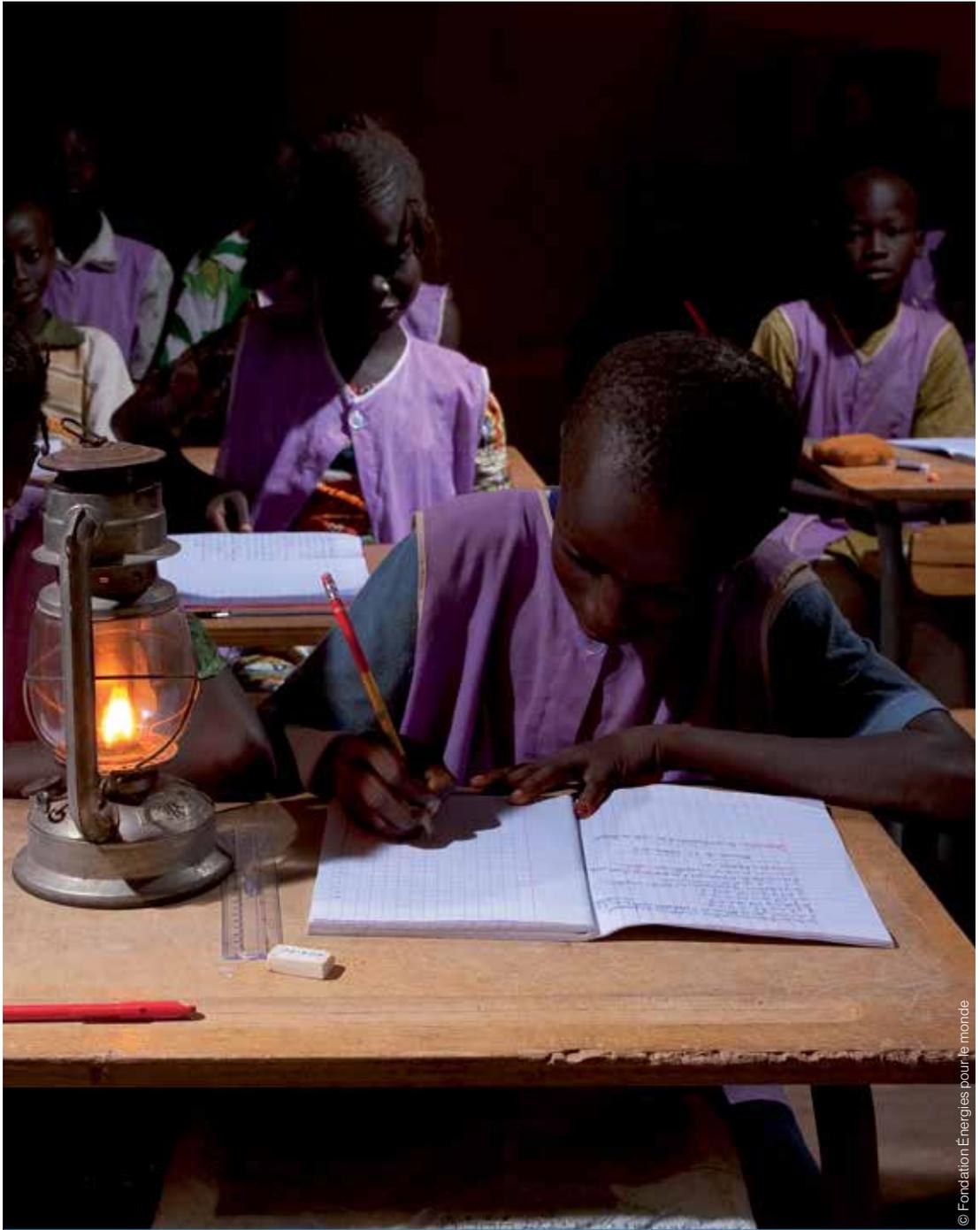
« L'énergie en Afrique : les faits et les chiffres. Introduction », Afrique Contemporaine 1-2, no 261-262 (2017) : 9.

.....

1.1. La fracture énergétique reste préoccupante malgré la richesse en énergies renouvelables.

La communauté internationale s'est mobilisée pour promouvoir l'énergie sous sa forme la plus polyvalente en termes d'usages : l'électricité. Mais en Afrique subsaharienne, la fracture énergétique reste profonde et les perspectives de croissance démographique et économique prolongent le défi de l'électrification des zones rurales (1.1.1.).

Le sous-continent subsaharien bénéficie pourtant d'un important gisement d'énergies renouvelables, et notamment d'énergie solaire, la plus répandue et la plus simple à utiliser (1.1.2.).



© Fondation Énergies pour le monde

Lampe à pétrole.

1.1.1. *Malgré une dynamique internationale favorable, l'accès à l'électricité est loin d'être universel.*

Facteur fondamental de développement humain et enjeu majeur dans la lutte contre le changement climatique, l'accès à l'énergie, et notamment à une électricité de source renouvelable, est porté par une dynamique politique favorable. Malgré cette impulsion, sur le continent africain, la réalité défie les ambitions affichées. Dans la sous-région subsaharienne en particulier, le rythme actuel d'électrification rurale ne permet en aucun cas de couvrir les besoins, qui vont croissant.

L'électrification fait l'objet d'ambitieux objectifs d'universalité et de durabilité.

Donner accès à tous à une électricité respectueuse de l'environnement : amorcée dès les années 1990 par certaines institutions, comme l'ADEME puis l'Union européenne, cette ambition collective et globale se structure dans le sillage du sommet de la terre de Johannesburg (2002).

Ce volontarisme politique s'appuie sur un double constat.

Premier constat : réduire la fracture énergétique est une composante essentielle de la lutte contre la pauvreté. L'électricité est un « *service élémentaire* »¹, et y accéder est un préalable non suffisant mais nécessaire pour améliorer les conditions d'apprentissage et de travail ainsi que la situation sanitaire (cf. schéma infra), et pour développer des activités économiques.

Deuxième constat : cette réduction de la fracture énergétique ne peut se faire sans prise en

compte des impacts sur l'environnement, ni cohérence avec la lutte contre les effets du changement climatique ; il faut donc privilégier l'accès à l'électricité via les énergies renouvelables.



Développement humain

La notion de « développement humain » peut se définir comme le processus visant à élargir au maximum les possibilités offertes aux êtres humains pour améliorer leurs conditions d'existence et pour connaître le bien-être sur un territoire donné : possibilités d'accéder aux revenus et à l'emploi, à l'éducation et aux soins de santé et à un environnement ne présentant pas de danger, possibilité de participer pleinement aux décisions de la communauté et de jouir des libertés humaines, économiques et politiques.

Source : PNUD, « Rapport mondial sur le développement humain 1990 » (New York : PNUD, 1990), 10.

1. Organisation des Nations unies, « Rapport du Sommet mondial pour le développement durable » (New York, 2002).



Accès à l'énergie

L'accès à l'énergie correspond à la disponibilité physique des services énergétiques modernes, y compris l'accès à l'électricité et à des appareils améliorés tels que les fourneaux, afin de répondre aux besoins humains fondamentaux à des prix abordables.

Source : « Base de données Sustainable Energy for All, dérivée du SE4ALL Global Tracking Framework », Banque mondiale, AIE et ESMAP, <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/>.

.....

« L'électricité seule n'est pas suffisante pour stimuler la croissance économique mais elle est nécessaire. En permettant l'éclairage, la réfrigération, l'utilisation d'appareils électriques et de nombreux équipements et services qui ne pourraient pas être aisément introduits par une autre forme d'énergie, l'accès à l'électricité est un élément crucial de développement humain. »

Enrique Crousillat, Richard Hamilton et Pedro Antmann, « Addressing the Electricity Access Gap » (Washington, D.C : Banque mondiale, 2010).

.....



© Remy Delacloche

Accès à l'énergie et développement humain sont liés.



Principales initiatives internationales en faveur d'un accès pour tous à une énergie respectueuse de l'environnement

juillet 2001

Sommet du G8 à Gênes : les pays membres s'engagent à négocier une réduction chiffrée des émissions de gaz à effet de serre au sein de la convention climat, à assurer le financement du Fonds pour l'environnement mondial et à développer des énergies renouvelables.

septembre 2002

Sommet de la Terre de Johannesburg : dans le rapport final, le point 9 consacre l'accès à l'énergie comme un objectif auxiliaire de développement humain : « *L'accès à l'énergie facilite l'élimination de la pauvreté, en permettant la production d'autres services importants.* »¹

1. Organisation des Nations unies, « Rapport du Sommet mondial pour le développement durable » (New York, 2002), 12.

octobre 2004

Création de la **Facilité de dialogue et de partenariat de l'Initiative de l'Union européenne pour l'énergie** (EUEI PDF), pour cofinancer des projets visant à accroître l'accès à des services énergétiques modernes et durables pour les populations pauvres des pays d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique, en particulier dans les zones rurales et périurbaines.

Site : <http://www.euei-pdf.org/fr>

septembre 2007

Lancement de **Lighting Africa**, programme de la Banque mondiale et de l'IFC pour favoriser le développement du marché de solutions propres d'éclairage hors réseau dans dix pays d'Afrique subsaharienne (objectif : éclairer 250 millions de personnes à horizon 2030).

Site : <https://www.lightingafrica.org>

septembre 2011

Lancement du programme **Sustainable Energy for All** (voir encadré spécifique).

Site : <https://www.seforall.org>

juillet 2013

Lancement du programme **Power Africa** piloté par l'Agence américaine pour le développement international (USAID), en partenariat avec la Banque africaine de développement et la Banque mondiale ; il propose une assistance technique et des financements pour développer des projets durables par le biais d'entreprises américaines.

Site : <https://www.usaid.gov/powerafrica>

septembre 2015

Adoption des **Objectifs de développement durable** (Sustainable Development Goals) par l'Assemblée des Nations unies (voir encadré infra).

Site : <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr>

décembre 2015

Décision de la 21^e Convention des parties à la Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques de 1992 (COP 21) adoptant l'**Accord de Paris** et reconnaissant la nécessité de promouvoir l'accès universel à l'énergie durable dans les pays en développement, en particulier en Afrique, en renforçant le déploiement des énergies renouvelables. Si cette référence à l'énergie durable n'est pas mentionnée dans le texte de l'Accord, ce dernier prévoit des mécanismes d'atténuation, d'adaptation, de financement, de renforcement de capacités* et de transfert de technologies dont la mise en œuvre peut favoriser le développement de l'énergie durable.

décembre 2015

Lancement de l'**Initiative africaine pour les énergies renouvelables** (Africa Renewable Energy Initiative, AREI) qui rassemble les 54 pays du continent. Pilotée par l'Union Africaine, elle a pour objectif « *d'accélérer et d'accroître l'exploitation à grande échelle de l'énorme potentiel des énergies renouvelables de l'Afrique : elle vise à augmenter la capacité installée d'au moins 10 gigawatts (GW) d'ici 2020 et d'au moins 300 GW d'ici 2030. Promue par les chefs d'Etat et de gouvernement africains, cette initiative a été entérinée par la COP 21* ».²

Site : www.arei.org

2. Initiative africaine pour les énergies renouvelables, « L'Initiative de l'Afrique sur les Energies Renouvelables, Résumé » (2016).

novembre 2016

Création de l'**Alliance solaire internationale** (ASI) à l'occasion de la COP 21. Signé par 58 pays et ratifié par 26 d'entre eux, le traité vise à rassembler une coalition de pays situés en zone intertropicale, bénéficiant d'un fort ensoleillement, afin de favoriser le changement d'échelle dans le déploiement de l'énergie solaire par la réduction massive des coûts. La création d'instruments financiers visant la mobilisation d'un milliard de dollars US d'investissement dans l'énergie solaire d'ici 2030 doit permettre la mise en œuvre de ces objectifs.

Site : <http://isolaralliance.org>

Ce volontarisme se traduit dans des objectifs ambitieux d'accès universel à une électricité respectueuse de l'environnement.

La mobilisation internationale s'est notamment concrétisée dans le cadre des Nations unies. D'abord en 2011, par le lancement d'une plateforme mondiale en faveur de l'accès universel à l'électricité et de la promotion de modes de cuisson propres et efficaces : Sustainable Energy for All (SE4ALL).

Dans la lignée de cette initiative, les Objectifs de développement durable (ODD), adoptés en septembre 2015, font de l'accès à l'énergie un objectif à part entière et reprennent à leur compte les trois cibles formulées par le programme SE4ALL.

Sustainable Energy for All (SE4ALL)

Afin de transformer le système énergétique mondial de manière positive, le programme SE4ALL fixe trois objectifs à atteindre d'ici 2030 :

- 1. assurer un accès universel à l'énergie et notamment à l'électricité ;**
- 2. doubler l'efficacité énergétique, afin de diminuer la consommation totale d'énergie ;**
- 3. doubler la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique mondial, et la porter ainsi à 30 %.**

Source : « Sustainable Energy for All : SE4ALL », <https://www.seforall.org/>.

Le manque d'électricité aggrave des inégalités déjà existantes

Les ménages pauvres dépensent une part plus importante de leur revenu pour l'éclairage, dont ils ne peuvent se passer, tout en n'ayant accès qu'à des ressources de substitution plus onéreuses.

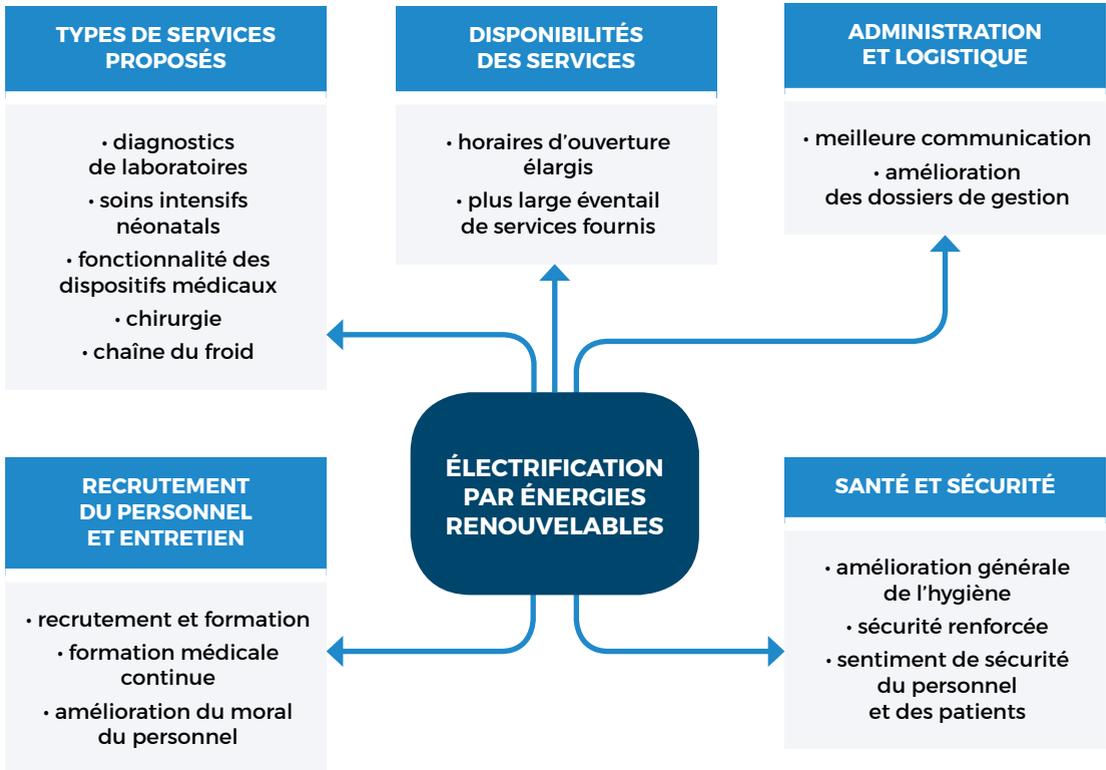
En Afrique, **les 138 millions de ménages pauvres (composés de personnes vivant avec moins de 2,50 USD (2,23 €)¹ par jour) dépensent 20 fois plus que les ménages à revenus élevés raccordés au réseau.**

Au Burkina Faso, une étude a évalué à 3100 francs CFA (4,70 €) la dépense mensuelle d'éclairage, jusqu'à **10 % du budget d'un ménage.**

Sources : Africa Progress Panel, « Africa Progress Report 2015 » (Genève, 2015), et Lighting Africa, « Lighting Africa Market Trends Report 2012 » (Nairobi, 2013).

1. Taux de change (mai 2019) : 1 € = 1,186 \$.

L'impact bénéfique de l'électrification par énergies renouvelables sur la santé



Source : IRENA, « Off grid renewable energy solutions to expand electricity access : An opportunity not to be missed » (Abu Dhabi, 2019).

L'Objectif de développement durable (ODD) n° 7 prévoit d'assurer un accès pour tous à une énergie fiable, durable et moderne, à un coût abordable. Le critère de « durabilité » qu'il énonce entre en résonance immédiate avec l'ODD n° 13, consacré à la lutte contre les changements climatiques : **la réalisation de l'objectif d'accès universel à l'énergie doit se combiner avec la transition vers une économie décarbonnée.**

L'ODD 7 est assorti de deux cibles pour sa mise en œuvre à horizon 2030 :

- **renforcer la coopération internationale** en vue de faciliter l'accès à la recherche et aux technologies relatives à l'énergie propre, notamment de sources renouvelables, l'efficacité énergétique et les nouvelles technologies relatives aux combustibles fossiles plus propres, et promouvoir l'investissement dans l'infrastructure énergétique et les technologies relatives à l'énergie décarbonnée ;
- **développer l'infrastructure et améliorer la technologie** afin d'approvisionner en services énergétiques modernes et durables tous les habitants des pays en développement (notamment les pays moins avancés, les petits Etats insulaires en développement et les pays en développement sans littoral).

Les ODD consacrent également le rôle auxiliaire essentiel de l'accès à l'énergie pour atteindre les autres objectifs de développement humain (santé, éducation, égalité des sexes, etc.), confirmant l'électrification comme un « service élémentaire » pour les populations.

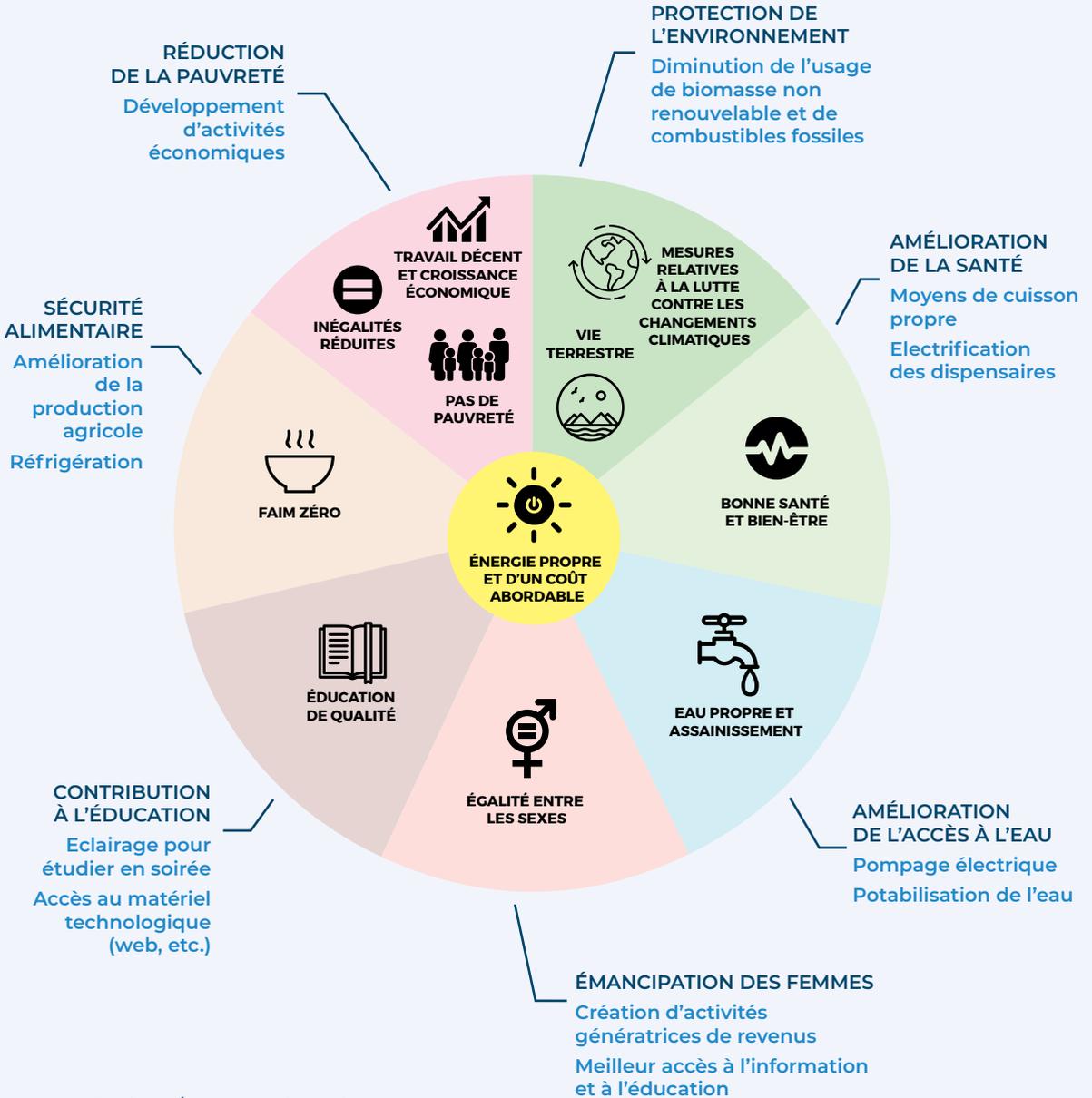


L'accès universel à « une énergie fiable, durable et moderne, à un coût abordable » est un objectif auxiliaire de nombreux autres objectifs de développement humain

« Qu'il s'agisse d'emploi, de sécurité, de changement climatique, de production de nourriture ou d'accroissement des revenus, l'accès de tous à l'énergie est essentiel. Travailler dans ce sens est particulièrement important car cela a un effet direct sur la capacité à atteindre d'autres objectifs de développement durable. »

Source : Sophie Farigoul, « Objectif de développement durable - Energies fiables, durables et modernes pour tous », ONU, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/energy/>.

Les principaux liens entre accès à l'énergie et développement humain



Source : Fondation Énergies pour le Monde.

Ces initiatives incitent de manière utile à la mobilisation et à l'action.

La majorité des instruments des organisations internationales (résolutions, déclarations, recommandations, positions, livres blancs, principes) relève de la *soft law* et n'a aucun caractère juridiquement contraignant. Ils peuvent néanmoins favoriser les engagements politiques et être à l'origine de l'édiction de nouvelles normes de droit international ou national.

Ainsi, le diagnostic sur la fracture énergétique et la formulation d'une ambition d'accès universel à l'électricité via les énergies renouvelables ont

permis de sensibiliser un grand nombre d'acteurs et d'accélérer la mise en œuvre de politiques et de programmes en faveur de l'accès à une électricité respectueuse de l'environnement.

Dans cet élan, les acteurs financiers se sont saisis du sujet, point essentiel car l'électrification nécessite des infrastructures et comporte donc une importante dimension capitaliste (cf. chapitre 2.3.2.). A titre d'exemple, entre 2012 et 2017, les engagements annuels de l'Agence française du développement (AFD) pour le secteur de l'énergie sont passés de 921 M€ à 2339 M€¹. Le financement en faveur des énergies renouvelables



Selon l'Agence internationale de l'énergie, il faudrait investir 32 milliards de dollars par an jusqu'en 2030 pour garantir l'accès à l'électricité pour tous

Dans l'« Energy access outlook » publié en 2017, l'Agence internationale de l'énergie propose différents scénarios pour l'accès à l'énergie en Afrique subsaharienne.

Selon le New Policy Scenario (NPS), dont l'objectif est l'atteinte de 60 % d'accès à l'électricité en Afrique subsaharienne en 2030, 6 milliards USD (5,36 Mds €) par an d'investissements seraient nécessaires, soit 84 milliards USD (75 Mds €) sur la période 2017-2030. Pour atteindre un accès universel à l'électricité en Afrique subsaharienne d'ici 2030, le scénario Energy for All Case indique que des investissements additionnels à hauteur de 370 milliards, par rapport au NPS, sont requis sur la période 2017-2030. **Ces 454 milliards USD (406 Mds €) d'investissements cumulés, soit 32 milliards USD (28,6 Mds €) par an jusqu'en 2030, représentent l'équivalent d'1,7 fois les investissements totaux dans le secteur de l'énergie aujourd'hui.** Ces investissements seront principalement dirigés vers le développement accéléré des miniréseaux et des systèmes individuels.

A l'échelle mondiale, développer l'accès à l'électricité pour tous d'ici 2030 requiert des investissements annuels d'un montant de 52 milliards USD (46,5 Mds €).

Source : AIE, « Energy Access Outlook 2017, From Poverty to Prosperity » (Paris, 2017).

et de l'efficacité énergétique a représenté 60 % de ces engagements tandis que 8 % ont été dédiés à l'accès à l'énergie, soit un montant de 940 M€.

Néanmoins, les objectifs collectifs que la communauté internationale s'est fixés à horizon 2030 sont, comme souvent, très ambitieux.

Selon les projections actuelles, il est impossible d'atteindre les 100 % d'accès universel : à rythme constant d'électrification, plus de 670 millions de personnes seront toujours sans accès à l'électricité en 2030. Pour inverser la tendance, il faudrait investir massivement : multiplier les investissements actuels par cinq pour atteindre l'accès universel, et les multiplier par deux ou trois pour atteindre les objectifs relatifs aux énergies renouvelables².

De ce point de vue, toutes les régions du monde ne partent pas avec le même « handicap » : si la trajectoire de certaines régions (Asie du Sud par exemple) semble converger favorablement vers les objectifs 2030, celle qu'emprunte le continent africain est plus préoccupante.

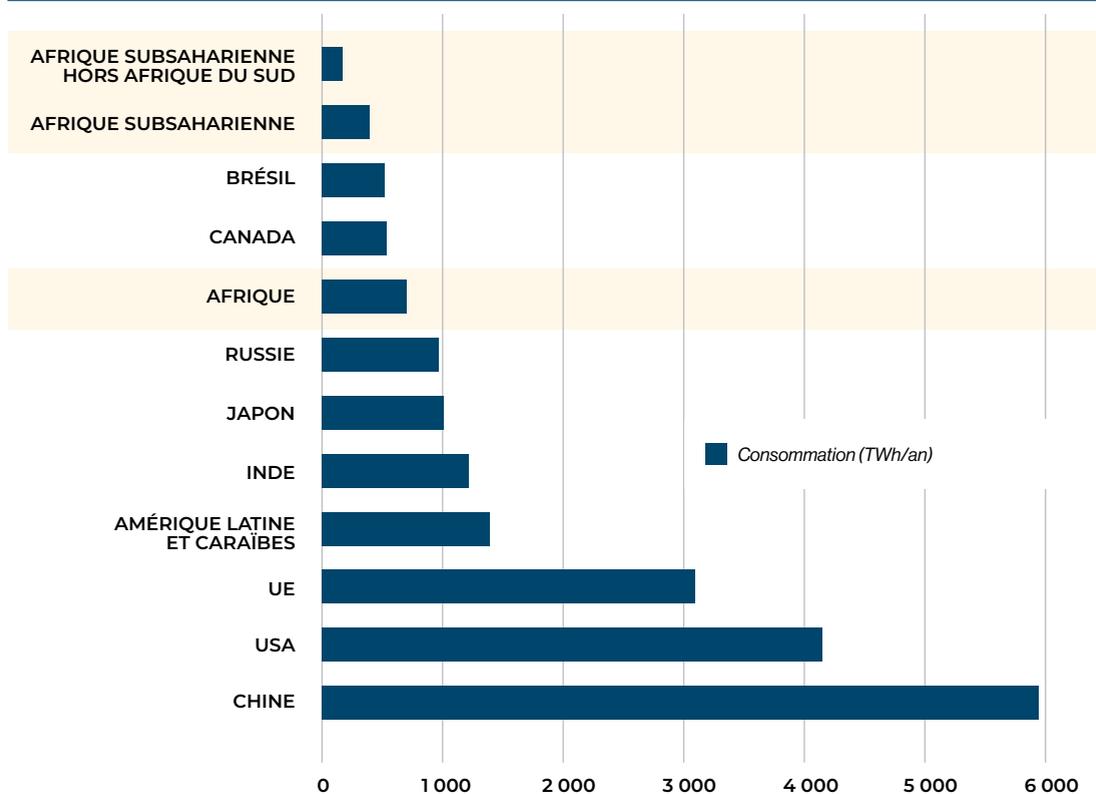
1. « Agence française de développement, « Accélérer la transition énergétique en Afrique » (Paris, 2016).

2. Banque mondiale, « State of Electricity Access Report » (Washington, D.C, 2017).



Forum SE4ALL septembre 2017.

Comparaison des consommations annuelles d'électricité en Afrique et dans le monde



Source : Schéma réalisé à partir de la base de données de la Banque Mondiale (<https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/>) et du rapport « Key World Energy Statistics 2018 » de l'AIE.

L'accès à l'électricité pour tous sur le continent africain est loin d'être une réalité.

60 % des Subsahariens (environ 600 millions de personnes¹) n'ont toujours pas accès à un service électrique. Par ailleurs, quand il existe, le service n'est pas nécessairement fiable.

En 2012, la Banque mondiale évoque une « crise énergétique » pour 25 des 54 pays africains en raison des dysfonctionnements des installations existantes (du fait de l'insuffisance de leur

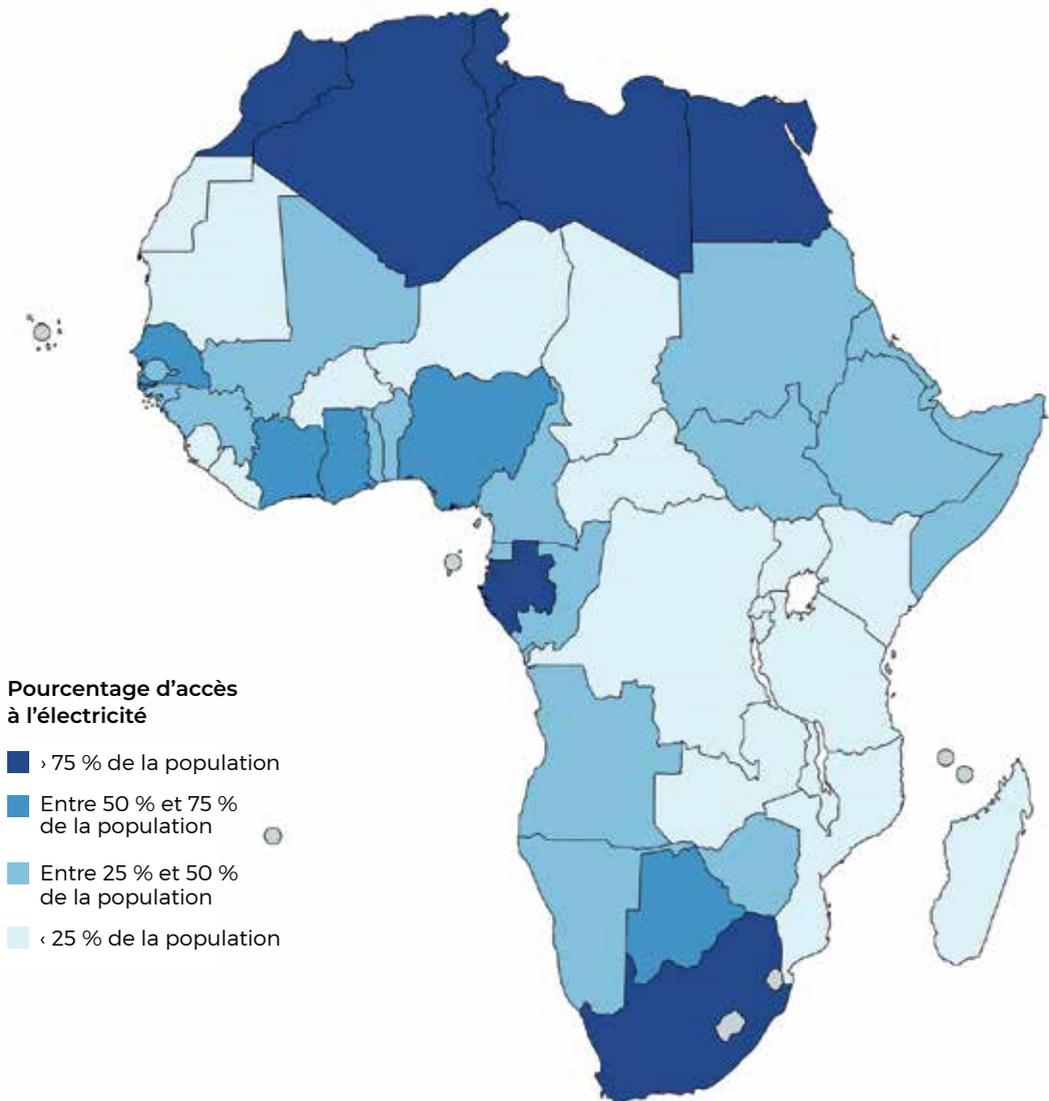
entretien ou de leur sous-dimensionnement) et, surtout, de l'accès limité à l'électricité.

L'AFD estime à 5 milliards de dollars les dépenses annuelles des ménages et des entreprises africains pour pallier l'absence d'accès à un service électrique fiable².

1. « Agence française de développement, « Accélérer la transition énergétique en Afrique » (Paris, 2016).

2. Banque mondiale, « State of Electricity Access Report » (Washington, D.C, 2017).

On constate de fortes disparités entre sous-régions



Source : AIE « World Energy Outlook » (Paris, 2015).

C'est l'Afrique subsaharienne qui connaît la fracture la plus marquée en matière d'accès à l'électricité.

Cette sous-région concentre 57 % de la population mondiale dénuée d'accès à l'électricité.

En 2017, deux habitants sur trois n'ont toujours pas accès à un service électrique. Les chiffres continuent à cacher une réalité très hétérogène : on observe de grandes disparités entre pays ou sous-régions, mais aussi entre zones rurales et urbaines. La fracture énergétique entre zones rurales et urbaines est particulièrement prononcée. En 2016, le taux d'électrification rurale est inférieur à 20 % dans près de deux tiers des pays de la sous-région (hors Afrique du Sud), et inférieur à 10 % pour 17 d'entre eux. Seuls 5 pays dépassent les 50 % (alors que le taux est supérieur à 90 % en Afrique du Nord).

Or, plus de 60 % de la population de la sous-région est rurale.



Afrique subsaharienne

L'Afrique subsaharienne s'étend sur 22 millions de kilomètres carrés au sud du Sahara. En 2017, elle comptait 1,06 milliard d'habitants dans 48 Etats (voir liste infra.). Elle abrite 33 des 47 pays les moins avancés (PMA).

Afrique du Sud, Angola, Bénin, Botswana, Burkina Faso, Burundi, Cap-Vert, Cameroun, Comores, Côte d'Ivoire, Erythrée, Ethiopie, Gabon, Gambie, Ghana, Guinée, Guinée-Bissau, Guinée équatoriale, Kenya, Lesotho, Libéria, Madagascar, Malawi, Mali, Maurice, Mauritanie, Mozambique, Namibie, Niger, Nigéria, Ouganda, République centrafricaine, République démocratique du Congo, République du Congo, Rwanda, Sao Tomé-et-Principe, Sénégal, Seychelles, Sierra Leone, Somalie, Soudan, Soudan du Sud, Swaziland, Tanzanie, Tchad, Togo, Zambie, Zimbabwe.

Source : ONU.



Taux d'accès à l'électricité selon la Banque mondiale

L'accès à l'électricité correspond au pourcentage de la population disposant d'un accès à l'électricité. Les données sur l'électrification sont obtenues auprès de l'industrie, d'enquêtes nationales et de sources internationales.

Source : « Base de données Sustainable Energy for All (SE4ALL) dérivée du SE4ALL Global Tracking Framework », Banque mondiale, AIE et ESMAP, <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/>.

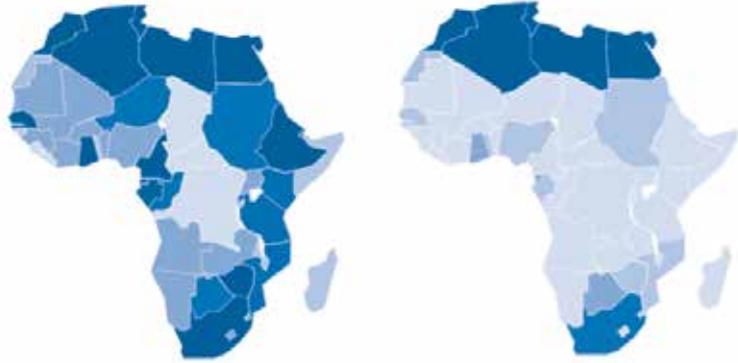
La région affiche également une faible consommation d'électricité par rapport au reste du monde. Selon la Banque mondiale, sur la période 2010-2014, la consommation moyenne annuelle par habitant en Afrique subsaharienne équivalait à seulement 4 % de la consommation par habitant des Etats-Unis, à 15 % de celle de la Chine et à 21 % de celle du Brésil.

Par ailleurs, la tendance régionale est préoccupante. Entre 2000 et 2014, le nombre de personnes vivant sans accès à l'électricité a augmenté, la forte croissance démographique n'ayant pas été accompagnée des efforts d'électrification nécessaires, notamment en zone rurale.

On constate de fortes disparités entre milieu urbain (à gauche) et milieu rural (à droite)

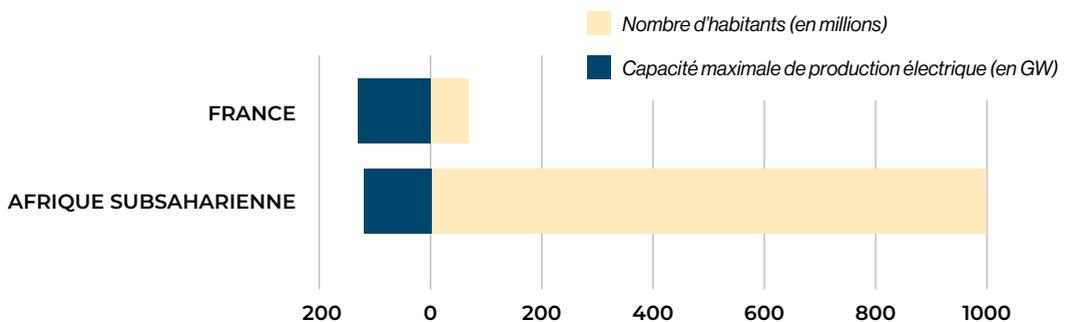
Taux d'accès à l'électricité

- > 80 % de la population
- Entre 60 % et 80 % de la population
- Entre 40 % et 60 % de la population
- Entre 20 % et 40 % de la population
- < 20 % de la population



Source : Analyse Sia Partners d'après l'AIE, « World Energy Outlook » (Paris, 2015).

L'Afrique subsaharienne a une même capacité de production que la France, pour quatorze fois plus d'habitants



Source : Schéma réalisé à partir de la base de données de la Banque Mondiale (<https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/>) et du rapport « Key World Energy Statistics 2018 » de l'AIE.

La sous-région¹ souffre d'une production installée trop faible par rapport aux besoins, largement inférieure à celle d'un pays comme la France, et d'infrastructures de distribution insuffisantes. Alors que la capacité maximale de production électrique de la France est de 130 GW pour 67 millions d'habitants, celle de l'Afrique subsaharienne est de 122 GW pour plus d'1 milliard d'habitants².

Or, la demande en électricité en Afrique subsaharienne va rester forte, sous l'effet conjugué des croissances économique et démographique.

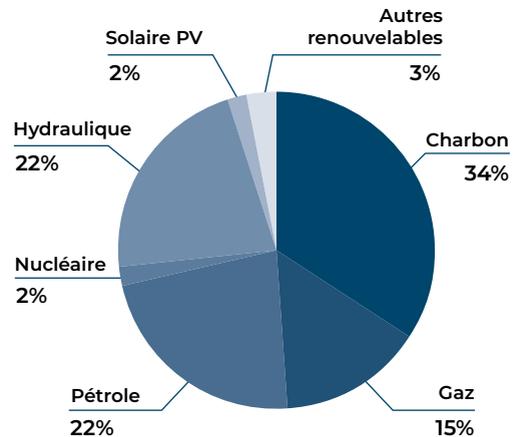
Les projections actuelles prévoient une croissance économique moyenne entre 3 et 4 % sur la période 2019-2020³. Cela induit une demande grandissante en électricité pour les usages productifs (agriculture, artisanat, commerce, industrie) et un besoin important d'infrastructures pour y répondre. D'autant que le rythme démographique restera soutenu. A l'horizon 2050, la population d'Afrique va doubler et dépasser les 2,4 milliards d'habitants, dont 2,2 milliards au sud du Sahara⁴.

Par ailleurs, la population rurale continuera de croître numériquement et les nouveaux actifs se trouveront majoritairement en zone rurale (cf. encadré p.59) ; le rythme d'électrification actuel ne permettra pas de couvrir les besoins.

D'où un double défi social et environnemental : suivre la demande d'électricité selon une trajectoire de croissance sobre en carbone.

Même si le continent africain a aujourd'hui l'empreinte écologique la moins forte au monde⁵, la poursuite d'une forte croissance démographique oblige à se poser la question des modalités de production de l'électricité. En 2016, la combustion fossile était la principale source de production d'électricité en Afrique (80 % de

Capacité de production en Afrique Subsaharienne par type d'énergie en 2016 (total = 122 GW)



Source : AIE, « World Energy Outlook » (Paris, 2015).

la production totale d'électricité⁶), les énergies renouvelables non hydrauliques représentant seulement 2,5 % de la production⁷.

Or, les impacts du changement climatique sont déjà visibles sur le continent (cf. encadré p.60) : raréfaction de la ressource eau, cycle des pluies bouleversé, augmentation des températures... La sous-région subsaharienne est et restera une des zones les plus touchées par le changement climatique selon le GIEC⁸, du fait « de sa situation géographique et de ses faibles ressources institutionnelles d'intervention pour des raisons politiques et économiques »⁹.

La question est donc de savoir si les énergies renouvelables, dont l'Afrique subsaharienne dispose en abondance, pourront vraiment jouer le rôle fondamental qu'on attend d'elles pour accroître l'accès à l'électricité tout en atténuant les effets du changement climatique. ○



Population rurale : une dynamique démographique unique et une croissance sans précédent

L'Afrique subsaharienne a été la dernière région du monde à s'engager dans sa transition démographique, plus lente que prévu. Alors qu'en Afrique australe et dans certains pays d'Afrique de l'Ouest côtière, le nombre d'enfants par femme a chuté à moins de trois, la plupart des autres régions affichent des baisses plus lentes et incertaines. En conséquence, la population estimée de l'Afrique subsaharienne en 2050 a été réévaluée à la hausse de 208 millions de personnes, et la région devrait atteindre 2,2 milliards d'habitants à cette date.

L'Afrique subsaharienne est également unique par l'importance durable de sa population rurale. En 2015, la proportion moyenne de ruraux était encore estimée à 62 %. Alors que le monde a basculé progressivement vers les villes et continue de s'urbaniser rapidement, la région reste essentiellement rurale en raison d'un processus d'urbanisation relativement récent. Elle ne devrait atteindre le point de bascule du rural vers l'urbain qu'à la fin des années 2030. La population urbaine a décuplé depuis les années 1960, mais cette croissance s'est stabilisée aux alentours de 3,5 à 4 % par an du fait de la faible transformation structurelle de la plupart des économies d'Afrique subsaharienne.

En 2050, on estime que la population rurale subsaharienne sera de 980 millions de personnes, soit le tiers de la population rurale mondiale. La population rurale connaîtra une augmentation de 63 %, soit 380 millions de ruraux supplémentaires, impliquant une hausse significative des densités rurales. Le plus grand défi pour l'Afrique subsaharienne est donc de générer suffisamment d'emplois pour absorber une force de travail en plein essor. Sur la base de la répartition actuelle de la population et des tendances migratoires vers les villes, près de 60 % des nouveaux travailleurs (soit environ 220 millions) seront très probablement en zone rurale.

Source : Sara Mercandalli et Bruno Losch, « Une Afrique rurale en mouvement - Dynamiques et facteurs des migrations au sud du Sahara » (FAO et Le Cirad, 2018).

1. Hors Afrique du Sud.

2. Agence Internationale de l'Énergie, « World Energy Outlook » (Paris, 2015), 78.

3. Banque africaine de développement, « Perspectives économiques en Afrique 2019 » (Abidjan, 2019). Banque mondiale, « Global Economic Prospects » (Washington, DC, 2019).

4. François Héran, « L'Europe et le spectre des migrations subsahariennes », Population et Sociétés, n° 558 (2018).

5. « Open Data Platform », Global Footprint Network, <http://data.footprintnetwork.org/#/>

6. Agence Internationale de l'Énergie, « Key World Energy Statistics 2016 » (Paris, 2016).

7. Agence Internationale de l'Énergie, « Key World Energy Statistics 2016 » (Paris, 2016).

8. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, « Rapport spécial du GIEC - Réchauffement planétaire de 1,5 °C » (2018).

9. Marta Musso et Roberto Cantoni, « L'énergie en Afrique : les faits et les chiffres. Introduction », Afrique Contemporaine 1-2, no 261-262 (2017) : 10.



Les impacts du changement climatique en Afrique subsaharienne

L'Afrique subsaharienne, qui représente 14 % de la population mondiale, est la région qui a le moins contribué au réchauffement climatique. Malgré une augmentation de ses émissions de CO₂ au cours des années précédentes, ces dernières demeurent très faibles (3,6 % des émissions globales) en comparaison de celles de l'Europe ou des Etats-Unis. La principale contribution de l'Afrique au changement climatique est liée au rythme accéléré de la déforestation sur le continent au cours des dernières décennies.

Pourtant, l'Afrique subsaharienne est identifiée, par le GIEC notamment, comme la zone la plus vulnérable au changement climatique. Avec 75 % de sa superficie se situant dans la zone tropicale, le continent connaît une multitude de changements environnementaux. La désertification et la sécheresse affectent certaines zones, tandis que l'élévation du niveau de la mer, les risques d'inondation ou les phénomènes d'érosion côtière en impactent d'autres. Selon les projections climatiques, les épisodes d'extrême chaleur ne devraient pas s'atténuer mais, au contraire, devenir plus fréquents.

Les répercussions de ces changements, multiples, se ressentiront (et se ressentent déjà) tant sur les modes de vie humains que sur les écosystèmes naturels, en raison d'une forte dépendance à l'agriculture, d'un niveau de pauvreté élevé et d'une vulnérabilité accrue par une faible capacité d'adaptation. En effet, les systèmes de production agricole, dont dépend une grande partie de la population, seront particulièrement perturbés par la modification des saisons des pluies et une augmentation des températures plus importante qu'ailleurs.

Le GIEC estime ainsi que les récoltes insuffisantes, la perte de bétail et la pénurie d'eau dues au climat pourraient conduire 250 millions d'Africains à souffrir d'insécurité alimentaire, première cause d'exode rural.

Sources :

- AIE, « World Energy Outlook » (Paris, 2017).
- AIE, « Key World Energy Statistics 2017 » (Paris, 2017).
- Christopher B. Field et al., « Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Summary for Policymakers. » (Cambridge et New York : GIEC, 2014), 1-32.
- Laurence Caramel, « L'Afrique doit prendre sa part de responsabilité dans la lutte contre le changement climatique », grand entretien avec Arona Diedhiou, *Le Monde* (en ligne), 12 décembre 2018, https://www.lemonde.fr/planete/article/2018/12/12/l-afrique-doit-prendre-sa-part-de-responsabilite-dans-la-lutte-contre-le-changement-climatique_5396144_3244.html.



Electrification rurale par énergies renouvelables et lutte contre le changement climatique

En dépit d'une absence de preuves empiriques de l'impact de l'accès à l'électricité sur la résilience des populations au changement climatique, des liens indirects sont relevés. Une étude (Scott et al., 2017) illustre les effets positifs de l'électricité sur les capacités d'adaptation, d'anticipation et d'absorption nécessaires pour la résilience au changement climatique. L'électrification rurale par énergies renouvelables apparaît comme un moyen pertinent pour réduire la dépendance aux ressources fossiles, dont les coûts, en constante augmentation, pèsent de façon significative sur le budget des ménages ruraux. Elle incite également les communautés locales à s'approprier leurs sources d'électricité et à contribuer à leur gestion. Elle facilite aussi les communications et l'accès à l'information et améliore la diffusion des alertes en cas d'aléas climatiques graves, permettant ainsi aux populations, même isolées, de se protéger et de mieux en anticiper les conséquences.

Les systèmes décentralisés renouvelables peuvent également pallier les défaillances des infrastructures centralisées tant qu'elles ne sont pas restaurées. Les risques de coupures ou de pannes prolongées s'amenuisent dans le cadre de projets décentralisés de petite échelle, où les structures locales en charge de l'exploitation peuvent intervenir dans des délais réduits. Les réseaux de transmission et de distribution traditionnels sont, eux, vulnérables aux phénomènes météorologiques extrêmes, dont la fréquence risque d'augmenter. Leur perturbation peut, par ricochet, mettre un terme à d'autres infrastructures essentielles telles que les services de transport et de santé.

Enfin, les applications annexes de l'utilisation de l'énergie solaire, tel le pompage solaire, permettent de faciliter l'accès aux ressources en eau et l'augmentation des cultures, renforçant ainsi la sécurité alimentaire.

Sources :

- AIE, « World Energy Outlook » (Paris, 2017), 80.
- Andrew Scott et al., « How solar household systems contribute to resilience » (ODI, 2017).
- Valérie Masson-Delmotte et al., « Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Summary for Policymakers » (Genève : GIEC, 2018), 32.
- AIE, « Key World Energy Statistics 2016 » (Paris, 2016).

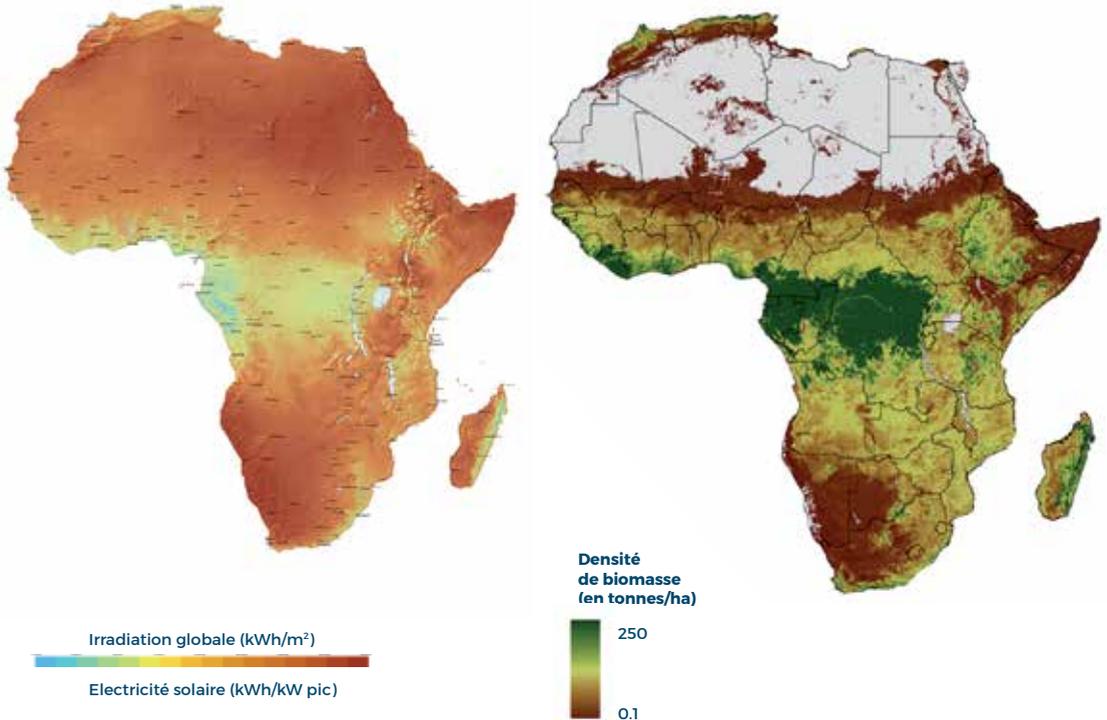
1.1.2.

La région dispose pourtant d'un important potentiel d'électrification à partir des gisements d'énergies renouvelables.

L'accès à l'électricité en milieu rural connaît un regain d'intérêt et d'activités grâce aux nouvelles possibilités offertes par l'utilisation des sources d'énergies renouvelables (EnR). Disponibles sur tous les territoires, ces sources

permettent de produire de l'électricité sur le lieu même de sa consommation et d'éviter les coûts liés à son acheminement depuis les centrales de production.

Carte des EnR en Afrique : potentiels solaire et biomasse



Sources : Alan Belward et al., « Renewable Energies in Africa - Current Knowledge » (Luxembourg : Joint Research Centre (Commission Européenne), 2011).

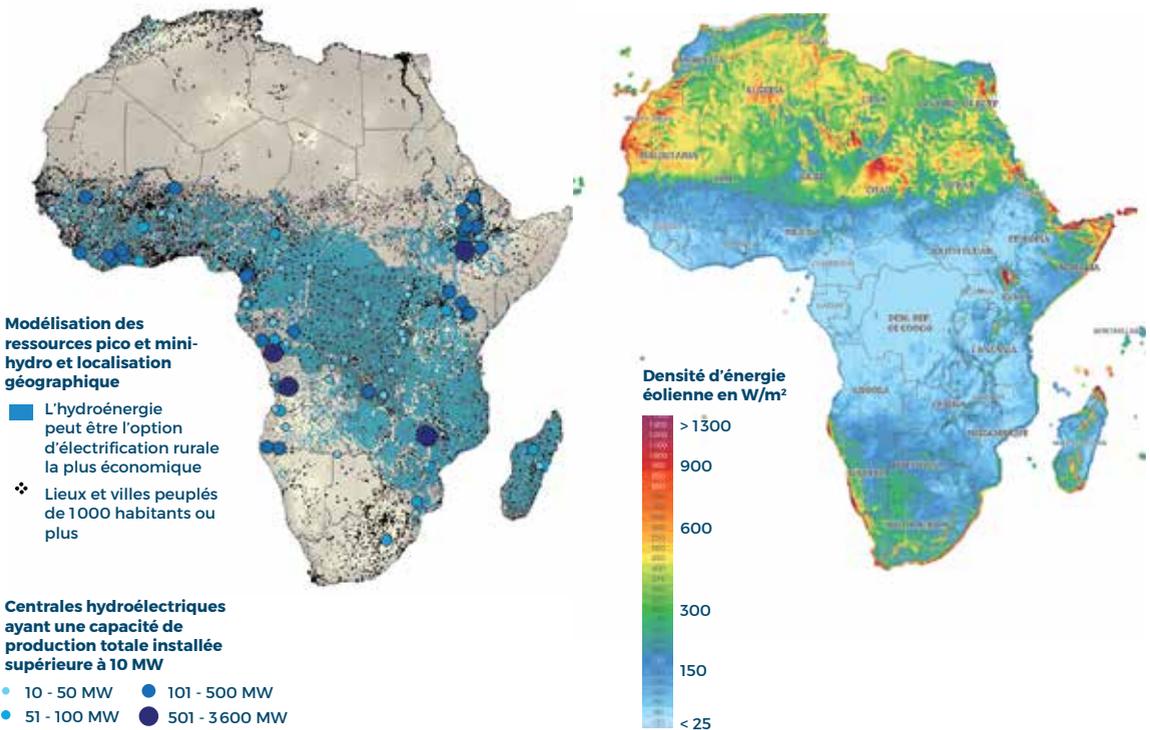
Or, la majorité des pays présentant un faible taux d'électrification rurale se situe entre les tropiques, dans la zone subsaharienne en particulier, généralement dotée en ressources renouvelables.

Si la palette des énergies renouvelables exploitables est large, l'énergie solaire est de loin la source la plus abondante.

L'énergie solaire est abondante dans les zones tropicales. La biomasse est omniprésente, particulièrement en Afrique centrale. Les massifs

montagneux d'Afrique de l'Ouest et les cours d'eau d'Afrique centrale regorgent de gisements hydrauliques. L'éolien peut être exploité sur les côtes des zones tropicales. La diversité des sources et le potentiel, très important, du gisement solaire sont porteurs d'un fort espoir. Toutefois, quelle que soit la source, la confrontation au réel et les retours d'expérience rappellent que les contraintes associées ne doivent pas être sous-estimées lorsqu'il s'agit d'utiliser les énergies renouvelables pour l'électrification hors réseau de sites isolés aux faibles consommations électriques.

Carte des EnR en Afrique : potentiels hydro et éolien



Sources : Alan Belward et al., « Renewable Energies in Africa - Current Knowledge » (Luxembourg : Joint Research Centre (Commission Européenne), 2011).

L'énergie solaire

Pendant longtemps, le gisement solaire n'a pas été pris en considération comme source possible pour la production d'électricité. L'Agence internationale de l'énergie ne le comptabilise que depuis 2012, par exemple. Etant donné le potentiel mondial de ce gisement (23000 TWh/an), sa comptabilisation vient bouleverser la hiérarchie établie entre les différentes sources (cf. schéma).

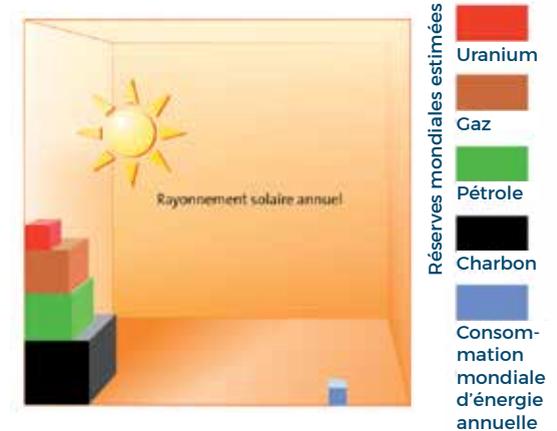
Le gisement solaire est parfaitement connu sur la totalité du territoire africain, grâce aux mesures disponibles, principalement fournies par l'aviation civile, et corroborées par celles de la NASA. Ces mesures couvrent une longue période et sont fiables. Les ensoleillements relativement constants au cours de l'année (de l'ordre de 6 kWh/m²/jour en zone tropicale et de 4 kWh/m²/jour en zone équatoriale¹) permettent une utilisation efficace des systèmes solaires photovoltaïques (PV)².



© Fondation Énergies pour le Monde

Les batteries permettent de stocker l'électricité.

Le gisement solaire excède largement les besoins en énergie mondiaux



Source : Solarpraxis Engineering, <https://www.solarpraxis.com/english/>.

Dès que la ressource solaire est utilisée seule, son intermittence journalière (ou l'existence de périodes d'hivernage³), son talon d'Achille, requiert de lui adjoindre un système de stockage d'électricité et/ou de réaliser une hybridation (couplage avec des sources de production pilotables).

Sur la technologie solaire photovoltaïque, voir aussi le chapitre 3.1, qui en détaille le fonctionnement.

1. A comparer avec l'irradiation horizontale moyenne en France : 1100 à 1700 kWh/m²/an (source : Solargis), soit 3 à 4,6 kWh/m²/jour, mais très variable d'un jour à l'autre.
2. Il existe d'autres applications, non pertinentes pour la production d'électricité, comme le solaire thermodynamique.
3. En saison des pluies notamment, qui peut se traduire par une baisse significative de l'ensoleillement, par exemple dans les pays côtiers comme la Guinée ou la Sierra Leone.

L'énergie éolienne

Le potentiel éolien d'un site étant complexe à mesurer, cette ressource est moins bien connue. Il est rarement constant tout au long de l'année et est influencé par son environnement direct (microclimat local).

Aussi est-il nécessaire de réaliser des campagnes de mesure du potentiel éolien sur un an au moins, puis d'effectuer une corrélation avec les résultats mesurés par les stations les plus proches. En électrification hors réseau, il est particulièrement important d'obtenir des données sur plusieurs années.

La connaissance de la distribution des vitesses de vent est une information majeure, la puissance électrique délivrée étant proportionnelle au cube de la vitesse du vent. On constate souvent de longues périodes sans vent, ce qui requiert l'hybridation des systèmes de production électrique. A l'inverse, l'éventualité de vents violents, tornades ou cyclones pénalise les sites potentiels, compte tenu des risques de détériorations si les travaux de mise en sécurité des éoliennes ne sont pas réalisés à temps.



Les éoliennes d'Ambondro (Madagascar)



© Fondation Énergies pour le monde

Deux éoliennes de 6 kW chacune, associées à un réseau local de distribution électrique, alimentent la localité d'Ambondro, à l'extrême sud de Madagascar, depuis novembre 2010. Moins d'un an après leur mise en service, un défaut de serrage d'un boulon fixé sur le moyeu de l'une d'entre elles a détérioré le rotor de la machine. Encore sous garantie, les pièces ont été remplacées par le fabricant et réinstallées par l'installateur, qui disposait d'une base à proximité. Un serrage convenable a évité que le phénomène ne se reproduise. Quoiqu'il en soit, les pièces en mouvement sur des équipements innovants sont sources de défaillance et de rupture de service. Dans le cas présent, la redondance des éoliennes a limité l'impact négatif de la panne.

Source : Fondation Énergies pour le Monde, projet RESOUTH.

Il y a encore une dizaine d'années, l'éolien était une option économiquement compétitive dans les zones où le gisement éolien était constant et soutenu. Aujourd'hui, la baisse très significative du coût du photovoltaïque disqualifie souvent l'éolien pour les faibles puissances. De plus, l'usure des pièces en mouvement induit des contraintes d'exploitation fortes dans un contexte rural.



Biomasse

Le dictionnaire donne de la biomasse une définition générale et incomplète :

« Masse de matière vivante, animale ou végétale, de la surface du globe terrestre. »

En réalité, la biomasse comprend aussi l'ensemble de la matière organique biodégradable produite par le vivant. Elle englobe les constituants de l'alimentation humaine et animale, des matériaux (bois, cuir, papier, carton, cordage), des textiles (coton, lin, soie), des composés chimiques (résines, cosmétiques, médicaments), les fertilisants naturels (fumure, compost) et les déchets organiques, ainsi que la totalité des combustibles biosourcés (bois de feu, charbon de bois, biocarburants, biogaz, biocombustibles industriels).

Source : Christian de Gromard et Roland Louvel. « De la biomasse à la bioéconomie, une stratégie énergétique pour l'Afrique ? », *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017).

La biomasse

La biomasse est omniprésente en Afrique subsaharienne. Sous ses formes sèche ou humide, la ressource peut être utilisée dans les domaines énergétique, alimentaire et industriel. Toutefois, pour satisfaire les besoins de communautés rurales, le recours à la biomasse, si prometteur soit-il, n'a pas, à ce jour, été concluant.

Deux types de contraintes pénalisent cette solution : d'une part, les contraintes techniques des petites installations aux régimes de charge variables, et, d'autre part, les contraintes d'approvisionnement de la ressource sous ses diverses formes (qualité et quantité suffisantes et constantes).

En l'état actuel des technologies, les contraintes permettent rarement à la biomasse de fournir une électricité fiable et pérenne, quelle que soit la technique utilisée (unité de gazéification, moteur à huile de jatropha, turbine à vapeur, etc.).

Si le potentiel existe, des recherches sont encore nécessaires pour l'exploitation de la ressource. D'autres facteurs exogènes peuvent complexifier l'équilibre nécessaire de l'écosystème local, comme les facteurs démographiques et le changement climatique.



Unité de gazéification (Cambodge)

Le village de Sambour, dans la province de Kampong Thom, au Cambodge, dispose de ressources de biomasse en quantité suffisante. Un installateur d'unités de gazéification est bien implanté au Cambodge. Le projet d'installation d'une unité dans le village est né de cette conjonction. Fonctionnant correctement à plein régime, le groupe électrogène* alimenté au gaz émis par la pyrolyse de la biomasse préalablement séchée a rapidement montré des signes de faiblesse, en raison d'un encrassement des cylindres aux bas régimes du moteur. Le démontage trop fréquent du bloc moteur, provoquant des arrêts intempestifs de fourniture d'électricité et augmentant les coûts d'exploitation, a eu raison de l'option technique innovante. L'unité de gazéification a été remplacée par un groupe thermique fonctionnant à l'essence.

Source : Fondation Énergies pour le Monde, projet Energie Solidarité Mékong II.



© Fondation Énergies pour le monde

Unité de gazéification de Sambour.

L'énergie hydraulique

En dehors de la zone sahélienne, l'Afrique dispose d'une très importante ressource d'énergie hydraulique : le potentiel est de l'ordre de 1750 TWh/an, dont 3 % seulement sont exploités¹.

Si cette énergie semble être la ressource idéale pour l'électrification de localités proches des cours d'eau, grâce à des coûts d'investissement et de fonctionnement intéressants dès que le contexte est favorable, le potentiel des sites est souvent très mal connu en contexte rural. Aussi, réaliser des études de faisabilité précises est-il un impératif : quelles que soient la puissance, la technologie et la configuration envisagées, il faut analyser la pluviométrie de la région, l'hydrologie du fleuve², ainsi que la géologie et les contraintes géométriques du site.

En ce qui concerne les sites disposant de chutes, de nombreuses informations sont à connaître et analyser avec soin, alors même que les contextes locaux ne favorisent pas la précision des données collectées. Notamment : la puissance disponible, la durée de la période d'étiage (niveau d'un cours d'eau à son point le plus bas), la distance aux lieux de consommation et les coûts du génie civil. Pour les sites proches de cours d'eau sans dénivélé mais au courant rapide, les informations hydrauliques sont relativement aisées à obtenir ; celles concernant les matériaux charriés, les baisses de niveau, les ancrages doivent être l'objet de la plus grande attention.

De nouveaux types d'hydroliennes, solution qui exploite la vitesse de l'eau comme les éoliennes exploitent la vitesse du vent, permettent aujourd'hui d'élargir l'éventail de sites susceptibles d'être

1. Organisation des Nations unies pour le développement industriel 2009, et Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture 2011.

2. Cependant, si la puissance exploitée est inférieure à la puissance disponible – on n'utilise qu'une partie du débit – les résultats de l'étude hydrologique sont moins critiques.



Centrale hydraulique d'Antetetzambato (Madagascar)

Depuis 2002, la centrale hydraulique d'Antetetzambato, au centre de Madagascar, fournit de l'électricité à 180 abonnés domestiques et économiques grâce à un réseau couvrant un périmètre de 2 kilomètres de rayon. Sur un cours d'eau étroit, à la base d'une chute munie d'une petite retenue, la centrale fournie par la société belge JLA, au génie civil restreint, débite une puissance de 42 kW. Pendant la période d'étiage, de trois semaines maximum, les abonnés ont convenu de revenir aux anciennes habitudes pour s'éclairer, sans que cela ne pose problème. L'opérateur, un ancien professeur, exploite avec une petite équipe la centrale et le réseau, depuis dix sept ans, sans autres arrêts que ceux nécessaires à la maintenance. Le remplacement de la courroie, seul composant à changer régulièrement, fabriquée en Europe, doit faire l'objet d'anticipations.



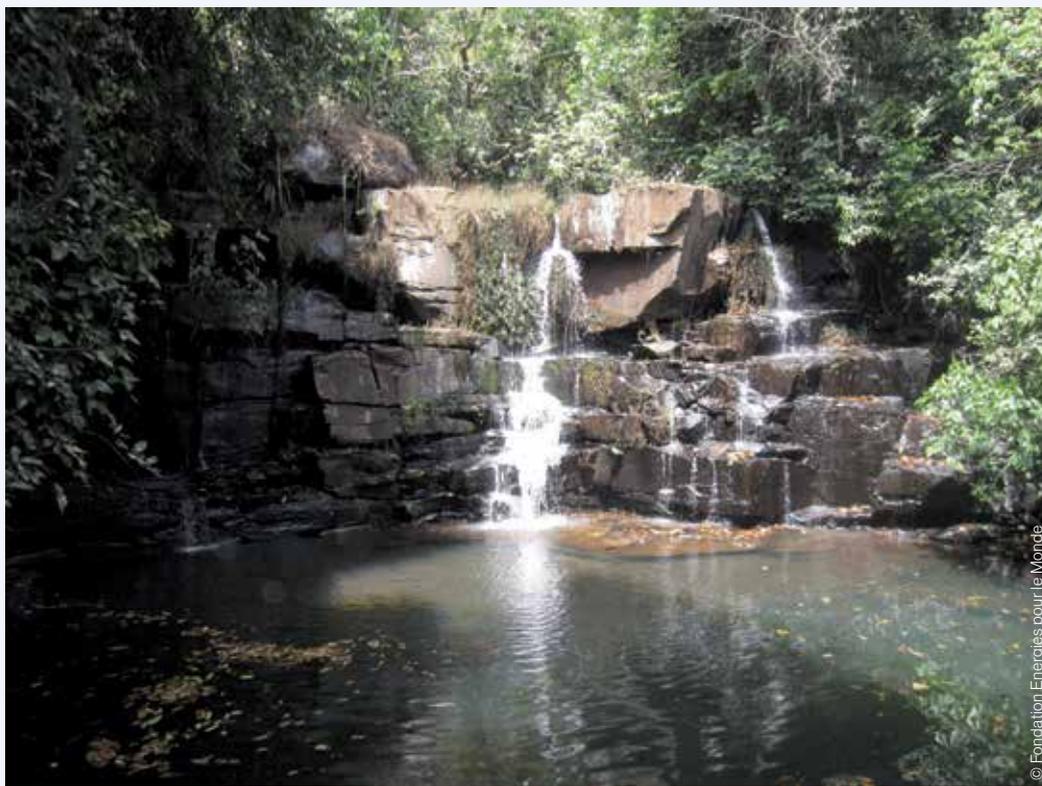
Microcentrale hydraulique d'Antetetzambato.



Gisement hydraulique à Kouramangui (Guinée)

La localité de Kouramangui est située au cœur du Fouta-Djalon, en Moyenne-Guinée, région connue pour être le « château d'eau » de l'Afrique de l'Ouest. Des études du gisement hydraulique menées dans le cadre de financements internationaux indiquent qu'une chute d'eau exploitable se trouve à 2 kilomètres du bourg. Les informations sont cohérentes et les travaux d'avant-projet sommaire confirment la pertinence du site.

Un projet d'électrification de la localité est donc proposé faisant appel à un système hybride solaire/hydraulique. Si le contexte semble parfait pour une réalisation sans difficulté majeure, les conclusions des travaux d'avant-projet détaillé sont, à l'étonnement des parties prenantes, contradictoires. Le site de la chute est encaissé, nécessitant des travaux de génie civil d'une envergure telle que l'option hydraulique doit être abandonnée. L'hybridation sera finalement solaire/groupe thermique, confirmant la nécessité d'une grande attention portée à l'étude préalable du site.



© Fondation Énergies pour le Monde

Gisement hydraulique de la localité de Kouramangui.

équipés. Lorsqu'une ressource suffisante et exploitable est disponible toute l'année, l'hydraulique offre un potentiel qui vient concurrencer la filière PV en termes économiques ainsi qu'en quantité et en qualité des services électriques offerts.

Les autres énergies renouvelables

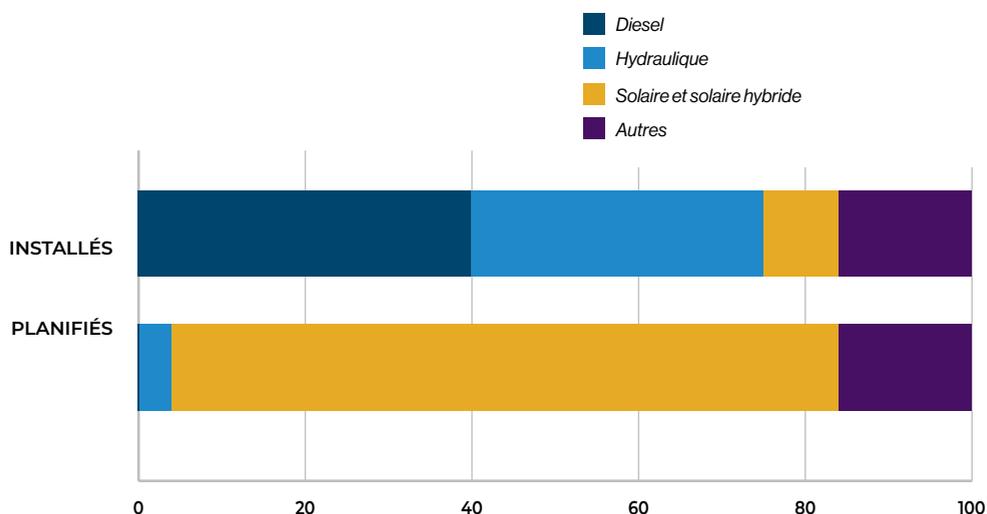
La géothermie, particulièrement présente le long de la vallée du Rift, est une source intéressante par son caractère stable et constant, mais elle requiert des investissements et des moyens techniques qui la destinent davantage à participer aux moyens de production centralisée de l'électricité (réseau national), aux côtés des centrales conventionnelles, qu'à l'électrification des zones rurales isolées.

Enfin, même si les gisements peuvent paraître importants au regard de la longueur du littoral africain, l'utilisation des énergies renouvelables marines n'est pas encore d'actualité.

Ces gisements d'énergies renouvelables sont exploitables en électrification rurale, à certaines conditions.

Le tableau suivant synthétise les atouts et limites des quatre sources d'énergie renouvelable disponibles sur le sol subsaharien et leurs conditions d'utilisation pour un usage en électrification rurale hors réseau. Il fait apparaître que le solaire présente une simplicité et une disponibilité permanente qui, jointes à son accessibilité économique, en font actuellement la source d'énergie renouvelable la plus généralisable pour la mise en œuvre de systèmes électriques hors réseau (*off-grid*). Les autres filières d'énergies renouvelables ne se déploient massivement qu'en réseau. ○

Les miniréseaux en développement sont majoritairement des installations solaires ou solaires hybrides



Source : James Knuckles, « State of the minigrid market globally, 5th minigrid Action Learning Event and Summit » (Washington, D.C : Banque mondiale, 2019).



Projet de Participation du secteur privé à l’approvisionnement en électricité d’origine micro-hydro pour le développement rural au Rwanda (PSP Hydro)

Avant 2006, la politique du gouvernement rwandais consistait à financer sur fonds publics des projets de microcentrales hydroélectriques, en l’absence de cadre réglementaire approprié pour des investissements privés à une plus grande échelle. Dans le cadre de ces projets, les installations étaient livrées « clés en main », sans transfert de compétences à des coopératives publiques ou communautaires qui en avaient la propriété. Du fait de cette politique, du manque d’expertise technique et de l’incapacité à appliquer des tarifs d’électricité reflétant les coûts, les miniréseaux gérés par les coopératives ont rapidement échoué.

Tirant les enseignements de cet échec, le projet PSP Hydro, dont l’objectif était d’appuyer le développement des entreprises privées rwandaises et celui des projets de microcentrales hydroélectriques, a formé le secteur privé et appuyé les institutions nationales pour élaborer un cadre politique et réglementaire favorable. Grâce à ces actions, il existe à ce jour au Rwanda plus de 20 entreprises actives capables de construire et exploiter des microcentrales hydroélectriques, dont 9 dans le seul secteur des petites centrales. La dizaine de centrales soutenues par le PSP Hydro est raccordée au réseau national et sa fiabilité est supérieure à celle des centrales exploitées par la société nationale. La plus grande partie de l’énergie produite peut être vendue au réseau, assurant ainsi la viabilité des centrales. Ce résultat a été obtenu avec seulement 3,4 millions

d’euros provenant des bailleurs de fonds, qui ont mobilisé environ 2,8 millions d’euros de financements privés de sources locales et internationales.



Travaux pour la construction d’une micro centrale hydroélectrique dans le cadre du projet PSP hydro au Rwanda

Le PSP Hydro doit sa réussite à l’association de l’aide financière et de la réforme politique : si un projet peut appuyer le lancement d’activités, il est d’abord nécessaire de développer un environnement politique favorable pour que son impact à long terme soit tangible.

Pour aller plus loin : retrouvez l’étude de cas intégrale sur la page web de l’ouvrage.

Sources : Etude de cas intégrale ; site internet de MARGE (<http://www.marge.eu/PSP-Hydro-in-Rwanda>)



Rhyvière I et II

Avec un taux d'accès à l'électricité d'environ 17 %, Madagascar est l'un des pays les moins électrifiés du continent africain. 77% de sa population est touchée par l'extrême pauvreté, plus particulièrement en milieu rural, où le taux d'accès à l'électricité est de 11% seulement. C'est dans ce contexte que s'est mis en place le projet Rhyvière I (Réseaux hydroélectriques villageois et protection de l'environnement), de 2007 à 2015, financé par l'Agence de développement de l'électrification rurale (ADER) malgache et l'Union européenne. Ce projet, mené par le Gret en partenariat avec Energy Assistance visait l'électrification de 2500 familles de 5 communes rurales au fort potentiel agricole, via la mise en place de centrales hydroélectriques rurales en collaboration avec les acteurs publics et privés, locaux et nationaux.

S'appuyant sur cette expérience, le projet Rhyvière II (2014 à 2019), réalisé en partenariat avec la CITE, ENEA CONSULTING et l'IRD, a permis d'effectuer un changement d'échelle. Des centrales hydroélectriques de plus grande envergure ont été installées et la méthode générale d'intervention a été renforcée sur les 3 derniers volets, sur les 4 qu'elle comporte :

- Energie : construire et pérenniser les centrales hydroélectriques et les solutions décentralisées, ainsi que le service d'électricité dans ce secteur peu rentable ;
- Environnement : protéger les bassins versants et la ressource en eau des dommages environnementaux (ex : déforestation) ; son altération en qualité et en quantité entraverait en effet le fonctionnement des centrales ;
- Socioéconomique : former la population et les petites entreprises aux opportunités économiques liées à l'électricité et favoriser le développement économique des sites ;
- Gouvernance : impliquer les autorités locales dans le schéma de maîtrise d'ouvrage, encourager la formation d'associations d'usagers, s'assurer que le service électrique installé bénéficie bien à l'ensemble de la population.

Enfin, les résultats des travaux de suivi-évaluation et de capitalisation ont fourni des références pour la politique nationale d'électrification rurale et des recommandations pour les futurs projets

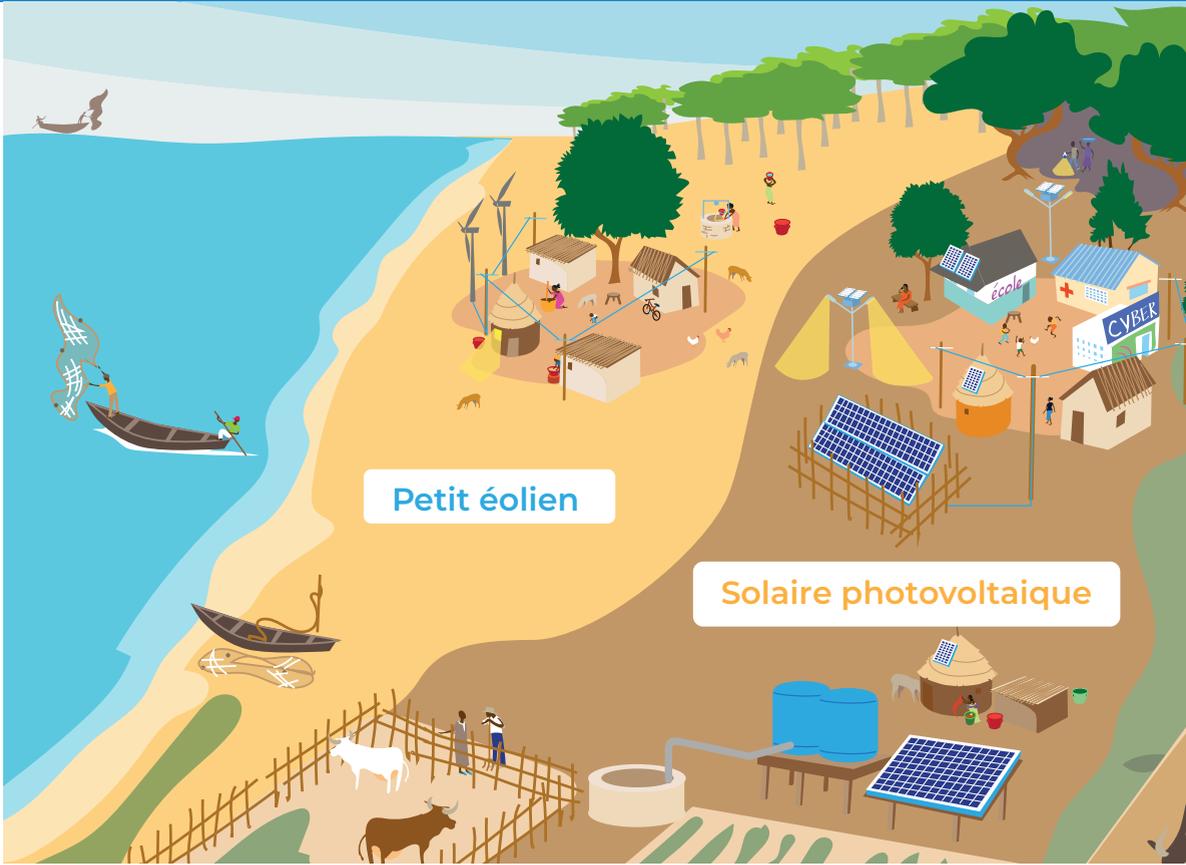
(actualisations plus régulières du plan d'affaire, amélioration du suivi des délégataires et sécurisation de leurs financements, exigence de norme de construction etc.), notamment pour corriger les points de faiblesse identifiés chez chacun des intervenants.



Le projet Rhyvière 1 a été mené à Madagascar par le Gret de 2008 à 2015

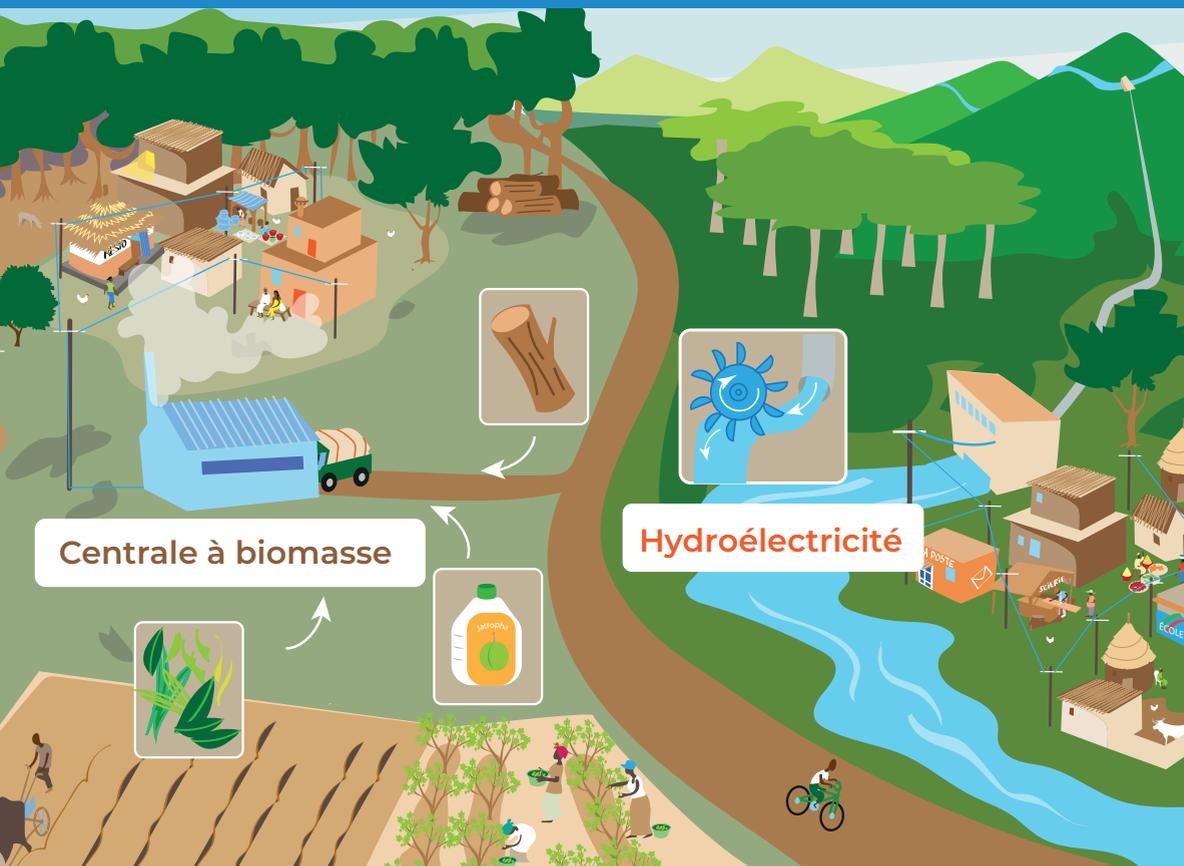
Pour aller plus loin : retrouvez l'étude de cas intégrale sur la page web de l'ouvrage.

Source : étude de cas intégrale ; site internet du GRET (<https://www.gret.org/publication/le-projet-rhyviere-i-a-madagascar/>)



Bilan des sources d'énergie adaptées à l'électrification rurale hors réseau

Source d'énergie	Condition d'utilisation
Solaire	Site dégagé de tout relief ou végétation venant masquer le rayonnement solaire
Eolien	Vent régulier et réparti sur une période d'au moins six mois par an Pas d'obstacles à proximité
Hydraulique	Faible distance entre la chute et la localité (selon la puissance installée) Période d'étiage aussi courte que possible
Biomasse	Développement contraint par le manque de maturité des technologies



Atouts

Gisement connu précisément

Pas d'intermittence jour/nuit

Pas d'intermittence jour/nuit

Pas d'intermittence journalière

Valorisation de productions locales

Création d'activités nouvelles pour la collecte et le conditionnement de la ressource

Limites

Intermittence journalière

Variations saisonnières parfois significatives (hivernage)

Nécessité de campagnes de mesure d'au moins un an

Intermittence saisonnière fréquente

Nécessité de campagnes de mesure d'au moins un an

Intermittence saisonnière liée à la pluviométrie

Aléa lié à la variation de la ressource en quantité et en qualité

1.2.

L'électrification formelle est d'abord urbaine et centralisée.

La faiblesse des taux d'électrification rurale des pays subsahariens reflète essentiellement le fait que les populations rurales de la zone n'ont pas accès au réseau électrique. Comment s'explique cette absence de raccordement ?

D'abord, les sociétés nationales d'électricité des pays subsahariens ont donné priorité à l'électrification des zones urbaines et périurbaines, considérées comme les plus rentables, sans pour autant dégager la capacité d'investissement nécessaire pour financer l'extension du réseau vers les zones rurales (1.2.1). Ensuite, bien que des stratégies d'électrification rurale soient souvent formulées et une organisation définie pour les décliner, elles peinent à être mises en œuvre, par manque de volonté et de moyens (1.2.2).



© Fondation Energies pour le Monde

Une zone périurbaine électrifiée au Burkina Faso.

1.2.1.

Au niveau institutionnel, la priorité est donnée aux zones urbaines et périurbaines, par défaut.

Dans les pays d'Afrique subsaharienne, l'électrification formelle repose d'abord sur des opérateurs publics et l'électrification dite « centralisée », se déployant autour d'un réseau national. Connaissant des difficultés chroniques pour gérer et entretenir ce réseau concentré sur les zones à forte densité de population, ces sociétés nationales ne sont pas en capacité de participer de manière significative à l'électrification rurale.

L'électrification des pays subsahariens repose historiquement sur les sociétés nationales.

Après les indépendances, prenant exemple sur la situation des secteurs électriques européens des années 60-70 (présentant des taux d'électrification proches de 100 %), l'électrification des pays africains s'est fondée sur des opérateurs et des financements publics. Des sociétés nationales ont pris en charge la gestion du service public de l'électricité (production, transport et distribution). Après une vague de privatisations encouragée par les institutions internationales, notamment la Banque mondiale, dans les années 90, de nombreuses sociétés ont été renationalisées ; la plupart de ces sociétés sont ainsi encore détenues majoritairement par des entités publiques.

Aujourd'hui, seule la production (et non la distribution) d'électricité sort progressivement du domaine public : dans le cadre de contrats d'achat-vente d'électricité dits « PPA » (*power purchase agreement*) signés avec la société nationale, des

opérateurs privés injectent dans le réseau public et vendent l'électricité qu'ils produisent.

La priorité donnée au réseau par les sociétés nationales d'électricité est plus qu'une priorité : une exclusivité.

Compte tenu de l'immensité de la tâche et dans une logique de gestion rationnelle des fonds publics, les gouvernements des pays africains ont donné, avec le soutien des bailleurs de fonds, la priorité à l'électrification centralisée, d'abord celle des grandes villes, puis celle des villes secondaires par extension du réseau et par interconnexion.

La priorité donnée au réseau est justifiée par l'argument économique.

L'expérience acquise par de nombreux pays en atteste, l'électrification centralisée est un choix rationnel : la densité plus forte de consommateurs potentiels en milieu urbain et les besoins associés aux activités économiques permettent des économies d'échelle (cf. chapitre 2.1.2.). La priorité accordée aux zones urbaines et à l'extension de réseau est logique.

Elle a d'ailleurs été soutenue par les bailleurs de fonds, comme le montrent par exemple les financements alloués à l'électrification rurale par l'Agence française de développement (AFD - cf. chapitre 2.3.2.)¹.

1. Christian de Gromard, « Structuration des investissements et outils de financement de l'accès à l'énergie » (Conférence, 22 mai 2018).

Exemples de sociétés nationales

Pays	Nom société	Principales fonctions	Date de création	Capitaux publics (%)
Bénin	Société béninoise d'énergie électrique (SBEE)	Production, transport et distribution	1975	100 %
Ghana	Volta River Authority (VRA)	Production	1961	100 %
	Electricity Company of Ghana Ltd (ECG)	Fourniture et distribution au Ghana du Sud	1967	100 %
	Northern Electricity Distribution Company (NEDCo), filiale de VRA	Fourniture et distribution au Ghana du Nord	1987	100 %
Kenya	Kenya Electricity Generating Company (KenGen)	Production	1998	70 %
	Kenya Power (KP)	Transport et distribution	1983	50,1 %
Sénégal	Société nationale d'électricité du Sénégal (Senelec)	Production, transport, distribution	1998	90,58 %
Madagascar	Jiro sy Rano Malagasy (Jirama)	Production, transport et distribution	1975	100 %
Mali	Energie du Mali (EDM SA)	Production, transport et distribution	1960	66 %
Rwanda	Rwanda Energy Group (REG) et ses filiales : Energy Utility Corporation Ltd et Energy Development Corporation Ltd	Production, transport et distribution	2014	100 %
Tanzanie	Tanzania Electricity Supply Company (TANESCO)	Production, transmission et distribution	2002	100 %

En réalité, la limitation des zones de desserte traduit surtout la situation financière et technique dégradée des sociétés nationales d'électricité.

Ces sociétés sont d'abord pénalisées par la faiblesse des consommations électriques des usagers, environ quarante fois inférieures aux moyennes européennes (cf. schéma), et par le coût élevé d'approvisionnement en combustibles fossiles des centrales thermiques de production. Par ailleurs, elles connaissent des niveaux anormalement élevés de pertes techniques dues à des installations de production et des réseaux de transport souvent vieillissants. Ces pertes représentent plus de 15 % de la production dans de nombreux pays d'Afrique subsaharienne, contre 5 à 7 % en Europe, en Amérique du Nord ou en Chine. Les coupures, ou délestages, sont fréquentes. Entre 2010 et 2017, les mesures réalisées par la Banque mondiale font état de plus de huit coupures par mois, d'une durée moyenne de près de six heures¹.

Elles subissent également des pertes commerciales dues aux difficultés de recouvrement auprès des usagers et aux nombreux raccordements frauduleux.

S'y ajoutent enfin des modes de gouvernance souvent inadaptés, des modalités de gestion et d'innovation technologique déficientes et des tarifs régulés subventionnés très inférieurs aux coûts réels, qui ne leur permettent ni d'être rentables ni d'investir. Ce manque de capacité d'investissement affecte nécessairement la qualité de service. Les sociétés nationales d'électricité sont pour la grande majorité « sous perfusion » de leur gouvernement et des bailleurs de fonds pour couvrir les pertes d'exploitation.

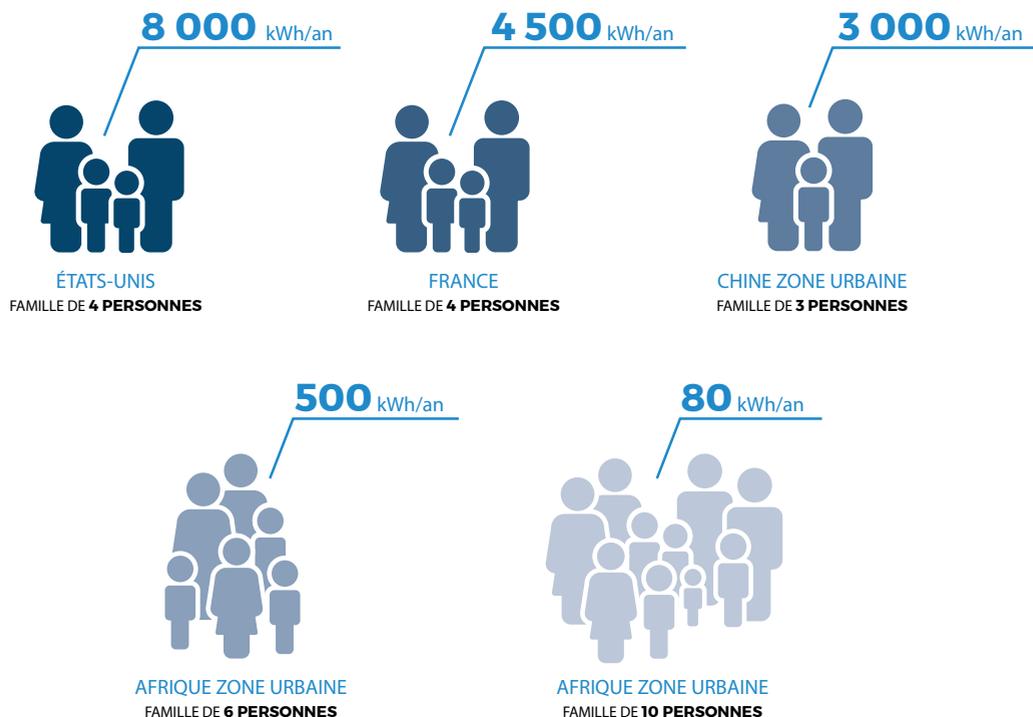
1. « Infrastructures », Banque Mondiale, 2019, <https://www.enterprisesurveys.org/data/exploretopics/infrastructure>. Cité par Rebecca Martin, « Afrique subsaharienne : des matières premières, des hommes... mais pas d'électricité », The Conversation, 2018, <https://theconversation.com/afrique-subsaharienne-des-matieres-premieres-des-hommes-mais-pas-deelectricite-107478>.



Consommation d'électricité

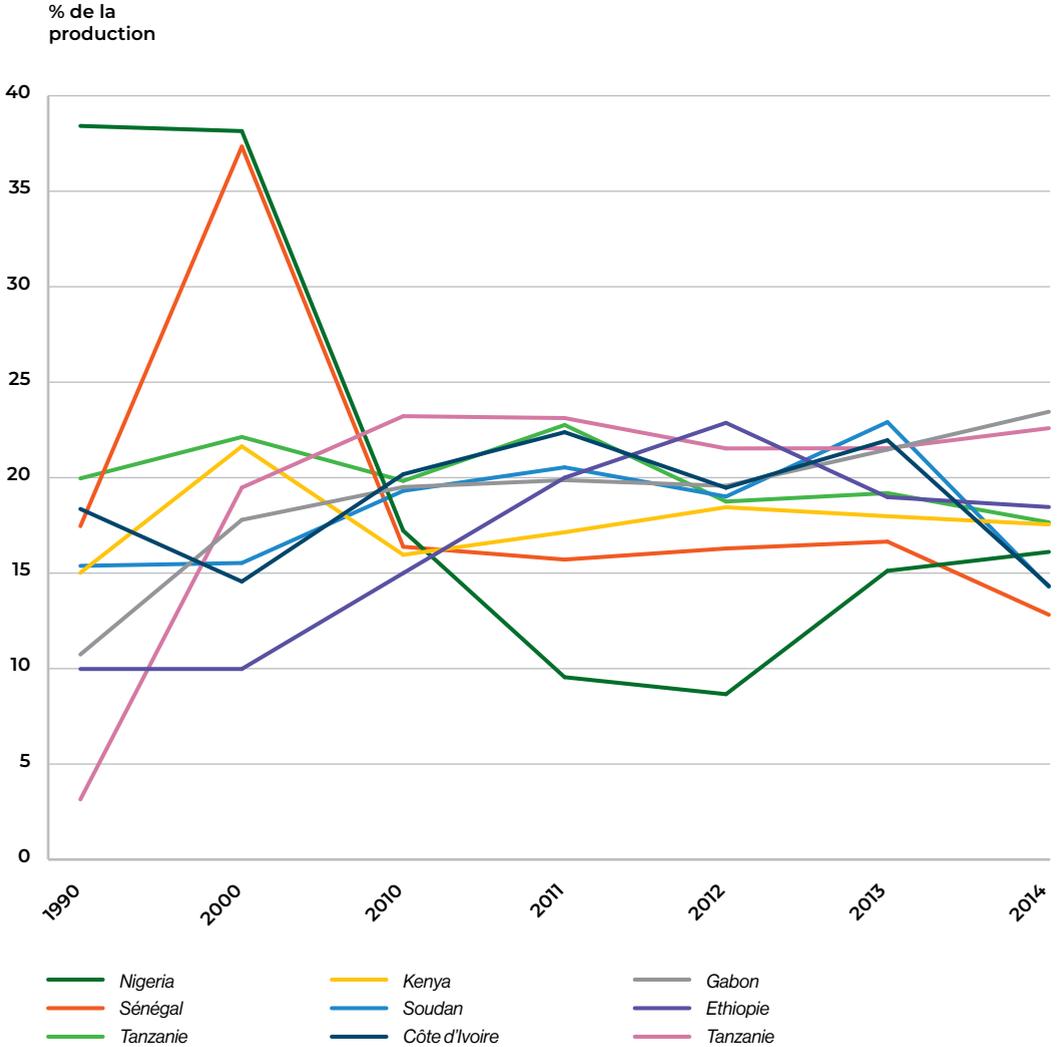
Ordre de grandeur de la consommation moyenne en électricité dans le monde

Hors besoins énergétiques substituables (chauffage, cuisson, production d'eau chaude).



Source : Fondation Énergies pour le Monde.

Les pertes d'électricité en ligne sont encore importantes en Afrique subsaharienne



Source : AIE, 2018, « Statistiques sur l'énergie et balances des pays non membres de l'OCDE », et « Statistiques sur l'énergie des pays membres de l'OCDE et annuaire statistique sur l'énergie de l'ONU », <https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Energy%20supply&indicator=TPESbySource&mode=chart&dataTable=BALANCES>.

N'ayant pas réussi à achever l'électrification urbaine et périurbaine, les sociétés nationales n'ont pas les moyens d'électrifier le milieu rural.

Dans les zones rurales, les densités de population et les consommations électriques sont trop faibles au regard des montants d'investissement nécessaires à l'extension du réseau électrique.

Aussi, les sociétés nationales se limitent-elles à la distribution électrique des capitales et des grandes villes, d'où une évolution plus rapide des

taux d'électrification urbaine et la persistance de taux d'électrification rurale très bas (inférieurs à 20 %) dans la majorité des pays subsahariens (cf. graphe).

Au bilan, les investissements publics dans le secteur de l'électricité ont largement contribué à l'endettement des pays mais n'ont finalement profité qu'en demi-teinte à la population, et essentiellement à celle des zones urbaines.

Certes, la mise en place d'interconnexions régionales, en Afrique de l'Ouest et centrale, améliore la situation. Mais l'augmentation de consommation



Des tarifs décorrés de la réalité des coûts

Dans de nombreux pays, les tarifs payés par les industriels sont élevés ; ils visent à éviter une hausse des tarifs de l'électricité pour les ménages. En outre, les ménages ayant une forte consommation, comme les entreprises, « subventionnent » la consommation, plus faible, des usagers à faibles revenus via la mise en place de tarifs minimaux (RISE, 2014). Pour autant, dans la plupart des pays, les structures tarifaires actuelles ne permettent pas de couvrir les coûts. Comme l'indique l'analyse des données des tarifs de l'électricité réalisée sur 27 pays entre 2004 et 2008¹, moins d'un tiers des pays de l'échantillon appliquent des tarifs suffisamment élevés pour couvrir la totalité des coûts du service. Cette analyse révèle aussi que les seuils de recouvrement des coûts ont diminué au cours de la période d'observation. Une étude réalisée récemment par la Banque mondiale sur 39 pays d'Afrique subsaharienne² conclut que deux pays seulement, l'Ouganda et les Seychelles, ont vu leur entreprise d'utilité publique couvrir entièrement leurs dépenses opérationnelles et leurs dépenses en capital. Le recouvrement des coûts s'avère particulièrement difficile dans les pays où les coûts de production sont élevés en raison de leur dépendance à l'égard des sources énergétiques pétrolières (fioul lourd et diesel), onéreuses.

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

1. Joern Huenteler, et al., « Cost Recovery and Financial Viability of the Power Sector in Developing Countries » (Banque mondiale, 2017).

2. Trimble, et al., (2016).



Comparaison de la situation en zone urbaine et en zone rurale pour 1 kilomètre de ligne



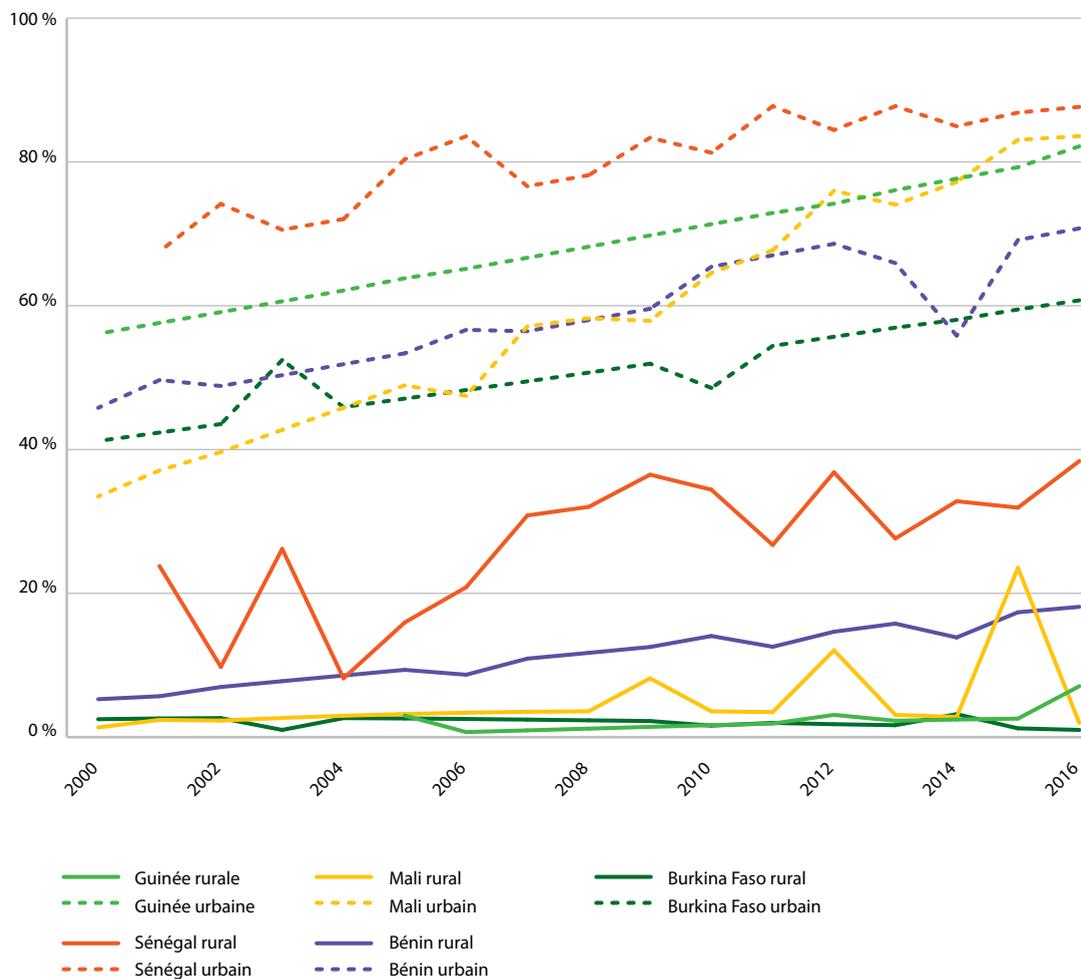
Source : Fondation Énergies pour le Monde.

en milieu urbain, liée à la vitalité de la démographie urbaine (voir encadré) et à l'augmentation des usages spécifiques de l'électricité (climatisation, informatique, etc.), ne permettra sans doute pas de réaliser l'extension massive des réseaux vers le milieu rural. ○



L'Afrique de nuit : seules les grandes zones urbaines sont éclairées ; le contraste avec l'Europe, saisissant, traduit aussi le gaspillage d'énergie au nord.

En Afrique de l'Ouest, les taux d'électrification rurale évoluent plus lentement que ceux d'électrification urbaine



Sources : « Base de données Sustainable Energy for All (SE4ALL) dérivée du SE4ALL Global Tracking Framework », Banque mondiale, AIE et ESMAP, <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/>.

1.2.2.

L'électrification rurale, affichée comme un objectif, souffre du manque de moyens et de volonté.

L'électrification rurale n'est pas oubliée des politiques. Mais les initiatives pour réduire la fracture entre zones urbaines et rurales présentent des points de faiblesse significatifs : les expérimentations conduites sous l'impulsion des bailleurs institutionnels manquent de cohérence, et les stratégies nationales peinent à être effectivement mises en œuvre.

La coopération internationale a surtout favorisé une mécanique d'expérimentations aux effets limités.

Dans les pays d'Afrique subsaharienne, le mouvement des grands investissements publics pour l'électrification centralisée s'est essouffé dans les années 80, compte tenu de l'ampleur des fonds nécessaires pour pallier la précarité financière des sociétés nationales d'électricité, mais aussi des contraintes imposées par la mise en œuvre des ajustements structurels pour la sortie de la dette. Les vagues de réformes et de privatisations ont organisé le démantèlement progressif des monopoles sous diverses formes juridiques et contractuelles (cf. schéma). Selon les pays, le rôle du secteur privé va de celui de prestataire contractuel auprès des sociétés publiques d'électrification (fourniture, génie civil, assistance technique, etc.) à celui d'opérateur d'électrification rémunéré par les usagers. Ces opérateurs interviennent dans le cadre de contrats de gestion privée des actifs publics (affermage), ou de contrats de développement des infrastructures et services d'électrification sur un territoire délimité

(concession), ou encore, via la privatisation des sociétés publiques (cession à des entreprises locales ou, plus souvent, étrangères).

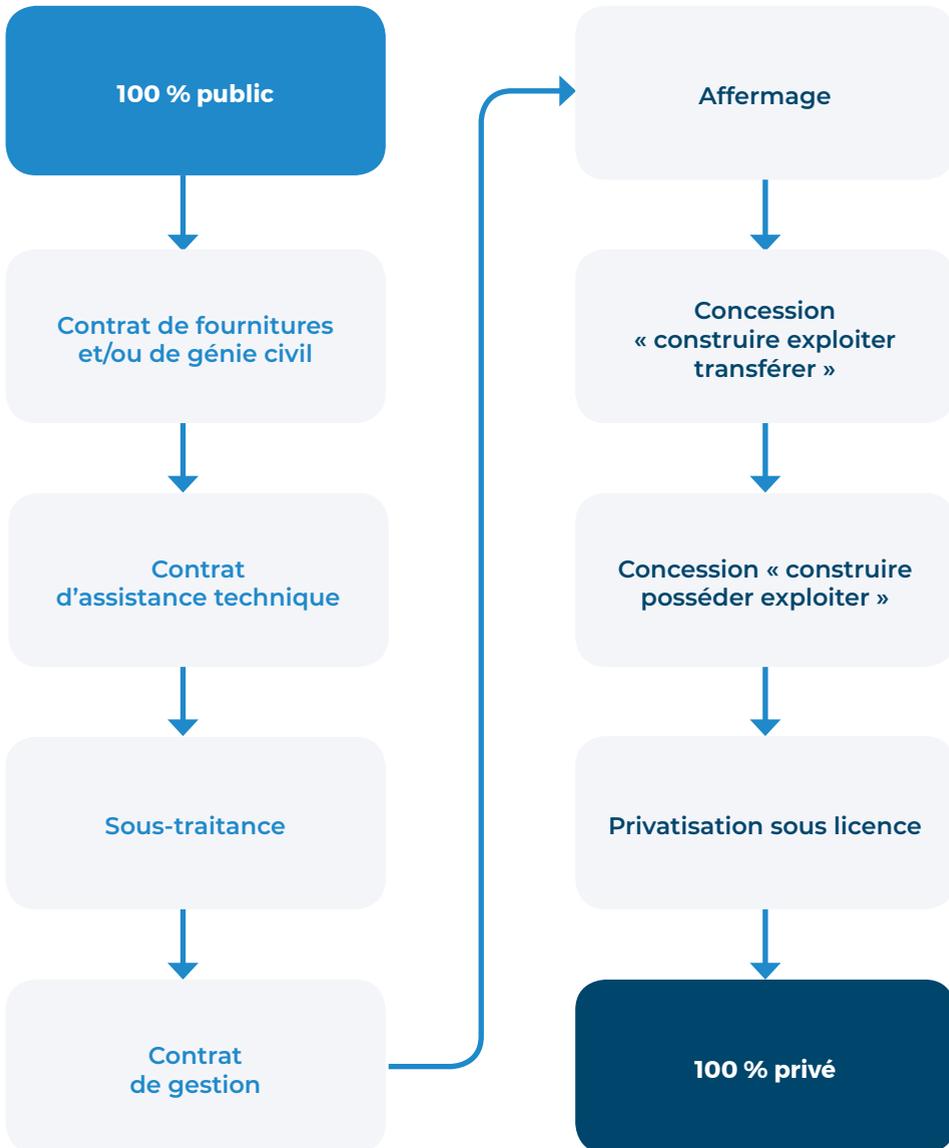
Depuis, malgré de nombreuses renationalisations dans les années 2000, les Etats africains ont modifié leur perception de l'intérêt national. Délaissé par les bailleurs de fonds institutionnels, recherchant à la fois une meilleure efficacité (rentabilité des capitaux investis) et de nouveaux cadres institutionnels (meilleures garanties), le secteur électrique s'est, comme d'autres, progressivement ouvert aux acteurs privés.

Diversifiant leurs champs d'intervention, les coopérations institutionnelles et les bailleurs de fonds ont fait de l'électrification rurale un thème prioritaire.

Auxiliaire fondamental dans la lutte contre la pauvreté, l'objectif majeur de la coopération internationale, « l'accès à l'électricité en milieu rural » bénéficie d'une attention accrue de la communauté internationale. Les institutions financières ont été encouragées à s'impliquer dans ce secteur, notamment suite au Sommet mondial sur le développement durable de Johannesburg en 2002. L'initiative prise lors du sommet par l'Union européenne¹ de mettre en place la Facilité ACP-CE pour l'énergie en est un exemple : la première de ses trois composantes vise justement l'amélioration des services énergétiques dans les zones rurales.

1. Initiative européenne pour l'énergie.

Les différentes formes d'intervention du secteur privé dans les projets d'électrification



Source : Banque Mondiale, Rural Electrification Concessions in Africa, Introduction, page 3.

Les principaux instruments de l'Union européenne pour l'accès à l'énergie en Afrique

Instruments de financement

- Facilité d'investissement pour l'Afrique (AFIF) (2015-2017)
- Fonds fiduciaire UE-Afrique pour les infrastructures
- Initiative de financement pour l'électrification (ELECTRIFI)
- Facilité énergie UE-ACP (2005-2017) – y compris le « pool mécanisme »
- Plateformes régionales d'investissement pour l'Afrique du Plan d'investissement extérieur (PIE), qui contient une enveloppe spécifique pour les énergies renouvelables (2017-...)
- Global Energy Transformation Programme (GET.invest) créé début 2019

Banque européenne d'investissement (BEI) :

- Mécanisme en faveur d'une énergie durable en Afrique (ASEF)
- Fonds de garantie pour l'énergie en Afrique (AEGF)
- Global Energy Efficiency and Renewable Energy Fund (GEEREF)

Instruments BIE en lien avec les institutions européennes de financement du développement (EDFI) :

- Interact Climate Change Facility
- European Financing Partners (EFP)
- Mécanisme d'appui UE-EDFI pour le développement du secteur privé
- Fonds d'investissement pour la microfinance et l'investissement d'impact (*impact investing*)

Banque européenne pour la reconstruction et le développement (BERD)

Assistance technique

- Facilité d'assistance technique Energie durable pour tous (SE4ALL)
- Programme de coopération Afrique-UE dans le domaine des énergies renouvelables (RECP)

Dialogue politique

- Partenariat Afrique-UE pour l'énergie (PAEE)
- Initiative de l'Afrique sur les énergies renouvelables (AREI)
- Facilité de dialogue et de partenariat de l'Initiative de l'UE pour l'énergie (EUEI-PDF) (2004-2018)
- Contribution aux programmes indicatifs nationaux, régionaux et mondiaux (2,7 Mds d'euros dans le secteur des énergies renouvelables en Afrique subsaharienne)
- Conventions des maires en Afrique subsaharienne pour renforcer le rôle des autorités locales
- 22 déclarations communes pour une coopération énergétique renforcée

Tableau adapté du document ECDPM de Sebastian Grosse-Puppenthal, San Bilal et Karim Karaki « EU's Financial Instruments for Access to Energy. Support in remote and poor areas in Africa » (Maastricht : European Centre for Development Policy Management, 2017).

Un foisonnement d'initiatives ponctuelles et disséminées, toutes différentes dans leurs modalités organisationnelles, techniques et tarifaires, a vu le jour.

Les financeurs ont soutenu une large palette de solutions d'électrification (détaillées en partie 3), et notamment d'électrification individuelle, inspirées par une approche libérale* de l'électrification (cf. chapitre 2.4.1.), c'est-à-dire centrée sur la fourniture directe d'un bien ou d'un service par un opérateur privé à un consommateur (cf. chapitres 3.2.1. et 3.2.2.).

Des solutions très diverses ont pu être ainsi déployées au sein d'un même pays, parfois au sein d'une même région, selon des logiques commerciales et tarifaires variables : fourniture d'équipements ou de services, subventionnés ou non, accessibles via des institutions de micro-crédit ou proposés à la vente par des start-up...

Ce n'est pas tant l'existence d'une large palette de solutions qui pose problème, que l'absence de vision d'ensemble.

Non coordonnées, ces expérimentations ont mis en lumière les limites de la volonté politique et des moyens mobilisés pour l'électrification rurale.

Quoique très riche et dynamique, cette effervescence de projets n'a pas bénéficié de l'encadrement structuré et coordonné qui aurait permis d'en tirer un bilan constructif pour l'avenir. Ces multiples expérimentations, souvent sans lendemain durable, ont en effet été pour la plupart conduites dans un espace rural quasi vierge de tout acteur opérationnel expérimenté (hormis quelques ONG) et de toute régulation, sans réflexion méthodologique ni organisationnelle préalable, ni, surtout, souci de cohérence territoriale.

Force est de constater que la plupart des pays n'ont pas su, ou pas voulu, mettre en place une contrepartie institutionnelle assez forte pour imposer des règles du jeu à tous les intervenants (consommateurs, investisseurs, opérateurs, collectivités territoriales et agents de développement).

Face à l'augmentation des aides externes dans un secteur jusqu'ici peu soutenu, les pouvoirs publics des pays bénéficiaires ont du mal à maintenir un cap politique ferme.

L'opérationnalisation des stratégies et des planifications nationales d'électrification rurale s'avère difficile.

Aujourd'hui, la très grande majorité des pays subsahariens ont mis en place un cadre institutionnel du secteur électrique.

Dans la double perspective de libéralisation du secteur électrique et de lutte contre la pauvreté, les bailleurs de fonds, telle la Banque mondiale, ont encouragé les Etats à structurer un cadre :

- en créant deux types d'organismes indépendants de la société nationale d'électricité : une **commission de régulation du secteur électrique** (qui définit précisément les cadres et limites d'intervention des acteurs publics et privés) et une **agence d'électrification rurale** dédiée qui gère l'organisation ;
- en se dotant de **stratégies nationales d'électrification rurale**.

Mais les politiques nationales d'électrification rurale, souvent définies en seule réponse aux attentes de la communauté internationale, présentent des faiblesses structurelles qui font obstacle à leur mise en œuvre efficace.

Avec le soutien des bailleurs internationaux, voire sous leur pression, de nombreux pays se sont dotés de stratégies d'électrification rurale.

Les stratégies nationales d'électrification rurale et leurs plans directeurs élaborés sont souvent influencés par la vision centralisatrice des services techniques des ministères en charge de l'énergie et des experts de la coopération internationale, compagnons de route naturels des sociétés nationales d'électricité.

Même en présence de stratégies favorables à l'électrification hors réseau par initiative locale ou privée, dans les faits, la mise en œuvre effective de ces stratégies se heurte à trois types de difficultés combinés.

La première difficulté est d'ordre politique.

Les pouvoirs politiques continuent de privilégier l'électrification urbaine, notamment pour sa consolidation. Ne pas améliorer la distribution électrique en ville les expose au mécontentement populaire, qui peut se traduire par de graves troubles à l'ordre public en cas de pannes répétées ou de délestages intempestifs.

De plus, compte tenu du faible pouvoir des collectivités locales (le processus de décentralisation est souvent non abouti), l'intérêt des pouvoirs publics centraux pour l'électrification rurale se limite souvent aux périodes électorales.



Des manifestations contre les délestages dans la ville de Tanout, au Niger en 2018



La surconcentration du pouvoir au niveau central, premier obstacle à l'électrification rurale

« La conception fortement jacobine du pouvoir en Afrique francophone et la tradition de l'autorité exclusive des opérateurs historiques dans la gestion des politiques énergétiques constituent un handicap majeur pour la promotion d'une production décentralisée de nature à impulser l'autonomisation des collectivités, des communautés, des usagers et des opérateurs à l'échelle des territoires.

Le contexte de surconcentration du pouvoir ainsi que la culture institutionnelle qui s'y rattache constituent le premier grand obstacle à une électrification rurale fondée sur le développement de capacité d'impulsion d'une véritable production décentralisée, qui, dans le contexte de nos pays, est le seul moyen d'accélérer le processus de résorption de fracture énergétique. »

Abdou Fall, ancien ministre d'Etat, président du Conseil patronal des énergies renouvelables du Sénégal (COPERES)

La deuxième difficulté est d'ordre institutionnel.

Les schémas institutionnels sont souvent inappropriés, confus ou redondants.

Un certain nombre d'agences nationales d'électrification rurale ont vu le jour de manière opportuniste : placée sous les auspices des coopérations institutionnelles, leur création a été perçue comme une condition au déblocage de financements et non comme une nécessité. Or, les agences ainsi mises en place entrent souvent en compétition, voire en conflit de compétences, avec les ministères et services déconcentrés en charge de l'énergie, lesquels se sentent alors dessaisis d'une de leurs principales attributions.

La création d'autres organismes ajoute parfois à la complexité et à la confusion : fonds d'électrification rurale, agences pour les énergies renouvelables ou agences de services énergétiques ruraux traitant à la fois de l'électrification et des combustibles domestiques.

Par ailleurs, ces nouvelles agences sont également confrontées à la difficulté de recruter du personnel qualifié et au manque de programmes de formation continue et d'assistance technique adaptés à l'électrification rurale.

Enfin, la logique de décentralisation territoriale, également soutenue par les bailleurs internationaux, est à double tranchant : si elle paraît nécessaire pour répondre à des besoins de proximité, elle complexifie le schéma institutionnel et décisionnel en créant des espaces et des intervenants supplémentaires.



Les principales ONG françaises pionnières de l'accès à l'électricité

En France, quelques ONG ont développé une expertise dans l'accès aux services énergétiques. Au gré des financements alloués par les bailleurs de fonds, elles ont chacune consolidé leurs méthodes d'intervention.

Créé en 1974, le **GRET** (Groupe de recherche et d'échange technologique) intervient dans le secteur de l'énergie depuis plus de vingt ans, au départ à travers des projets de diffusion de foyers améliorés et de séchoirs solaires, aujourd'hui par la mise en œuvre de programmes d'électrification utilisant les énergies hydraulique, solaire et éolienne. En parallèle de ces aspects techniques, le positionnement du GRET a fortement évolué sur les questions institutionnelles, en mobilisant les acteurs publics et privés, au service de la pérennisation de l'accès à l'énergie pour les populations.

Le **GERES** (Groupe Énergies renouvelables, environnement et solidarités), créé en 1976, a développé son expertise sur l'accès à l'énergie, l'efficacité énergétique, les énergies propres et renouvelables, et la gestion des ressources naturelles et des déchets.

Il propose des solutions énergétiques à la fois comme vectrices de développement économique et social et comme alternatives aux systèmes existants dommageables à l'environnement.

Electriciens sans frontières, créée en 1986 sous l'impulsion de salariés d'EDF, s'est donné pour mission de lutter contre les inégalités d'accès à l'électricité et à l'eau dans le monde. Avec le soutien de plus de 1 000 bénévoles et en partenariat avec des acteurs locaux, l'ONG mène des interventions d'urgence et de post-urgence pour aider les populations sinistrées lors de catastrophes humanitaires. Elle mène également des projets de développement pour mettre à disposition une énergie propre, sûre et peu chère dans les zones rurales isolées, pour aider à éradiquer la pauvreté, à améliorer l'éducation, les conditions sanitaires, le développement économique et la sécurité alimentaire.

Créée en 1990, la **Fondation Energies pour le monde** (Fondem) promeut et développe l'accès à l'électricité par les énergies renouvelables afin d'améliorer les conditions de vie et les revenus des populations rurales. Elle a notamment développé une expertise dans les miniréseaux et l'accompagnement des usages productifs de l'électricité. Elle concentre l'essentiel de son action là où les besoins sont les plus forts, en Afrique subsaharienne, en collaboration étroite avec ses partenaires locaux (populations et associations locales, collectivités, institutions...).



Réseau urbain.

La troisième difficulté est d'ordre économique.

Même en présence d'une volonté politique et de financements internationaux, rares sont les investisseurs et les opérateurs privés prêts à participer au déploiement de projets d'électrification rurale inclusifs, dans une logique de couverture de l'ensemble des besoins d'un territoire jusqu'au « dernier kilomètre ».

Ces acteurs sont freinés par le manque d'attractivité de ce type d'intervention : conditions difficiles dues à l'éloignement et l'accessibilité réduite des sites, manque de compétences du personnel local, manque d'accompagnement et de couverture des risques pour des investissements générant un chiffre d'affaires et un taux de rentabilité interne faibles...

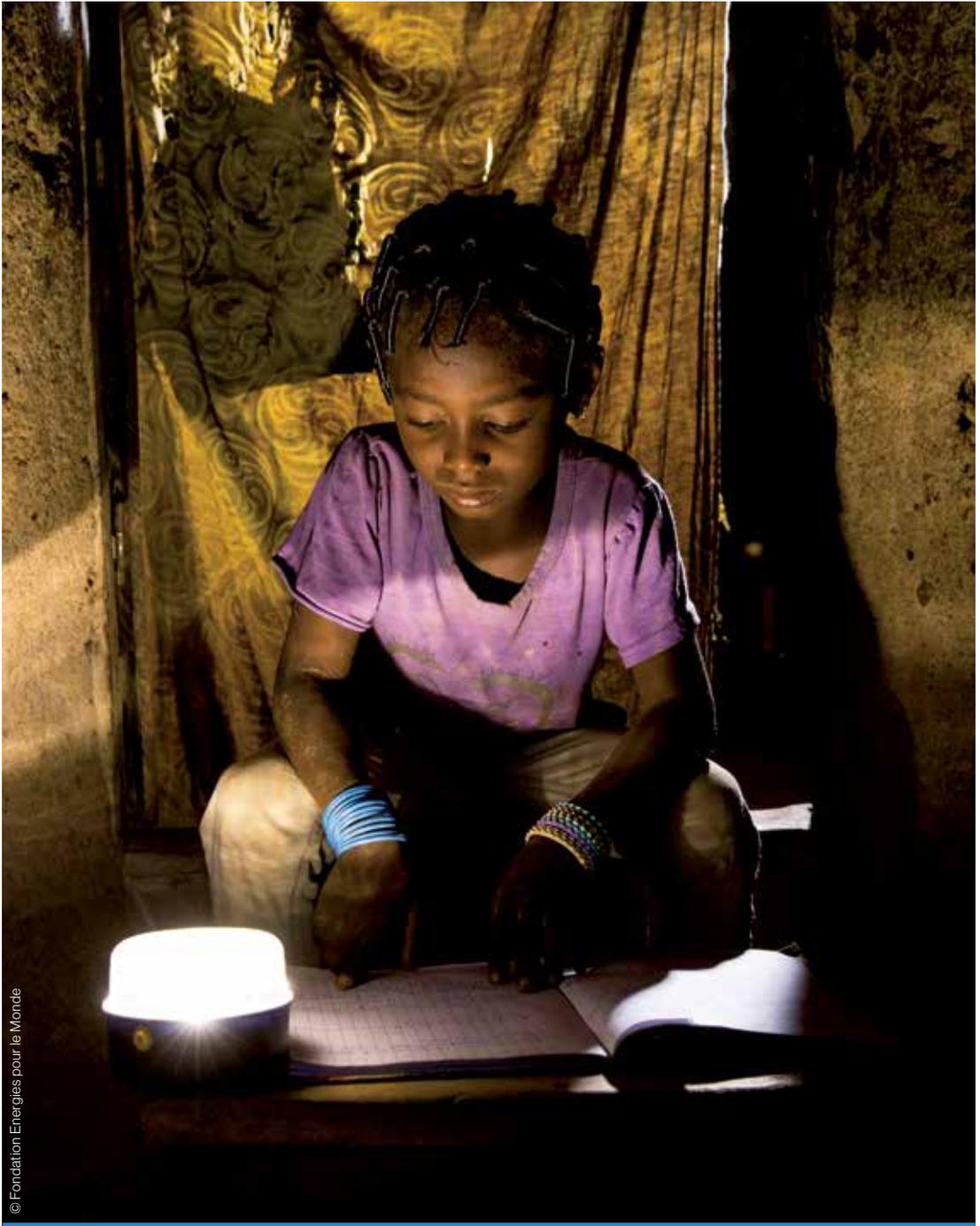
Au bilan, en Afrique subsaharienne, l'électrification formelle est d'abord urbaine.

Certes, des ONG spécialisées dans l'accès à l'électricité par énergie renouvelable (cf. encadré) agissent en concertation avec les pouvoirs institutionnels et traditionnels pour installer des équipements permettant d'alimenter un territoire et son bassin d'activités. Mais ces interventions restent des cas isolés et marginaux ; le nombre et les moyens de ces ONG sont très insuffisants pour relever le défi, immense, de l'électrification rurale, et notamment de celle des zones les plus enclavées et des populations les plus vulnérables. Ainsi, parfois bénéficiaires de projets leur permettant d'accéder à électricité, mais le plus souvent éloignées de tout service fiable et durable, les populations rurales d'Afrique subsaharienne n'ont d'autre choix que de se procurer l'électricité par leurs propres moyens pour répondre à leurs besoins. ●

1.3. En conséquence, l'électrification rurale reste en grande partie informelle.

Aujourd'hui, pour les populations rurales subsahariennes, l'accès à une électricité de qualité, distribuée par le réseau et accessible à tous tient davantage du concept que de la réalité. Dans le même temps, leurs attentes évoluent rapidement, sous l'influence des technologies et des politiques développées au Nord (1.3.1.).

Pour couvrir leurs besoins en électricité, et notamment leurs besoins domestiques, les populations rurales recourent ainsi à toute une palette de solutions alternatives disponibles sur le marché, le plus souvent en dehors de toute initiative formelle d'électrification (1.3.2.).



© Fondation Energies pour le Monde

Lecture à la lumière d'une lampe issue d'un kit solaire, Burkina Faso, 2016.

1.3.1. L'offre et la demande d'électrification rurale sont bouleversées par plusieurs innovations.

Les attentes des populations rurales évoluent rapidement, sous l'effet de plusieurs révolutions en provenance des pays industrialisés, qui, en leur apportant des solutions technologiques nouvelles, accroissent leurs besoins en électricité :

- **le déploiement massif de la téléphonie mobile et d'une kyrielle d'applications dérivées crée la demande :** facilitant l'information, les échanges et les transactions, adoptée très rapidement partout dans le monde, y compris dans les pays les plus pauvres, l'utilisation de cet ensemble numérique communicant reconfigure en profondeur le tissu socio-économique africain, y compris en zone rurale ;
- **la technologie LED (*light-emitting diode*) offre une réponse nouvelle au besoin d'éclairage :** alliant lumière de qualité, très faible consommation et longue durée de vie, elle s'est démocratisée à l'échelle mondiale (cf. encadré) et a

permis d'incontestables gains économiques et environnementaux ;

- **les politiques énergétiques bas carbone des pays du Nord induisent la démocratisation technique et économique des systèmes à source d'énergie renouvelable :** jusqu'alors complexes et onéreuses même associées à des récepteurs simples, les solutions techniques de production d'électricité dites « hors réseau » ou « décentralisées » peuvent être réinventées (cf. chapitre 2.3.) ; les systèmes par EnR sont désormais en tête des capacités nouvelles de production d'électricité installées chaque année. En 2018, environ 100 MW de capacités renouvelables ont été installées en Afrique, dont 88 % de systèmes utilisant l'énergie solaire¹.

Dans cette situation où la demande d'électricité rurale croît sous l'effet des nouveaux usages, et en particulier la téléphonie mobile, les populations et les acteurs économiques sont naturellement amenés à rechercher des solutions alternatives au réseau national qui n'arrive pas jusqu'à eux.

C'est ainsi qu'aujourd'hui, même là où le réseau électrique n'est pas, l'électricité est bien présente, sous de multiples formes. ○



Différents types d'ampoules LED.

1. IRENA, « Statistiques de capacité renouvelable 2019 » (Abu Dhabi : IRENA, 2019).

1.3.2.

Dans cet environnement en réinvention, l'électricité pénètre dans les foyers ruraux le plus souvent de manière informelle et hétéroclite.

Eclairage domestique, recharge des téléphones, alimentation électrique des activités productives... Pour leurs besoins individuels ou collectifs, les populations rurales non desservies par le réseau s'approvisionnent spontanément en services électriques de formes et de qualités diverses.

L'éclairage est un besoin fondamental qui n'attend pas l'arrivée du réseau électrique.

L'éclairage est un besoin atemporel et universel, progressivement confié à la « fée » électricité. Pendant des millénaires, la lumière dite « artificielle » a reposé sur une réaction de combustion : les bougies, la lampe à huile ou à pétrole et/ou le traditionnel foyer, qui reste encore largement utilisé comme source d'éclairage dans les zones rurales fortement enclavées.

On observe aujourd'hui une mutation rapide vers des sources d'éclairage modernes, porteuses de bienfaits pour la santé, l'éducation, l'économie rurale, l'environnement, et réduisant la dépendance des populations et de leurs activités aux imports pétroliers.

La technologie LED s'est diffusée largement, avec de nombreux impacts positifs.

Depuis quelques années, l'éclairage par LED est entré massivement dans les foyers du sous-continent subsaharien, diffusion irriguée par les évolutions précitées mais aussi par les défaillances récurrentes des services électriques en zones urbaine et périurbaine. Qu'elle soit appliquée aux usages domestiques ou collectifs, cette technologie présente d'indéniables bénéfices.

Au sein du foyer, réduire l'usage des combustibles traditionnels (pétrole, huile, bougies, bois) améliore la qualité de l'air¹ et les conditions de vie domestiques, en plus de dispenser une lumière plus performante² et plus homogène pour les activités nocturnes.



On trouve ainsi sur la quasi-totalité des marchés africains :

- **des lampes LED portables** (conçues pour usage intérieur et extérieur) alimentées par : piles jetables, capteur photovoltaïque ou batterie intégrée, rechargeable par source de courant continu* externe (batterie, capteur photovoltaïque) ;
- **des points lumineux LED fixes** (pour usage intérieur) alimentés depuis des kits photovoltaïques ou batteries stationnaires, aux ampoules LED sur culot classique pour alimentation sur réseau domestique traditionnel.

1. Chaque année, les effets secondaires des fumées émanant de solutions kérosènes causent plus de décès que le paludisme et le VIH combinés – ODI, Accelerating access to electricity in Africa with off-grid solar, the impact of solar household solutions, 2016.

2. La technologie LED présente l'intérêt d'émettre une lumière très peu sensible aux variations de tension, contrairement aux ampoules traditionnelles, plus fatigantes pour les yeux.

Par ailleurs, leur coût continuant de baisser, ces équipements d'éclairage moderne deviennent de plus en plus accessibles, permettant aux ménages de réaliser des économies substantielles sur leurs dépenses énergétiques¹. Ces gains peuvent être alors réorientés vers d'autres postes de consommation domestique ou le développement d'activités génératrices de revenus.

Enfin, à l'échelle collective, la mise en œuvre de lampadaires solaires autonomes de technologie LED dans les rues ou sur les parcelles agricoles accroît la sécurité des biens et des personnes dans certaines zones enclavées, en dissuadant les vols. Elle facilite surtout les activités sociales et économiques nocturnes dans des régions où la lumière du jour disparaît vers 18 heures toute l'année.

Mais la dissémination des équipements LED a son revers environnemental.

Le succès de certains équipements induit un effet pervers : en quelques années, la consommation de piles jetables liée à l'utilisation des lampes torches et luminaires autonomes à LED s'est mécaniquement envolée.

De qualité très variable et bien loin de toute filière de recyclage, des dizaines de milliers de piles usagées sont laissées à terre chaque jour dans des écosystèmes biologiques déjà fragiles, où la préservation des sols s'ajoute à la somme des défis environnementaux majeurs qu'il reste à relever.

1. En 2017, selon MKOPA, ses 500 000 clients économisaient plus de 60 millions d'heures d'éclairage à la lampe au kérosène chaque mois, soit plus de 300 millions de dollars sur quatre ans – Source : Séverine Leboucher, « Le pay-as-you-go sur les terres du microcrédit », *Revue Banque*, n°811 (2017).



L'effet polluant et toxique de la combustion du kérosène

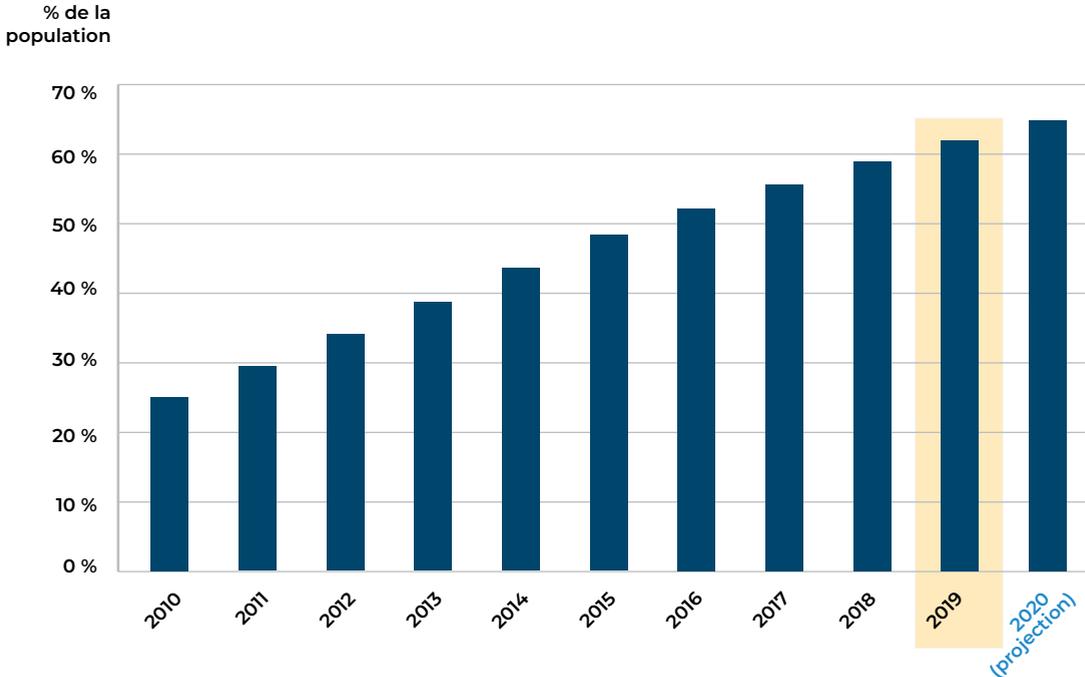
« La combustion du kérosène peut altérer les fonctions pulmonaires et augmenter les risques de cancer ainsi que l'incidence des maladies infectieuses et de l'asthme. De très nombreuses études établissent une forte corrélation entre problèmes de santé et pollution intérieure, en particulier chez les enfants, ainsi qu'entre problèmes de santé et présence dans l'environnement de polluants liés au kérosène. Enfin, les lampes au kérosène ont un impact important sur l'environnement. On estime que ces lampes sont responsables de 7 % des émissions annuelles de carbone noir dans le monde. »

Maximo Torero, « L'impact de l'électrification rurale : enjeux et perspectives », *Revue d'économie du développement* 23, n° 3 (2015).



Les piles usagées jetées dans la nature polluent les sols.

En Afrique subsaharienne, le nombre d'abonnés à la téléphonie mobile a plus que doublé en moins de dix ans



Source : GSMA, « Économie mobile : l'Afrique de l'Ouest 2018 » (Londres, 2018), et « Économie mobile : l'Afrique de l'Ouest 2019 » (Londres, 2019).

Pour satisfaire leurs différents besoins domestiques et économiques, les individus recourent à une mosaïque de solutions.

Le déploiement du numérique et des réseaux de télécommunication hertziens est un événement majeur en Afrique subsaharienne : c'est la région du monde où la téléphonie mobile a crû le plus rapidement ces dernières années (cf. graphe).

La baisse des coûts¹ aidant, près de 500 millions de personnes, soit un habitant sur deux, disposent en 2018 d'un abonnement de téléphonie mobile, selon la GSM Association (GSMA).

Recharger son téléphone est ainsi devenu, devant l'éclairage, le principal vecteur du processus d'électrification, et un marché porteur pour des solutions électriques individuelles. D'autant que le téléphone est également, pour nombre de ses utilisateurs subsahariens, un outil de transactions financières avec l'arrivée du *Mobile Money* (cf. encadré).

1. Selon la GSM Association, pour un même équipement, les coûts ont diminué de -56 % entre 2012 et 2017 sur 27 pays observés. GSM Association, « Économie mobile : l'Afrique de l'Ouest 2018 » (Londres, 2018). La GSM Association représentant près de 800 opérateurs et constructeurs de téléphonie mobile à travers 220 pays du monde.



Mobile Money : définition et chiffres

Mobile Money, ou *Mobile Manking*, désigne **les services financiers (paiement, retrait, envoi d'argent) effectués via l'utilisation d'un téléphone**. Ces solutions mobiles se sont notamment développées rapidement dans les pays en développement pour faciliter l'accès aux services financiers aux populations ne possédant pas de comptes bancaires. Plus d'un tiers des adultes sont des utilisateurs actifs du *Mobile Money* dans 13 pays africains.

Sur l'année 2017, en Afrique subsaharienne, on a recensé :

- 135 services de *Mobile Money* ;
 - 122 millions de comptes utilisateurs actifs ;
 - 1,2 milliard de transactions financières effectuées par *Mobile Money*...
- ... pour une valeur de 19,9 milliards de dollars.

Source : GSMA, « Économie mobile : l'Afrique de l'Ouest 2018 » (Londres, 2018), et « State of the industry report 2018 » (Londres, 2019).

Diverses mécaniques marchandes permettant la recharge du téléphone se sont naturellement mises en place.

Certaines lampes portables solaires ou à piles proposent une prise dédiée à la recharge d'un ou plusieurs téléphones, de même que la plupart des systèmes solaires individuels qui équipent les foyers aisés ou certaines boutiques.

Des centres de recharge de téléphones s'improvisent dans certains bâtiments collectifs électrifiés (dispensaires, centres religieux, écoles, mairies), dans certains foyers ou chez des commerçants équipés de systèmes solaires ou de groupes électrogènes.



© Fondation Énergies pour le Monde

Les villageois transportent leur batterie à pied pour aller la faire recharger (Guinée).

Pour les usages domestiques, les systèmes solaires individuels viennent concurrencer les centres de recharge de batteries.

Pour rendre compte de cette électricité, dite « informelle » mais dont la présence est bien réelle, impossible de ne pas évoquer le cas des batteries de voiture, utilisées par certains ménages ruraux aisés qui ne sont pas trop éloignés des centres urbains électrifiés.

Une batterie de voiture de qualité moyenne permet de disposer d'un service électrique minimal avec quelques jours d'autonomie. Plusieurs fois par mois, les usagers rejoignent le groupe électrogène voisin ou, plus fréquemment, la localité électrifiée la plus proche pour « acheter » une recharge.

Dans le nouvel environnement technologique, l'utilisation de batteries tend à disparaître au profit de l'acquisition de systèmes solaires individuels, ce qui revient techniquement à charger également une batterie, mais en utilisant une source d'électricité installée sur le toit du foyer (cf. chapitre 3.2.).

De même, les « kiosques communautaires » de recharge de batteries alimentés par source thermique ou renouvelable, longtemps soutenus par les bailleurs institutionnels, tendent à disparaître face à la multiplication des solutions individuelles photovoltaïques. Cependant, ces solutions d'électrification solaire individuelle se cantonnent à quelques services de base, que l'on peut qualifier « d'immatériels » (éclairage, téléphone, radio et éventuellement télévision). Elles ne peuvent couvrir tous les usages quotidiens à l'échelle d'un territoire. Notamment, elles sont impuissantes à répondre aux besoins d'électrification des activités économiques (cf. chapitre 3.2.).

 **Retour de terrain**

Ambondro est une localité secondaire du sud de Madagascar électrifiée par miniréseau et centrale hybride éolien-solaire depuis 2010, en gestion associative. Lors du jour du marché hebdomadaire, qui rassemble des milliers de personnes des hameaux alentour, on voit s'improviser des dizaines de points de recharge de téléphone. On estime que ce sont 500 téléphones chargés chaque vendredi, non sans impact sur les équipements de production et de stockage de la centrale !

Source : Fondation Énergies pour le Monde.



Le jour du marché à Ambondro, les habitants rechargent leurs téléphones.



Recharger une batterie : le parcours du combattant

A Ifotaka, commune rurale du sud de Madagascar, avant l'arrivée de l'électricité par miniréseau solaire en 2015, beaucoup de ménages parcouraient chaque semaine 90 km à vélo dans la journée pour une recharge de batterie facturée à la ville la plus proche près de 5 €, sachant que 90 % de la population malgache vit avec moins de 2 dollars (1,77 euro) par jour. De plus, mal chargées et non protégées contre les décharges profondes, les batteries ne dépassaient pas quelques mois de durée de vie.

Source : Fondation Énergies pour le Monde.

Pour les activités productives, les entrepreneurs recourent à des groupes électrogènes, solution robuste mais coûteuse.

Les besoins en énergie mécanique, transformation agricole, pompage, outillage, sont nettement plus énergivores et requièrent une puissance et une énergie difficilement compatibles avec les kits photovoltaïques individuels.

Ainsi, lorsque les usagers sont privés du réseau national mais aussi éloignés de toute initiative d'électrification rurale collective de type miniréseau, ils recourent à des groupes électrogènes pour leurs usages productifs. Or les coûts et les conditions d'exploitation de ces générateurs sont pénalisants pour la rentabilité des activités et donc pour le revenu des familles.

C'est notamment pour cet usage productif que l'installation d'un miniréseau prend tout son sens (cf. chapitre 3.5). 



Puissance et énergie

La puissance, mesurée en watts (W), est une notion instantanée : c'est ce qui est produit ou consommé à un instant donné. 1 watt = 1 joule par seconde.

L'énergie, mesurée en joules (J) ou en wattheures (Wh), se rapporte à une durée. C'est ce qui a été produit ou consommé pendant une heure, un jour, un an. Une énergie est donc une puissance multipliée par un temps (1 wattheure = 1 watt × 1 heure).



Kouramangui est-elle électrifiée ?

Instantané de la situation électrique à Kouramangui, localité secondaire de Moyenne-Guinée dynamique, non électrifiée.

A Kouramangui, la hiérarchie sociale de l'électricité individuelle et le panachage non coordonné de solutions sont clairement visibles : 80 % des ménages les plus pauvres sont équipés de petites lampes solaires portables, avec près de 20 modèles différents identifiés dans le village. 90 % des habitations « en dur » disposent de leur propre système solaire individuel, sans aucune harmonie technique d'un système à l'autre.

Les artisans présents en bord de route utilisent leur groupe électrogène les jours de marché, dans des conditions de fonctionnement très dégradées. Les systèmes solaires fournis à la mairie et l'école par un programme de la Banque mondiale sont hors service après deux ans d'utilisation, faute de moyens et de compétence dédiés à la maintenance et au remplacement des équipements. Le dispensaire dispose d'un système photovoltaïque de bonne conception grâce à l'UNICEF, où la recharge de téléphone est interdite, parfaitement entretenu par un personnel extrêmement motivé.

Une ONG française sollicitée par l'association de la diaspora de Kouramangui prépare l'électrification du foyer des jeunes par système photovoltaïque. Enfin, suite à un « don »¹ du gouvernement chinois, la localité a pu bénéficier de l'installation de 60 lampadaires solaires sur l'axe routier principal ; après dix-huit mois d'exploitation, 25 % d'entre eux sont déjà hors service, du fait de la qualité insuffisante des matériels et d'une absence de gestion structurée.



Commerçant utilisant un groupe électrogène.

Cet instantané de la situation électrique de Kouramangui pourrait être celui de milliers de localités rurales peu ou moyennement enclavées en Afrique de l'Ouest.

Que répondre à la question : Kouramangui est-elle électrifiée ?

1. Équipement fourni et installé gracieusement dans le cadre d'une politique commerciale et non d'un programme de développement de long terme.

[Partie 1]

Conclusion

En observant ces nouvelles habitudes énergétiques, il devient aujourd'hui difficile de conclure de manière certaine à l'électrification effective d'une localité rurale africaine : les frontières entre territoire « électrifié » et territoire « non électrifié » sont devenues floues. Un vaste marché de vente de services électriques très divers est né de la conjugaison de deux facteurs : la vulgarisation rapide des équipements de production photovoltaïque et des récepteurs à haute performance, d'une part, et la demande croissante des zones rurales, lassées d'attendre un hypothétique raccordement au réseau, d'autre part.

Les nouveaux acteurs de l'électrification individuelle, dont les opérations échappent souvent à toute mécanique de régulation ou d'aménagement structuré du territoire, font de facto partie du paysage de l'électrification rurale dite « hors réseau » ou « décentralisée ».

C'est ce paysage, renouvelé, complexe et mouvant, que les chapitres suivants s'attachent à dessiner, en répondant notamment aux questions suivantes : Comment définir l'électrification rurale décentralisée (ERD) ? Comment s'est-elle développée et à quel stade de maturité est-elle aujourd'hui arrivée ? Quelles sont les évolutions qui viennent bousculer les schémas traditionnels ? Quelles opportunités et quels risques sont liés à ces évolutions pour atteindre l'objectif d'accès universel à l'électricité en milieu rural ? Quels sont les invariants à prendre en compte pour réussir un projet d'accès à l'électricité en milieu rural subsaharien, malgré ces bouleversements ?

 **Info**

 **Retour de terrain**

 **Définition**

 **Chronologie**

 **Chiffres-clés**

[Partie 2 - Etat des lieux]

**L'accélération de
l'électrification rurale
peut s'appuyer sur les
solutions décentralisées,
grâce aux innovations
et aux leçons de
l'expérience.**

Introduction

Souffrant d'une fracture énergétique qui semble irréductible sans des moyens radicalement accrus, dotée de gisements d'énergies renouvelables, notamment solaires, favorables, l'Afrique subsaharienne a été le terrain de nombreux projets d'accès à l'électricité hors réseau, rassemblés sous la bannière « électrification rurale décentralisée » (ERD).

Que signifie cette expression ? Quelles dimensions recoupe-t-elle ? De quelles valeurs et de quels objectifs est-elle porteuse ? C'est en disséquant ces mots, qui tendent aujourd'hui à être remplacés par ceux d'« accès à l'électricité hors réseau », qu'on prend la mesure de la complexité du sujet. Cette deuxième partie s'attache d'abord à circonscrire la notion d'« électrification rurale décentralisée » (ERD) et sa raison d'être, mettant à l'occasion en lumière son rôle majeur pour réussir une électrification rurale de qualité dans la région subsaharienne (2.1.).

Comment la pratique de l'ERD s'est-elle construite ? Quels projets ont été menés au Sud ? Nées en Europe de la volonté des collectivités locales, les solutions décentralisées ont germé sur le continent africain dans les années 1970 (2.2.).

.....

« Il n'y a clairement pas de miracle : l'électricité décentralisée est une piste incontournable, mais très ardue. »

Pierre Jacquemot et Marie-Noëlle Reboulet,
« Options technologiques et modèles d'organisation de l'électrification rurale en Afrique », Afrique Contemporaine 1-2, n° 261-262 (2017) : 155.

.....

Où va l'ERD ? Aujourd'hui, traversée par de multiples lignes de rupture technologique et les nouvelles logiques commerciales en découlant, elle recherche toujours son équilibre entre viabilité économique et équité sociale (2.3.).

Quelles sont les « balises » qui permettent de se repérer dans cet environnement mouvant ? Les cinq décennies d'expérience des pionniers de l'ERD permettent de recenser de nombreux invariants opérationnels et de dessiner les contours d'une pratique efficace de la mise en œuvre de projets d'accès à l'électricité par énergies renouvelables en milieu rural (2.4.).

2.1.

Dans sa définition comme dans ses objectifs, l'électrification rurale décentralisée comporte plusieurs dimensions : territoriale, économique et humaine.

L'« ERD » n'est pas, contrairement à ce que l'utilisation d'un acronyme pourrait laisser croire, une notion froide, purement technique et strictement définie. Sa « dissection » terminologique ouvre plus de questions qu'elle n'apporte de réponses. Malgré cela, elle est construite sur un socle ferme de principes liés à l'esprit pionnier, expérimental et humaniste des premiers projets : le respect du territoire, la compréhension des besoins des populations, la recherche d'équité (2.1.1.).

Essentiel dans cette expression, le terme « décentralisé » permet de lier le destin de l'électrification rurale à celui du réseau national, de faire comprendre comment elle en est l'indispensable complément (2.1.2.).



© Fondation Énergies pour le Monde

Un projet d'ERD mené à Madagascar.

2.1.1. Qu'entend-on par « électrification rurale décentralisée » ?

Il n'existe pas de définition unanime et officielle de cette expression, essentiellement utilisée par ses praticiens. Elle tend par ailleurs à être progressivement remplacée par celles d'« accès à l'électricité hors réseau », transposition d'une terminologie de tradition anglophone. Cette dernière témoigne d'une autre manière de poser le sujet, en distinguant le « connecté au réseau » (*grid connected*) et le « hors-réseau » (*off-grid*). L'ERD est une modalité de « l'accès à l'électricité » : pas d'accès universel à l'électricité en milieu rural sans recours aux solutions décentralisées d'électrification. Les paragraphes suivants proposent, en analysant tour à tour chacun des trois termes qui composent l'expression « électrification rurale décentralisée », d'en restituer les différentes dimensions et les concepts sous-jacents.

Quand peut-on dire d'un territoire qu'il est électrifié ?

On considère communément qu'**électrifier, c'est doter un espace d'un accès durable à l'électricité pour divers usages**, domestiques, mais aussi collectifs ou économiques (cf. tableau).

L'électrification désignerait donc d'abord le processus par lequel on dote de manière pérenne un territoire d'une électricité accessible à l'ensemble des activités humaines qu'il accueille. Cette définition serait en tout cas cohérente avec l'idée d'un accès *universel* à l'électricité.

Dans ce cas, l'expression « ERD » est assortie d'un double objectif de durabilité et d'utilité du service d'électricité :

- **l'accès au service est permanent, et non ponctuel** ;
- **le service couvre l'ensemble des besoins, de manière évolutive**, en accompagnant les transformations des usages dans le temps.

Aujourd'hui, ce double critère relève davantage de la cible que de l'existant. Derrière cette apparente simplicité, se cachent des questions plus complexes. Comme on l'a vu, il est parfois difficile d'affirmer qu'un territoire est ou non électrifié. La diversité des solutions et la multiplicité des niveaux de service correspondants (cf. chapitre 1.3.) déjouent toute tentative de définition simple et unitaire de l'électrification dans les zones rurales.

Peut-on dire d'un territoire qu'il est « électrifié » si tous les usages ne sont pas couverts, ou pas de manière fiable ?

Si on considère qu'il n'y a pas d'électrification lorsque le service ne répond pas à tous les besoins sur un territoire donné, alors peu de solutions – si ce n'est aucune – peuvent entrer dans le champ de l'ERD. La restriction en quantité d'énergie d'un système solaire individuel (cf. chapitre 3.2.), par exemple, le disqualifie immédiatement, contrairement à un miniréseau permettant de brancher librement tout type d'appareil (cf. chapitre 3.5.). De même que le réseau national, qui, avec ses fréquents délestages, ne remplit pas nécessairement le critère de qualité de service.

Le champ « pratique » de l'ERD ne peut donc exclure les solutions proposant une couverture partielle des besoins, quand bien même son objectif reste l'universalité des usages.

Les usages de l'électricité

Usages domestiques

Ménages

Eclairage, téléphonie, audiovisuel, réfrigération, congélation, ventilation, climatisation et autres usages ménagers multiples.

Usages collectifs

Secteur tertiaire public ou privé

Exhaure de l'eau, éclairage public, éclairage des bâtiments publics (écoles, postes de santé, bâtiments administratifs, lieux de culte, etc.), téléphonie, Internet, photocopie, impression, équipements et appareils médicaux, etc.

Usages économiques

Secteur industriel et artisanal

Eclairage, signalisation et conservation des produits pour les commerces, sciage, soudure, moulinage, couture, séchage, travaux sur machines-outils, etc.

Peut-on dire d'un territoire qu'il est « électrifié » si tous ses habitants n'ont pas accès à des services électriques ?

L'électrification partielle d'un espace au bénéfice des seuls habitants capables de payer le service, laissant de côté les foyers les plus vulnérables, entre-t-elle dans le champ de ce qu'on appelle l'« ERD » ? Derrière cette question de l'accessibilité du service, s'en cache une autre : l'ERD comporte-t-elle une dimension sociale ?

Portée initialement par des pionniers du développement durable, l'ERD n'est pas seulement un « secteur » économique ou un « marché » : c'est d'abord un mouvement. Selon sa perspective, électrifier n'est pas seulement apporter une solution énergétique dans un espace donné, et l'électrification ne peut être réduite à un processus. L'ERD renvoie à une conception particulière du développement humain, qui ne peut se contenter de la dimension technique de l'apport d'un service électrique à un territoire.

La plupart des projets menés sous la bannière de

l'ERD, dans les pays du Sud comme avant eux dans ceux du Nord¹, visent le développement d'une région et cherchent à améliorer les conditions de vie de ses habitants. Autrement dit, **l'ERD consiste moins à électrifier un territoire qu'une communauté humaine : si on électrifie, c'est pour apporter un service essentiel.** C'est cette attention primordiale portée aux personnes, à leurs activités et à leurs organisations collectives qui fonde historiquement l'ERD, au Nord comme au Sud. C'est pour cela que *l'usage* de l'électricité occupe une place centrale dans le raisonnement de ses praticiens.

Cette approche, qui repose sur la conviction qu'il y a un « droit universel à l'électricité », se trouve renforcée par le recours aux énergies renouvelables : l'énergie renouvelable, offerte à tous sans distinction par la nature, acquiert encore plus logiquement le caractère de « bien commun ». Un bien dont la jouissance peut et doit être garantie à tous sans restrictions. Néanmoins, la nécessaire conversion de l'énergie

1. Sur l'histoire de l'ERD française et américaine, voir chapitre 2.2.

.....

« Electrifier durablement un territoire, c'est établir dans la durée un service électrique marchand multiusage pour des usagers pluriels et dispersés dans un espace plus ou moins régulé. »

Christian de Gromard, référent énergie,
Agence française du développement.

.....

en électricité fait d'emblée entrer cette dernière dans un univers différent. En effet, de même que la potabilisation de l'eau, la conversion de l'énergie en électricité induit un traitement et des équipements (de production, de transport, de distribution, de stockage, de régulation...) qui ont un coût. Dès lors, on peut considérer que l'électricité perd sa qualité de « bien commun » pour devenir un « service ». De là, surgissent d'autres questions. Ce « service » est-il nécessairement « marchand » ? Si c'est le cas, doit-il être laissé hors du champ de la rentabilité pour lui conserver son caractère de service essentiel, accessible à tous ? Ecole française interventionniste et tradition libérale anglo-saxonne proposent des argumentations différentes.

Le débat sur la nature de bien commun ou de service marchand de l'électricité, et sur la légitimité de confier l'accès à ce service essentiel à un opérateur privé, n'est pas l'objet du présent ouvrage. Ce que l'on observe en pratique aujourd'hui, c'est que les services proposés aux communautés rurales relèvent des deux logiques, interventionniste ou libérale (cf. chapitre 2.4.2.), et qu'il ne faut exclure aucun d'eux pour rendre compte de la réalité de l'ERD (cf. partie 3).

Sans pour autant occulter l'universalité du service comme objectif essentiel vers lequel tend l'ERD, cet ouvrage propose de faire entrer dans son champ **tout service électrique qui couvre, même**

partiellement, l'ensemble des usages sur le territoire considéré.

Dès lors, que recouvre exactement un « taux d'électrification » ?

Etant donné la dispersion et la variété des solutions d'électrification rencontrées dans les zones rurales des pays en développement, il est difficile de distinguer de manière certaine celles qui seraient « électrifiées » de celles qui ne le sont pas. Bien que certains pays, comme l'Inde, aient tenté de définir selon des critères normatifs ce qu'est un territoire « électrifié », les chiffres et les indicateurs relatifs au « taux d'électrification » doivent être considérés avec prudence. Ce taux ne fait en effet souvent aucune distinction entre les différents niveaux de service proposés par les systèmes de production et de distribution de l'électricité disponibles sur le territoire considéré (cf. encadré).



Taux d'accès à l'électricité en milieu rural : un taux variable...

Les protocoles utilisés pour définir l'accès à l'électricité varient.

Dans certains cas, le raccordement au réseau d'un seul ménage dans un village suffit à considérer que l'ensemble du village est électrifié. Dans d'autres, l'accès est défini par l'existence de raccordements physiques, même si aucune électricité n'y circule réellement.

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

Taux d'électrification urbaine : un même manque de fiabilité

Quoi qu'il s'agisse d'électrification urbaine (et non rurale), l'exemple suivant, proposé par une chercheuse de l'Institut français des relations internationales (IFRI), illustre combien l'évaluation quantitative et qualitative d'un service électrique, même dans une zone où les statistiques sont théoriquement plus simples à réaliser (capitale nationale) que sur un territoire difficile d'accès, est une gageure.

« Le taux d'électrification tel que calculé à l'heure actuelle (selon le nombre d'interconnexions du réseau) ne donne qu'une vision lacunaire de la situation. Les problèmes de maintenance, couplés aux connexions illégales, à une mauvaise gestion de la demande ou à des ruptures de combustible, ne sont en effet pas pris en compte.

Ainsi, l'ONU a révélé que dans la ville de Kinshasa, où le taux d'électrification calculé selon les méthodes classiques atteint 90 %, la situation est en réalité beaucoup plus complexe. Ainsi, 62 % de la population profite de l'électricité moins de huit heures par jour et 85 % de la ville n'a accès qu'à de la très basse tension. »

Source : Gabrielle Desarnaud, « L'électrification rurale en Afrique : comment déployer des solutions décentralisées ? » (Paris : IFRI, 2017).



© Remy Delacloche

Les nombreuses coupures d'électricité perturbent la vie quotidienne et contraignent les populations à s'éclairer à la bougie ou à la lampe à pétrole.

.....

« Les processus d'électrification se déploient dans la durée et s'inscrivent dans des histoires spécifiques selon les Etats et la zone d'application des systèmes d'électrification rurale. Le taux d'électrification (nombre de villages électrifiés/nombre total de villages dans l'espace considéré) et le taux de connexions (nombre de ménages et autres usagers électrifiés/nombre total d'usagers potentiels recensés dans l'espace considéré) caractérisent le niveau d'électrification de ce territoire et sa progression. »

Christian de Gromard,
réfèrent énergie, Agence française
du développement.

.....

L'accès à des services limités, tels que les lampes ou les systèmes individuels solaires, est d'ailleurs parfois appelé « préélectrification », ce qui témoigne du fait qu'un service n'offrant qu'une couverture partielle des usages n'est qu'une électrification imparfaite.

Où commence et où s'arrête l'électrification « rurale » ?

Si l'électrification se définit comme un processus d'apport d'un service (l'électricité) dans un espace donné, alors l'électrification *rurale* correspondrait à ce processus appliqué à *une certaine catégorie* de territoire. Or, un espace dit « rural » présente finalement des frontières assez floues.

A quoi reconnaît-on un espace « rural » ?

Dans chaque pays, les administrations en charge de l'aménagement du territoire et des collectivités territoriales ont leur propre définition du « rural ».

Généralement, est considéré comme « zone rurale » tout espace *qui n'est pas une agglomération urbaine ni sa zone périurbaine*. La distinction se fonde parfois sur un critère quantitatif : le nombre d'habitants d'une localité. En France, par exemple, les agglomérations de moins de 2000 habitants sont considérées comme rurales.

Il n'y a donc pas de définition communément acceptée de ce qu'est une « zone rurale », d'abord définie par défaut, par référence à la zone urbaine... dont il n'y a pas davantage de définition simple (cf. encadré).

En Afrique subsaharienne, ces zones correspondent néanmoins à un certain paysage : un habitat dispersé (hameaux et villages) ou de petites agglomérations, où les activités de subsistance, principalement centrées sur l'agriculture, l'élevage et l'exploitation forestière, sont souvent saisonnières. Les échanges, fluctuant en fonction des volumes et des prix du marché, sont issus de la vente des produits agricoles sur les marchés à des grossistes intermédiaires ou à des industries agroalimentaires. Les revenus des populations sont ainsi souvent instables et limités.

Ce sont ces caractéristiques qualitatives (habitat dispersé, activités primaires prépondérantes, saisonnalité, instabilité et faiblesse des revenus...) qui sont retenues pour définir l'ERD, telle que cette expression sera utilisée tout au long de cet ouvrage.

Pourquoi distinguer électrification rurale et urbaine ?

Le milieu rural se caractérise par une densité faible d'usagers potentiels, dont la demande d'électricité est limitée en raison de leurs faibles ressources financières et qui sont géographiquement dispersés. Electrifier un espace rural en Afrique subsaharienne suppose des investissements plus importants, sans réalisation



Exemples de critères distinguant urbain et rural pour quelques pays d'Afrique subsaharienne

Souvent définies comme l'absence de zones urbaines, les zones rurales sont donc de facto une catégorie résiduelle. Les définitions utilisées par les instituts de statistiques varient d'un pays à l'autre, certains considérant un seul critère (45 % des pays), d'autres plusieurs (53 %), pour définir les zones urbaines reflétant les différentes réalités géographiques et socio-économiques.

Bénin : une zone urbaine est définie comme :

- tout chef-lieu de commune d'au moins 10 000 habitants et ayant au moins une des infrastructures ci-après : bureau de poste et télécommunication, bureau de recette de perception du trésor public, système d'adduction d'eau, d'électricité, centre de santé, collège ;
- tout arrondissement ayant au moins quatre des infrastructures ci-dessus et au moins 10 000 habitants (INSAE, 2011).

Ghana : les zones rurales recouvrent l'ensemble des localités de moins de 5 000 personnes (Ghana Statistical Service).

Nigeria : est considérée comme zone rurale toute localité de moins de 20 000 habitants dont les activités sont principalement agricoles.

Source : OIT, « Rural-urban labour statistics » (Genève, 2018).



L'absence d'une définition internationalement reconnue des zones rurales

Bien que les zones rurales aient été historiquement la matrice du développement économique et social et soient toujours au centre du débat sur le développement, elles n'ont pas de définition positive : est rural ce qui n'est pas urbain. La division des statistiques de l'ONU identifie la population rurale comme le solde après soustraction de la population urbaine à la population totale. **Mais une difficulté supplémentaire est que les villes elles non plus n'ont pas de définition normalisée.** La définition des zones urbaines varie largement d'un pays à l'autre. Le principal critère utilisé est la taille de la population, avec un seuil au-dessus duquel une agglomération devient urbaine. Mais d'autres critères sont aussi pris en compte, tels que la part des ménages agricoles, les limites administratives ou l'existence de certains services ; une approche multicritère est parfois adoptée.

Source : Sara Mercandalli et Bruno Losch, « Une Afrique rurale en mouvement - Dynamiques et facteurs des migrations au sud du Sahara » (FAO et CIRAD, 2018).

des mêmes économies d'échelle que pour la construction d'un réseau électrique urbain. Ce qui explique en partie l'absence de service en milieu rural subsaharien et l'écart de tarif entre électricité urbaine et rurale (cf. chapitre 2.1.2.).

De ce fait, l'ERD suppose de concevoir, grâce à une planification appropriée, des périmètres d'électrification rurale relativement étendus, mêlant localités à fort potentiel et espaces à faible densité de population. Ce « mix » territorial est une des dimensions essentielles à considérer pour asseoir la viabilité économique d'un projet de type miniréseau rural (sur cette solution, voir chapitre 3.5.). Les concepteurs sont également amenés à rechercher des mécanismes de subvention à l'investissement et à l'exploitation, car il est impensable de faire peser sur l'utilisateur tout le poids du financement d'une installation.

Si la distribution de service électrique individuel par le secteur marchand (lampes, kits domestiques) ne rencontre pas exactement les mêmes contraintes, elle ne peut cependant pas passer outre la nécessité d'optimiser et mutualiser les coûts. Les arbitrages se font donc rarement en faveur des zones les plus enclavées, et ces solutions restent réservées à une partie seulement de la population (cf. chapitre 3.2.)

Qu'entend-on par électrification « décentralisée » ?

L'électrification rurale par extension progressive d'un réseau centralisé, organisé en étoile autour d'un ou plusieurs centres de production interdépendants gérés par une même structure (société nationale par exemple), n'est pas viable économiquement (cf. chapitre 2.1.2.). Atteindre les objectifs d'une électrification pour tous en 2030 nécessite donc de faire appel à des solutions techniques alternatives, dites « décentralisées », c'est-à-dire, par opposition à l'organisation du réseau national, faisant appel à leurs propres moyens de

production d'électricité locale pour répondre à la demande en électricité en « circuit court ».

Les options décentralisées sont nombreuses (cf. partie 3) : petites centrales de production (par groupe électrogène ou énergie renouvelable) alimentant un miniréseau local de distribution, systèmes autonomes photovoltaïques, dispositifs portables... Combinées sur un même périmètre d'électrification, elles peuvent répondre à divers besoins d'électricité et apporter un service à presque toutes les populations d'une communauté rurale.

L'ERD n'est pas antinomique des solutions centralisées.

Un réseau national et un réseau local ne reposent pas sur des fondamentaux techniques différents (cf. encadré) ; ils se distinguent par le dimensionnement des équipements et les postulats économiques, aboutissant à des logiques de tarification très différentes (cf. chapitre 3.5.1.).

Néanmoins, ces deux approches sont complémentaires pour penser l'électrification d'un territoire national (cf. chapitre 2.1.2.).

Les systèmes décentralisés ne sont d'ailleurs pas l'apanage des zones rurales : lampes et systèmes individuels solaires se diffusent en complément d'un réseau national défaillant, ainsi que dans les foyers urbains ou périurbains n'ayant pas les moyens de se raccorder au réseau.

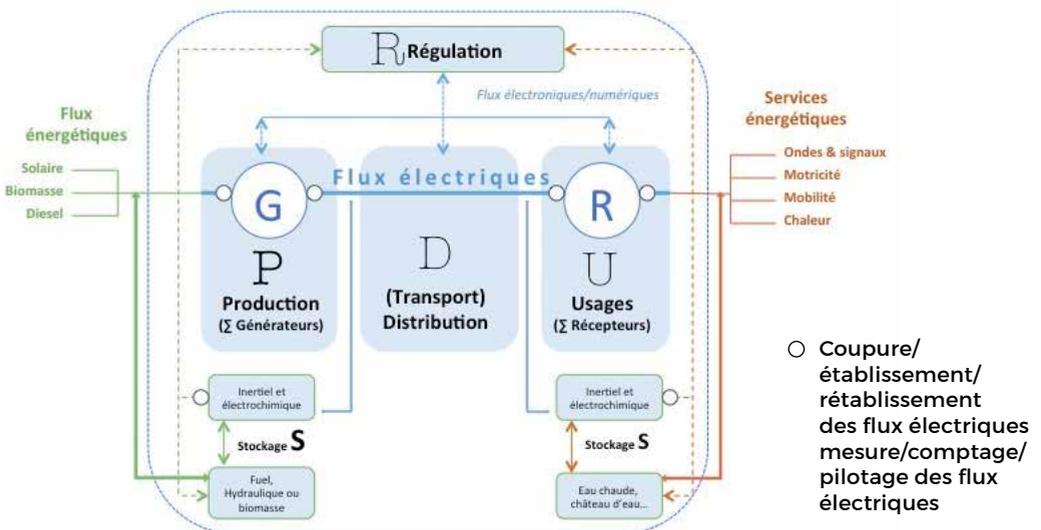
C'est d'ailleurs cette dimension « hors réseau », sans référence au type de territoire, que l'expression anglaise *off-grid* met à l'honneur.

Le caractère décentralisé de la solution se lit d'abord comme une différence de méthode.

S'affranchissant des contraintes de cohérence d'un réseau unique, les solutions décentralisées présentent des traits spécifiques : elles sont potentiellement conçues « sur mesure »

Un système d'électrification décentralisé repose sur les mêmes fondamentaux qu'un système centralisé

Tout système d'électrification, centralisé ou décentralisé, comporte quatre sous-ensembles :



Source : Christian de Gromard, référent énergie, AFD.

pour un territoire ou une catégorie donnée d'usagers, et impliquent une plus grande diversité d'intervenants.

La mise en œuvre d'un schéma d'électrification collective (cf. chapitre 3.4.) repose ainsi sur un triptyque méthodologique qui fait également écho aux deux valeurs fondatrices de l'ERD que sont la centralité de l'usage et l'objectif d'universalité du service :

- **une approche par la demande** : c'est la connaissance des besoins des futurs usagers qui va déterminer les caractéristiques du service électrique¹ et la conception des infrastructures de production ;
- **une participation effective de l'ensemble des parties prenantes au processus d'électrification** : la pérennité du service dépend de la capacité de la société civile et de ses institutions (collectivités nationales ou régionales, autorités administratives, élus, populations locales, tissu associatif et économique) à s'approprier et à tirer profit de l'arrivée de l'électricité ;
- **une exploitation par un opérateur électrique local, contractuellement cadrée** : préexistante ou créée ad hoc, la structure exploitante doit devenir compétente dans tous les métiers d'un opérateur électrique (technique, gestionnaire, commercial... ; cf. chapitre 3.5.).

On peut ajouter à cette vision méthodologique un **quatrième pilier : la mise en œuvre de solutions respectueuses de l'environnement**, qui se traduit par l'utilisation des gisements d'énergie disponibles localement, dès que les équipements l'ont permis. Le recours aux énergies renouvelables, notamment au solaire, fournit la réponse la plus pertinente à la logique de production d'électricité en circuit court.

Décentralisation du service électrique et décentralisation politique ne sont pas sans lien.

Là où l'extension de réseau procède plutôt d'une vision *top-down*, l'ERD parie sur une approche *bottom-up*. Dès lors, il apparaît logique que la mise en œuvre des solutions décentralisées incite les autorités nationales à décentraliser les services techniques en charge de l'électrification rurale et à transférer aux collectivités territoriales de fortes compétences dans ce domaine.

A l'heure actuelle, cette décentralisation est encore imparfaite. Le fait que les projets soient portés par des acteurs de proximité dotés des moyens appropriés permettrait pourtant de :

- **déployer plus efficacement cette méthode spécifique à l'ERD**, en donnant des garanties supérieures en termes de connaissance de la demande, d'appropriation collective et de montée en compétences des exploitants locaux (cf. les préconisations émises au chapitre 4.1.) ;
- **renforcer la création d'emplois** par l'intégration de l'électrification dans la logique d'aménagement des territoires.

L'ERD apparaît ainsi comme un ensemble de solutions développées pour répondre à la demande des communautés rurales non desservies ou mal servies par les réseaux nationaux, dans un souci d'apporter un service électrique le plus large possible au plus grand nombre de personnes possible. De ce fait, l'ERD se définit aussi par référence au réseau national, dont elle est devenue un complément indispensable. En quelque sorte, systèmes centralisés et systèmes décentralisés sont les deux faces d'une même pièce. ●

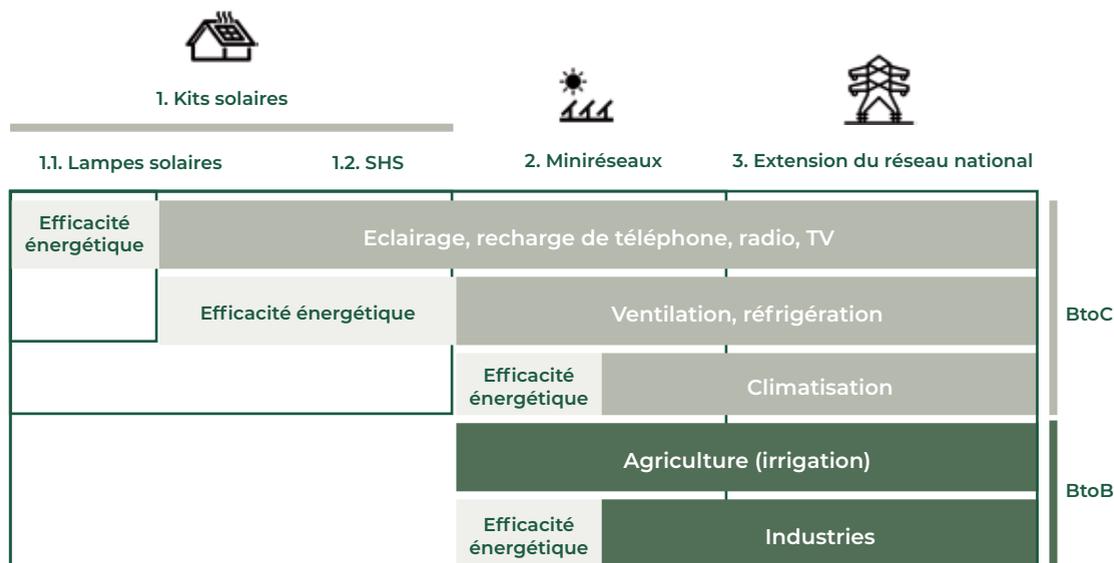
1. L'hypothèse généralement vérifiée est que le potentiel des ENR est supérieur à la demande.

« La plupart des études planifiant l'électrification de la Guinée accordent la priorité à une électrification par le réseau centralisé, comme le font le Programme national d'amélioration de l'accès à l'électricité en Guinée et son Prospectus d'investissement élaborés en 2015.

A mon avis, les miniréseaux et solutions individuelles devraient être priorités afin de servir équitablement la population rurale en attendant l'arrivée du réseau central. Dans ce cas, les miniréseaux doivent simplement intégrer des spécificités techniques compatibles avec le réseau public en vue de leur raccordement futur. Par ailleurs, il faut aussi prévoir des mécanismes de compensation afin d'assurer à l'opérateur du miniréseau de récupérer entièrement son investissement. »

Mamadou Saidou Diallo, ingénieur électro-énergéticien de formation, travaille depuis quinze ans dans le domaine du développement de l'électrification rurale en Guinée ; il est directeur général adjoint de l'Agence guinéenne d'électrification rurale (AGER). Retrouvez l'intégralité de l'interview sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>

Modèles d'électrification et usages associés



Source : AIE, « Energy Access Outlook 2017, From Poverty to Prosperity » (Paris, 2017).

2.1.2.

Le recours aux solutions décentralisées par énergies renouvelables est la seule alternative crédible à l'extension de réseau pour électrifier les zones rurales subsahariennes.

Accéder à un service électrique est devenu un enjeu politique national et local majeur, car les communautés rurales n'acceptent plus l'absence de l'électricité et réclament l'égalité de traitement entre villes et campagnes. Elles souhaitent légitimement pouvoir améliorer leurs conditions de vie, s'informer et communiquer facilement et développer des activités pour accroître leurs revenus.

Pour répondre à cette demande sociale, l'extension des réseaux urbains n'est pas une option de court/moyen terme. Les investissements requis (cf. encadré) sont au-delà des capacités financières des sociétés nationales d'électricité, qui sont souvent déjà exsangues (cf. chapitre 11.2.). Quant aux pouvoirs publics de la région, pour la plupart d'entre eux, ils ne disposent pas du système fiscal permettant de financer ce service de

base, qui nécessite de lourdes dépenses matérielles et organisationnelles (cf. chapitre 2.3.).

L'extension des réseaux est une option trop coûteuse pour être rapidement généralisée.

Apporter l'électricité en zone rurale se heurte à plusieurs difficultés qui rendent l'extension de réseau très difficile à amortir, limitent la réalisation des plans d'électrification rurale d'envergure et expliquent in fine les faibles taux d'accès à l'électricité en milieu rural :

- **la dispersion importante des localités sur un territoire** : les longues distances accroissent le coût du transport des lignes moyenne tension de 30 000 €/km ;
- **la faible densité de l'habitat au sein d'une localité** : tirer une ligne basse tension suppose un investissement de l'ordre de 15 000 €/km ;

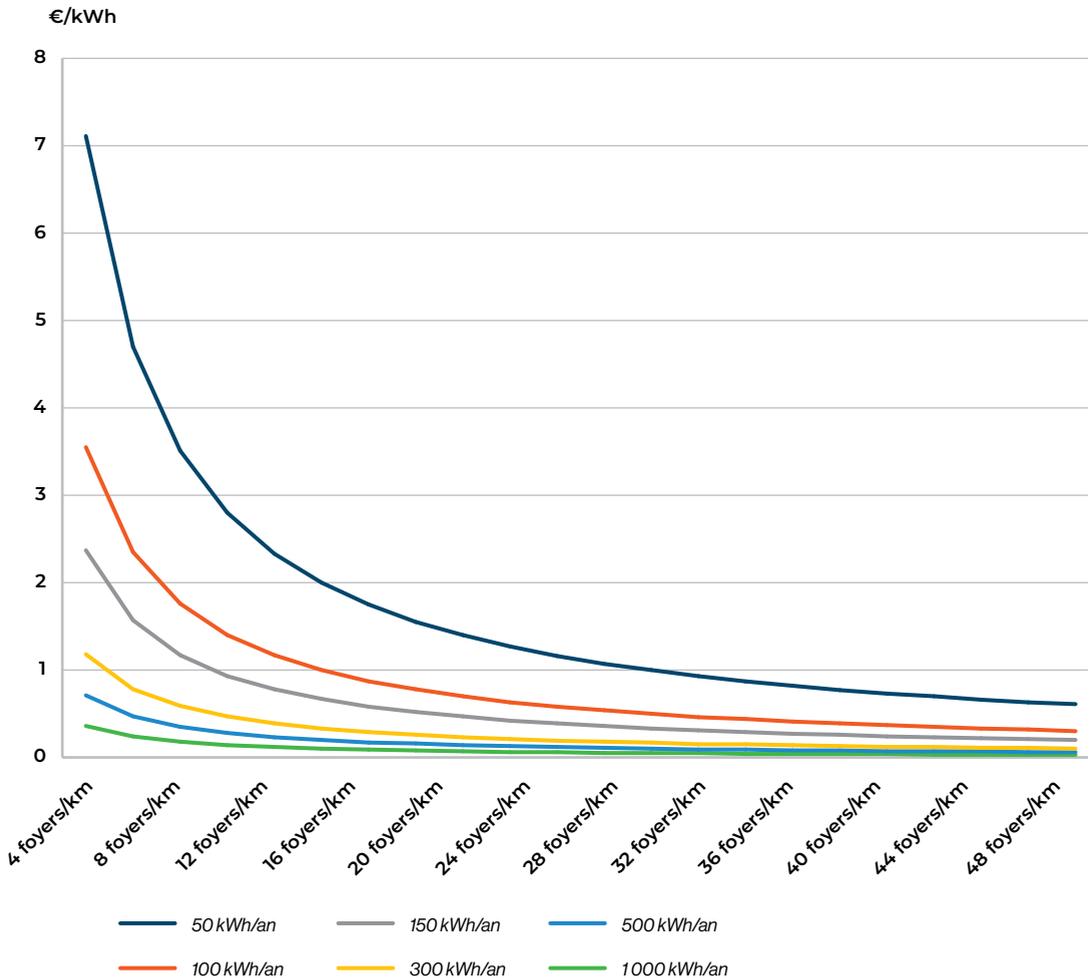


Montant d'investissement requis pour électrifier l'Afrique subsaharienne rurale

Selon l'IEA, pour assurer un accès à l'énergie universel en Afrique subsaharienne (toutes zones confondues, urbaines et rurales) d'ici 2030, 370 milliards de dollars d'investissements additionnels seraient nécessaires sur la période 2017-2030, soit environ 26 milliards de dollars supplémentaires par an.

Source : AIE, « Energy Access Outlook 2017, From Poverty to Prosperity » (Paris, 2017).

Coût du transport d'électricité en fonction du nombre de foyers raccordés par kilomètre et de leur consommation annuelle



Source : Christian de Gromard, référent énergie, AFD.

- **les faibles consommations électriques** des abonnés ruraux, de l'ordre de 80 à 100 kWh/an et par foyer, en lien avec la faiblesse de leurs revenus ;
- **les incertitudes sur une évolution favorable des consommations d'électricité** : les activités sont globalement stables sur les territoires ruraux en raison de leur faible attractivité.

Il faut noter que la dynamique démographique observée en Afrique subsaharienne pourrait avoir un impact sur certains de ces facteurs et modifier la donne pour l'analyse comparative entre extension de réseau et mise en place de solutions décentralisées.

Du côté de la société d'électricité, le surinvestissement par localité et par abonné rural limite le nombre de zones électrifiées.

L'extension de réseau vers une zone rurale suppose l'investissement dans des équipements supplémentaires pour augmenter les capacités de production, assurer le transport de l'électricité et le raccordement des usagers. Il faut également anticiper un rendement entamé par les pertes techniques (dans les transformateurs et les câbles) et les pertes commerciales (les impayés et branchements pirates peuvent atteindre jusqu'à 30 %). Ces deux types de pertes, bien connus des sociétés nationales d'électricité (cf. chapitre 1.2), affectent encore davantage les installations rurales que les urbaines. La présence d'activités économiques fortement consommatrices d'électricité n'est pas

systématique dans les localités rurales, loin s'en faut. Le développement d'activités lié à l'arrivée de l'électricité requiert donc, pour créer une dynamique locale favorable, des actions soutenues de sensibilisation, d'incitation et d'accompagnement... ce qui a bien évidemment un coût. Par ailleurs, ces actions débordent le cadre naturel d'intervention des sociétés nationales d'électricité, qui ne recherchent pas une approche multisectorielle de l'électrification ni n'impliquent les collectivités locales, ou les services administratifs décentralisés de ministères.

Du côté des abonnés, coûts de raccordement et tarifs sociaux pénalisent directement ou indirectement l'accès au service du plus grand nombre.

A la charge de l'utilisateur, les coûts de raccordement sont inaccessibles aux plus démunis, qui habitent le plus souvent en périphérie des localités. C'est un des obstacles majeurs à l'augmentation du taux de desserte par réseau national. Les données disponibles indiquent que, dès que la distance entre le réseau et le bâtiment à électrifier dépasse 200 mètres (ce qui est fréquent dans les périphéries des villes africaines), les conditions financières de raccordement sont rédhibitoires pour la majorité des habitants.

En parallèle, ceux qui ont la capacité de se raccorder au réseau, quelle que soit leur localisation, peuvent bénéficier de tarifs sociaux. Favorables aux petits consommateurs, ces tarifs dépassent rarement les 100 FCFA/kWh (0,15 cts €). Un état de fait qui impacte l'équilibre financier de la société d'électricité et ne l'incite pas à multiplier les extensions de réseau. Paradoxalement, l'existence de ces tarifs sociaux pénalise ainsi indirectement l'accès à l'électricité des populations rurales.



L'exemple du Ghana : la règle des 20 km

Au Ghana, les « agences » (compagnies publiques) de distribution d'électricité se concentrent principalement sur l'amélioration de l'accès à l'électricité dans les zones urbaines et périurbaines déjà couvertes par le réseau, ainsi que dans les zones rurales situées à une distance raisonnable (inférieure à 20 km) du réseau existant.

Source : Francis Kemausuor, Edwin Adkins, Isaac Adu-Poku, Abeeku Brew-Hammond et Vijay Modi. « Electrification planning using Network Planner tool: The case of Ghana », *Energy for Sustainable Development*, no 19 (2014).

1. Christine Heuraux, « L'électricité en Afrique ou le continent des paradoxes » (Paris : Institut français des relations internationales, 2011).



Taux de desserte vs. taux de connexion

Le **taux de desserte** indique le ratio des populations des villages connectés sur la population totale de la zone (ou le nombre de villages électrifiés sur le nombre total de villages).

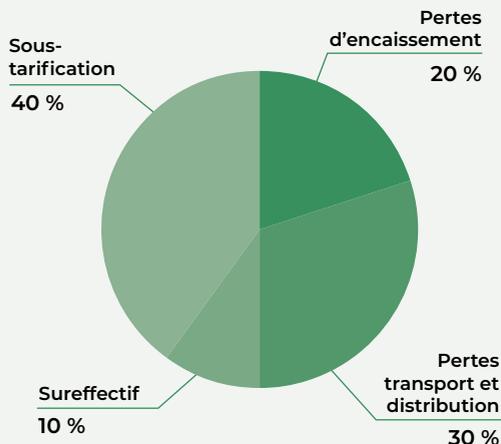
Il ne faut pas le confondre avec le **taux de connexion** (ratio de la population effectivement connectée sur la population totale). Le taux de desserte caractérise l'étendue de la couverture du service, alors que le taux de connexion indique l'étendue effective du service.

Exemple : 100 villages, 50 foyers/village, 10 personnes/foyer, soit un total de 50 000 habitants. Si 30 villages sont électrifiés, alors le taux de desserte est de 30 %.

Si le taux moyen de connexion par village est de 20 % (10 foyers raccordés), le taux de connexion sur la zone est de 30 % x 20 % = 6 % (300 foyers ou 3 000 personnes).



Composition des coûts « cachés » en Afrique subsaharienne (hors Afrique du Sud)



La sous-tarification est l'élément le plus important des déficits quasi budgétaires des services publics de l'Afrique subsaharienne, suivie par les pertes en matière de transmission et de distribution.

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



L'Afrique, terrain très dynamique pour les solutions d'électrification décentralisées par énergie renouvelable, notamment solaire.

Sur le continent, la population touchée par les solutions décentralisées est passée de 2 millions en 2011 à 53 millions en 2016. Ce sont essentiellement les lampes solaires (et notamment celles diffusées massivement en Afrique de l'Est) qui tirent cette croissance : en 2016, elles équipent près de 50 millions de personnes, tandis que 4 millions disposent d'un Solar Home System et que plus d'1 million sont alimentées par miniréseau solaire.

La capacité cumulée des solutions décentralisées est passée de 231 MW à près de 1,2 GW entre 2008 et 2017, dont la technologie solaire représente plus des deux tiers (820 MW). La capacité des miniréseaux hydrauliques est passée de 124 MW en 2008 à 162 MW en 2017, mais elle pèse de moins en moins lourd dans le mix énergétique : elle représente moins de 15 % de la capacité totale des solutions décentralisées par énergie renouvelable en 2017, contre 53 % en 2008.

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

Pour électrifier les communautés rurales, l'extension du réseau national est donc, en pratique, envisageable dans un nombre limité de situations ; l'essentiel de la réponse à la demande d'électrification de ces communautés est ailleurs, dans le déploiement des solutions décentralisées.

Les solutions décentralisées par énergies renouvelables permettent d'envisager une réponse adaptée à la demande rurale.

Dans l'impossibilité de réaliser l'électrification rurale par extension du réseau national (pour des raisons économiques), les sociétés d'électricité ont tenté de décentraliser leur production : prenant en charge les investissements et une partie des coûts d'exploitation, elles ont électrifié par miniréseau diesel les centres urbains secondaires trop éloignés du réseau pour lui être reliés.

In fine, ces initiatives n'ont pas été généralisées à des communes de moindre importance, compte tenu du coût (notamment d'approvisionnement en carburant) et des contraintes d'exploitation (cf. chapitre 3.5.).

C'est l'apparition de solutions décentralisées par énergies renouvelables qui a permis :

- d'envisager une électrification globale des pays d'Afrique subsaharienne et de tester cette hypothèse dès les années 1970 ;
- puis, quarante ans après, lorsque ces solutions décentralisées sont devenues compétitives, de sélectionner l'option technique la plus pertinente en fonction du contexte local.

Les pays bénéficiant d'importants gisements d'énergies renouvelables (cf. chapitre 1.1.2.) sont autant de terrains favorables à la mise en œuvre de solutions solaires (le plus souvent) ou hydrauliques (quand le contexte s'y prête), qui évitent le

recours aux groupes thermiques, incompatible avec la lutte contre le changement climatique¹.

La diffusion de ces solutions décentralisées par énergie renouvelable est un succès de la préélectrification, plus que de l'électrification.

Entre 2011 et 2016, le nombre d'Africains ayant accès à l'électricité par solutions décentralisées de source renouvelable a été multiplié par vingt-cinq ; les capacités de production ont quintuplé depuis 2008, grâce notamment au déploiement de la technologie solaire (cf. encadré).

Cette progression repose sur la diffusion rapide des solutions individuelles (et non des solutions collectives de type miniréseau), favorisée par la baisse très significative des coûts de la technologie photovoltaïque (cf. chapitre 2.3.1.). **Elle est portée essentiellement par la diffusion massive de lampes solaires portables**, solution la plus

accessible : une lampe coûte environ 10 €, contre 200 € à 500 € pour un système solaire individuel.

Or, la diffusion de lampes solaires ne permettra pas d'atteindre l'objectif d'universalité des usages que vise l'ERD. C'est donc moins l'électrification que la « préélectrification » qui a progressé rapidement.

Pour réaliser une électrification couvrant davantage d'usages, le miniréseau solaire apparaît comme la solution la plus intéressante en relais de l'extension de réseau (cf. encadré page suivante) mais le financement de ce type d'installation n'est pas évident (cf. chapitre 2.3.2.). Par ailleurs, la pérennité d'un miniréseau suppose la prise en compte de nombreux facteurs (cf. chapitres 3.5.3).

1. Le recours aux groupes électrogènes doit être strictement réservé à l'hybridation des solutions ENR, pour limiter le recours aux batteries (cf. chapitre 3.1.).



Lampe solaire portable.



Le miniréseau solaire comme solution intermédiaire utile

Il semble bien plus stratégique et avantageux de commencer par étendre le réseau vers les zones à haut potentiel d'électrification et de développement d'activités productives, tout en maintenant au départ la fourniture d'alternatives à plus petite échelle dans d'autres zones.

Les miniréseaux utilisant l'énergie solaire ont également bénéficié des progrès rapides et considérables des technologies d'énergie solaire. Par conséquent, ils constituent une solution intermédiaire potentiellement très intéressante pour renforcer la disponibilité de l'électricité dans les zones où l'extension du réseau est onéreuse ou ne peut être menée à bien dans un avenir proche.

Cependant, il n'existe jusqu'à présent que peu d'exemples d'investissements consacrés à la mise en place de miniréseaux en Afrique subsaharienne. L'accessibilité financière peut rester un défi pour l'expansion des miniréseaux, qui nécessitent généralement un « acheteur de référence », comme un utilisateur commercial ou une petite entreprise industrielle, en plus des clients résidentiels pour être financièrement viables. Un grand défi pour susciter les investissements du secteur privé dans les miniréseaux est la confiance à l'égard de la tarification et des obligations d'achat des clients, ainsi que du sort des actifs des miniréseaux lorsque le réseau commence à pénétrer dans son territoire de desserte. Il pourrait être très utile d'effectuer de nouveaux investissements dans un cadre expérimental pour approfondir les connaissances relatives à l'économie et à la gouvernance des miniréseaux en Afrique subsaharienne.

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

Plusieurs critères plaident en faveur de l'électrification hors réseau par énergies renouvelables malgré un tarif élevé pour l'utilisateur

Le prix payé par l'utilisateur d'une solution décentralisée est aujourd'hui supérieur à celui payé par un usager urbain, car il reflète fidèlement l'ensemble des coûts induits par la fourniture du bien ou du service électrique. Ainsi, pour un miniréseau local, qui se trouve de facto hors périmètre de la société d'électricité et du système de péréquation nationale, la grille tarifaire est spécifique et n'intègre pas les subventions dont bénéficie l'utilisateur urbain raccordé au réseau national.

Néanmoins, les solutions décentralisées par énergie renouvelable présentent plusieurs avantages comparatifs par rapport à l'extension de réseau :

- **optimisation de l'investissement :** pour un budget donné, on peut électrifier un certain nombre de localités et d'abonnés et ajuster le service en fonction des capacités contributives réelles des usagers potentiels ;
- **offre ajustée à la demande :** la puissance et l'énergie disponibles sont définies en fonction des besoins des différents usages (domestiques, productifs, communautaires) dans

chaque localité et de leur évolution probable ;

- **variété des solutions** : de la lampe portable au miniréseau local, la palette est large (cf. partie 3) et permet d'ajuster le coût de l'accès et de l'usage de l'électricité à la capacité financière de chaque usager ;
- **rapidité d'intervention** : même dans le cas d'un miniréseau, les composants d'une unité de production décentralisée sont modulaires et simples à installer ;
- **maîtrise de l'énergie** : la solution technique intègre des récepteurs performants (LED, TV très basse consommation, réfrigérateur super isolé...).

Entre extension de réseau et solution décentralisée, l'arbitrage se fait par les coûts, ce qui place l'usage de l'électricité au centre de l'analyse.

Si on fait abstraction des considérations politiques et des contraintes de financement qui peuvent venir paramétrer la décision, le choix technique rationnel entre une solution conventionnelle d'extension de réseau et des solutions décentralisées faisant appel aux gisements locaux d'énergie doit procéder d'une analyse comparative des coûts d'installation, de distribution et d'exploitation (cf. encadré).

Ces coûts dépendent notamment de :

- **la distance** entre la zone à électrifier et le réseau ;
- **l'énergie électrique** que la population de chacune des localités sera amenée à consommer.

Ce choix technique rationnel ne peut reposer uniquement sur une modélisation abstraite et bureaucratique. Il nécessite une approche qualitative fine, une observation patiente du terrain qui permet de déterminer la valeur des différents usages de l'électricité, qui doit guider la démarche : elle seule permet de déterminer les applications prioritaires



Choisir une option technique : l'approche par les coûts

De manière générale, le choix de la technologie de l'électricité dans le contexte de l'électrification rurale est influencé par divers acteurs et facteurs – les politiques en vigueur et les agences gouvernementales, les distributeurs, les sociétés de services, les institutions de financement et les caractéristiques socio-économiques des ménages.

Bien que les options autonomes et celles connectées au réseau présentent chacune des avantages et des inconvénients, **le principe de base consiste à adopter, dans la mesure du possible, les options technologiques les moins coûteuses et les moins exigeantes en matière de maintenance.** La faisabilité technique peut dépendre de plusieurs facteurs tels que les caractéristiques physiques du terrain, la distance par rapport au réseau existant, la nature de la demande locale d'électricité et la disponibilité des ressources sur le site.

Source : Francis Kemausuor, Edwin Adkins, Isaac Adu-Poku, Abeeke Brew-Hammond et Vijay Modi. « Electrification planning using Network Planner tool: The case of Ghana », *Energy for Sustainable Development*, no 19 (2014).



Le concept de préélectrification et l'initiative Lighting Africa

Au-delà des démarches particulières d'analyse et d'optimisation de la demande mises en œuvre dans le cadre de projets spécifiques, notamment solaires, l'AFME (aujourd'hui ADEME) a lancé en 1985 le concept de préélectrification, proposant une autre façon d'électrifier des zones rurales que celle conventionnellement mise en œuvre par extension des réseaux urbains.

Tels sont les principes à la base que ce concept s'attache à combiner :

- l'efficacité énergétique des équipements d'usage de l'électricité, avec un accent particulier mis sur l'éclairage (le principal poste de consommation dans de nombreuses zones rurales) et le développement de lampes portables rechargeables performantes ;
- deux modes de distribution de l'électricité : « linéique » (avec microréseau local) et « voltaïque » (avec transport d'accumulateurs ou kits solaires individualisés) ;
- différents types de sources de production de petites puissances, sélectionnés selon les sites en privilégiant les énergies renouvelables (solaire et petite hydro en particulier).

Le concept de préélectrification a donné lieu à deux importants programmes d'ERD au Maroc. Il a été repris sous d'autres appellations, notamment celles de SSD, sociétés de services décentralisées promues par EDF et l'ADEME en Afrique subsaharienne.

L'expression ERD, plus durable, l'a maintenant remplacé.

Le volet « lampes portables performantes » de la préélectrification, qui exploitait les technologies des années 1980, a été repris vingt ans après par la Banque mondiale dans l'initiative Lighting Africa, en utilisant les technologies qui se sont diffusées ces quinze dernières années (LED pour l'éclairage et principalement lithium-ion pour les accus). Ces progrès technologiques, soutenus par cette initiative, ont contribué à sensiblement améliorer la qualité et la souplesse d'utilisation de l'éclairage électrique hors réseau.

Source : <https://www.lightingafrica.org>.

de l'électricité (actuelles et futures) sur un territoire considéré et de s'assurer de la volonté de payer des usagers potentiels (cf. chapitre 2.4.1).

L'essor de l'électrification hors réseau par énergies renouvelables a ainsi été l'occasion de revisiter les questions relatives aux usages de l'électricité. Là où l'extension du réseau préempte généralement des niveaux de consommation similaires à ceux du milieu urbain (ce que démentent les constats de terrain), l'ERD part des besoins pour définir les solutions, collectives ou individuelles, capables de les satisfaire.

L'approche *bottom-up* que privilégie l'ERD s'est progressivement définie puis consolidée au fil des expériences. C'est cette « histoire » dont les prochains paragraphes font le récit, en mettant l'accent sur les différentes phases et les facteurs d'évolution qui l'ont scandée. ●



© Kellie Jo Brown/Lighting Africa/2012.

Quelques produits testés par l'initiative Lighting Global

2.2.

Les solutions d'électrification hors réseau reposent sur 50 années d'histoire.

Les développements qui suivent proposent plusieurs immersions dans le passé de nature à éclairer le présent.

Tout d'abord, deux détours tant géographiques qu'historiques par la France et les Etats-Unis donnent des clés utiles pour appréhender la logique de fourniture d'électricité par un réseau local. En effet, dans ces deux pays, l'électrification rurale s'est faite de manière fondamentalement décentralisée, par impulsion du niveau local, avec le soutien de l'administration centrale (2.2.1.).

Ensuite, il est utile de faire une incursion chronologique en remontant depuis les années 1970, pour comprendre dans quels contextes successifs et selon quelles logiques s'est construite la pratique de l'ERD dans les pays du Sud (2.2.2.), avant d'entrer dans la période de rupture que le domaine connaît aujourd'hui et à laquelle cet ouvrage consacre des développements détaillés (cf. chapitre 2.3.).



© Fondation Énergies pour le Monde

Le Programme Pilote d'Électrification Rurale au Maroc, pionnier de l'ERD.

2.2.1.

Historiquement, l'accès à l'électricité s'est fait par processus décentralisé dans les zones rurales des pays industrialisés.

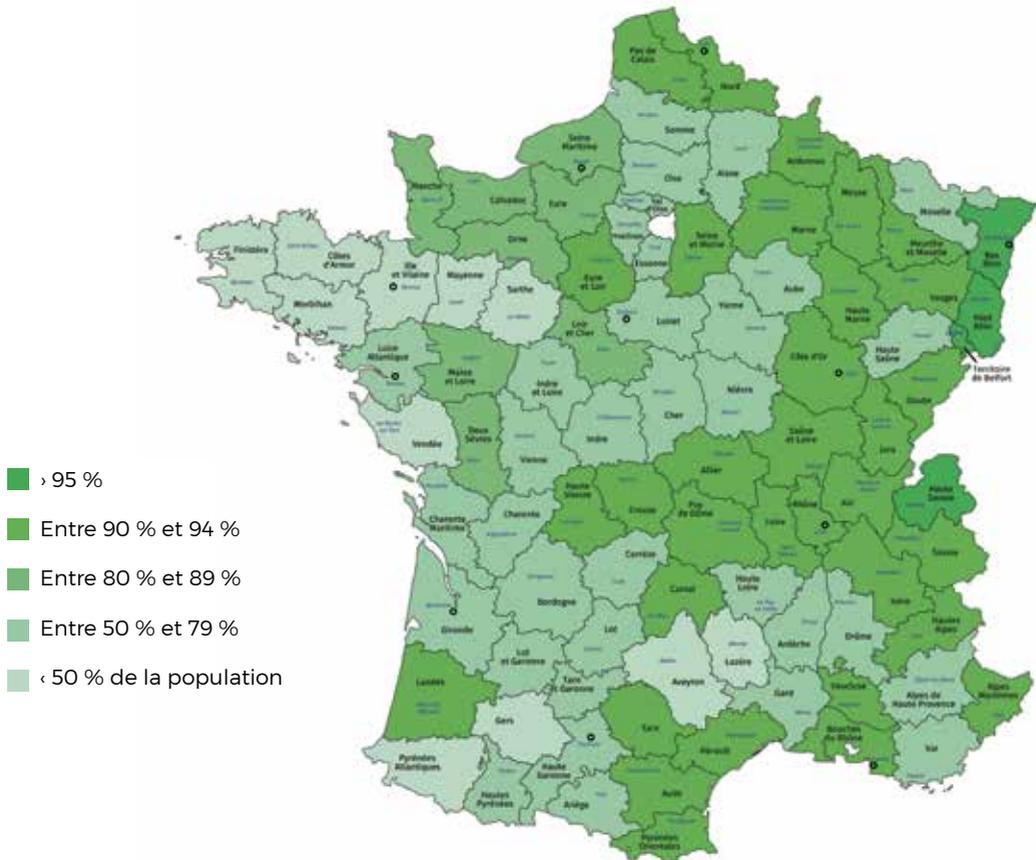
L'analyse comparative avec l'histoire de l'électrification des pays industrialisés donne des repères utiles pour comprendre ce qui se joue dans l'électrification rurale contemporaine en Afrique. **Nombre d'Européens de plus de 75 ans sont nés dans des campagnes qui, comme le milieu rural subsaharien actuel, étaient peu ou pas pourvues en infrastructures (routes, canaux, chemins de fer, adductions d'eau, télégraphie, etc.), dans des maisons sans électricité ni eau courante, où les lampes à paraffine et les bougies étaient les principales sources d'éclairage domestique. L'électrification de la France et des Etats-Unis, tout juste achevée dans les années 1970, a démarré et s'est développée à une époque où ces deux pays étaient beaucoup plus ruraux et agricoles qu'aujourd'hui, à la bascule du XIX^e et du XX^e siècle.**

Pourquoi évoquer l'électrification rurale française et américaine ? Parce que ces deux cas témoignent du rôle premier que joue l'impulsion locale (collectivités locales ou coopératives rurales) dans l'accès à l'électricité d'un territoire. Ces deux exemples montrent que l'électrification rurale est un processus décentralisé et qu'il y a une logique à penser l'électrification rurale par l'essor des solutions décentralisées en Afrique subsaharienne comme ailleurs.

En France, l'initiative locale a été le déclencheur et le moteur principal du développement de l'électrification.

Jusqu'à la Seconde Guerre mondiale, et comme dans la plupart des pays industrialisés, l'accès à l'électricité s'est d'abord développé de façon décentralisée, sous l'impulsion d'un ou plusieurs acteurs : une collectivité territoriale, une coopérative, un groupe d'usagers, une entreprise d'électrification, une industrie autoproductrice d'électricité... L'interconnexion des réseaux électriques locaux décentralisés n'est intervenue que plus tard et progressivement, en fonction de l'évolution du maillage territorial. L'Etat y a toutefois toujours joué un rôle indispensable, d'abord en réglementant le secteur, puis en facilitant l'accès aux financements.

Taux d'électrification des campagnes françaises par départements en 1946



Source : Arnaud Berthonnet, « L'électrification rurale, ou le développement de la "fée électricité" au cœur des campagnes françaises dans le premier XX^e siècle », *Histoire & Sociétés Rurales* 19, no 1 (2003).

L'électrification du territoire français s'est opérée via des concessions communales accordées à des entreprises privées.

L'électrification de la France s'est effectuée dans sa grande majorité avant la nationalisation du secteur électrique, en 1946. Au moment de la création de la société publique Electricité de France (EDF), 90 % des localités du pays (plus de

30 000 communes) étaient déjà électrifiées par des entreprises ou des régies d'électricité dans le cadre de concessions communales (voir carte). C'est ainsi que s'est effectuée, par exemple, l'électrification du département du Lot, peut-être un peu plus pauvre que la moyenne des départements français mais globalement représentatif de la France rurale (voir encadré).



Le département du Lot : un exemple d'électrification rurale décentralisée

L'électrification de ce département rural a connu deux grandes phases avant la nationalisation du secteur de l'électricité en 1946.

PHASE 1 : la rencontre entre la demande des habitants « décidés à s'éclairer dans les plus brefs délais », portée par leurs conseils municipaux, et les propositions faites par des entreprises d'électrification, le plus souvent de petite taille.

Après enquête publique et contrôle des services techniques, les communes accordent des concessions exclusives à ces entreprises pour une durée de quarante ans, approuvées par le préfet. Pour plus de 80 % des communes, l'opération d'électrification s'effectue sur la base d'investissements et d'une gestion totalement privés ; certains concessionnaires reçoivent des subventions des communes elles-mêmes. Le rôle de l'Etat est alors de définir des réglementations détaillées destinées aux maîtres d'ouvrage et aux opérateurs privés relatives aux caractéristiques techniques, aux règles de sécurité et aux niveaux maxima de tarifs. Par exemple, dans certaines communes, « l'éclairage est disponible jusqu'à 22 heures, sauf le samedi, dimanche et jours de foire où il est prolongé un quart d'heure au-delà de l'heure légale des cafés ». Les litiges entre communes et entreprises sont résolus localement ou au niveau de la préfecture.

PHASE 2 : le rattachement à des syndicats intercommunaux d'électrification ayant pour objet la construction et l'exploitation via un opérateur privé d'un réseau de distribution dans les communes.

C'est la phase d'investissements des collectivités locales et de gestion privée. Ainsi, le Syndicat du nord du Lot finance les montants des travaux grâce à des prêts de la Caisse des dépôts et consignations, à la condition que les communes garantissent le montant des travaux qui leur correspondent. Le syndicat se rembourse à travers la tarification des services électriques (environ 50 % de la tarification lui reviennent et 50 % vont à l'opérateur), et c'est seulement en cas de défaillance que les communes sont chargées de suppléer en levant l'impôt. Certaines petites communes s'engagent ainsi à garantir des montants qui peuvent représenter un risque financier à hauteur de presque 20 % de leur budget. Avant la Seconde Guerre mondiale et pour environ 167 000 habitants, le secteur électrique du Lot compte onze syndicats intercommunaux et un syndicat communal, trois entreprises d'exploitation principales, deux plus petites et neuf exploitants particuliers, ainsi qu'une seule régie municipale. Plus de 95 % des localités et 74 % de la population ont accès au service électrique.

Il faudra attendre les années 50 pour que les dernières communes du Lot soient électrifiées par un syndicat qui, jusqu'à aujourd'hui, reste propriétaire du réseau mais en a confié l'exploitation à l'entreprise nationale EDF, qui « n'a fait que compléter, moderniser et gérer le système existant, sans aucun doute avec professionnalisme et succès. »

Source : Michel Matly, « L'électrification du monde commence à Labastide-Murat », *Revue de l'Energie*, no 523 (2001).

L'exemple du département du Lot met en évidence les quatre fondements qui ont permis, avant la nationalisation, d'atteindre en France un meilleur niveau d'électrification rurale que dans la plupart des pays européens à la même époque :

- la volonté des collectivités locales, notamment des communes ;
- le partenariat avec une entreprise d'électricité ;
- un cadre législatif et réglementaire approprié ;
- un accès facilité aux financements.

L'électrification repose d'abord sur le volontarisme des collectivités locales, notamment des communes.

La responsabilité de l'électrification a été déléguée aux communes par la loi dès le début du xx^e siècle, alors même que leurs compétences étaient peu développées, les budgets municipaux souvent dérisoires et leurs populations encore partiellement illettrées.

Une grande majorité des communes ont provoqué l'arrivée de l'électricité et exercé pleinement leur responsabilité de maître d'ouvrage* :

- pour mettre en place cette innovation, elles ont identifié des entreprises d'électricité auxquelles elles ont accordé des concessions de longue durée ;
- elles ont également dû acquérir des compétences en interne pour en assurer le contrôle technique ou le déléguer aux services de l'Etat ;
- par la suite, elles ont eu à choisir leur syndicat intercommunal puis à accepter ou non d'en garantir les emprunts.

La mise en œuvre effective de l'électrification s'appuie sur un partenariat entre collectivité locale et entreprise d'électricité.

La volonté des communes est une condition nécessaire mais non suffisante : elle doit se concrétiser dans un partenariat (concession)

.....

« Cette volonté n'émanait pas d'un fonctionnaire urbain assis dans un bureau électrifié, mais de communautés rurales désireuses de voir leur qualité de vie changer grâce à l'arrivée du service. Et cette volonté a été un des moteurs principaux du développement de l'électricité. »

Michel Matly, « L'électrification du monde commence à Labastide-Murat », Revue de l'Energie, n° 523 (2001).

.....

avec une entreprise d'électricité, pour fournir, mettre en place et exploiter les équipements d'électrification, soit en direct, soit via un syndicat intercommunal.

Peu des communes ont choisi d'assurer elles-mêmes la gestion de leur distribution électrique. S'il y a eu au moins une régie dans le Lot et s'il en existe encore actuellement en France, la plupart des communes et des syndicats ont opté pour une exploitation privée plutôt que communale. Ce sont les sociétés d'électricité, souvent extérieures au territoire, qui démarchent en premier lieu les collectivités (par exemple, avant 1925, la commune de Labastide-Murat a été contactée par une entreprise parisienne pour développer son éclairage public).

Cependant, la mise en place progressive des syndicats intercommunaux d'électrification a ensuite entraîné la création de regroupements locaux d'entreprises. Les entreprises privées se sont prêtées au jeu, notamment des propriétaires de moulins, des petites entreprises ou des particuliers, sans espoir de gains importants, mais avec la



Le cas de Labastide-Murat (Lot, France) : un projet viable malgré un volume très faible de consommation.

« Arrivées sans subvention, les sociétés d'électricité font la preuve qu'une activité d'électrification est rentable jusque dans des situations relativement limitées : dans le cas de Labastide-Murat, il a suffi de **150 clients de la localité principale**, des consommateurs microscopiques, pour la plupart à 5 kWh par mois. »

Source : Michel Matly, « L'électrification du monde commence à Labastide-Murat », *Revue de l'Energie*, no 523 (2001).

sécurité conférée par la concession. Elles ont investi là où un niveau de demande acceptable rendait l'électrification viable, parfois à des échelles très restreintes (cf. encadré).

Cette expérience prouve qu'il est possible de trouver l'équilibre économique sur des périmètres territoriaux réduits présentant des consommations faibles. Mais cette réussite repose aussi sur le cadre institutionnel et réglementaire propice dont elle a bénéficié : c'est le deuxième enseignement à tirer du cas de l'électrification rurale française.

L'électrification doit être encadrée par des règles appropriées en matière de sécurité, d'environnement et de tarification.

La loi avait délégué aux communes la responsabilité de l'électrification, les communes avaient la volonté de l'exercer et les entreprises privées celle de répondre à leur demande. Mais c'est bien le cadre réglementaire mis en place par la puissance publique qui a permis la concrétisation de cette dynamique.

Pour pallier le manque de compétences initial, les services de l'Etat ont en effet élaboré et communiqué aux communes un panel complet d'outils pour mettre en œuvre les différentes étapes légales d'un projet d'électrification :

- modalités d'étude et d'attribution des concessions d'électrification ;
- cahier des charges techniques (aspects de sécurité, conflits éventuels avec les réseaux téléphoniques) ;
- modèle type de dossier de demande d'autorisation, cahier des charges définissant les modalités de financement et d'exécution du contrôle ;
- modèle type de délégation du contrôle de la commune à l'Etat ;

- cadre de document statistique type à fournir par l'entreprise d'électricité à la municipalité et aux pouvoirs publics ;
- modalités types de révision tarifaire ;
- modèles de délibérations municipales portant décision et de lettres de la commune pour la transmission des dossiers.

Enfin, en France, aucun projet n'a été réalisé sans l'autorisation de l'Etat, amené à se prononcer sur les compétences de l'entreprise ainsi que sur les données techniques et les tarifs, garantissant ainsi une cohérence de l'ensemble à l'échelle nationale. Si le soutien technique de l'Etat a été fort, son appui financier, en revanche, n'a été que ponctuel.

L'électrification décentralisée requiert un accès facilité à certains instruments financiers (garantie bancaire, taux bonifiés, etc.).

Plus de 60 % de l'électrification française s'est effectuée sans aucune aide publique. Initialement (à partir de 1925 et pendant un peu plus d'une dizaine d'années), l'Etat n'avait pas les moyens d'investir dans les projets, ni même d'aider le développement du secteur électrique par des subventions. Les communes ont parfois organisé des collectes ou dégagé un budget, mais l'électrification n'a, le plus souvent, rien coûté à la collectivité.

Cependant, les petites communes, les hameaux et les ménages isolés, qui ne représentaient pas un marché viable, restaient exclus du service électrique. Dans un deuxième temps, pour poursuivre l'électrification, la puissance publique est donc intervenue en encourageant la création de syndicats intercommunaux, qui ont pu lever de la dette grâce à la garantie des communes et à l'aide de l'Etat. Ce dernier intervient parfois par subvention, mais surtout consent des prêts bonifiés, dont le remboursement est assuré par les usagers.

.....

« C'est la constitution par force d'un patrimoine public aux mains des syndicats, parce que l'investissement privé n'ira pas plus loin. Et cela fonctionne : l'interconnexion permet de niveler les coûts, les nouveaux clients suivants et les garanties communales resteront virtuels. Dans sa globalité, le secteur public est gagnant : avec une contribution financière initiale modeste, il va fortement capitaliser. Les entreprises privées quant à elles restent omniprésentes et assurent l'exploitation des réseaux. Elles se livrent une concurrence acharnée pour se tailler de petits empires, et, au moment de leur électrification, les nouvelles communes ont souvent le choix entre plusieurs syndicats et plusieurs exploitants. »

Michel Matly, « L'électrification du monde commence à Labastide-Murat », *Revue de l'Energie*, n° 523 (2001).

.....



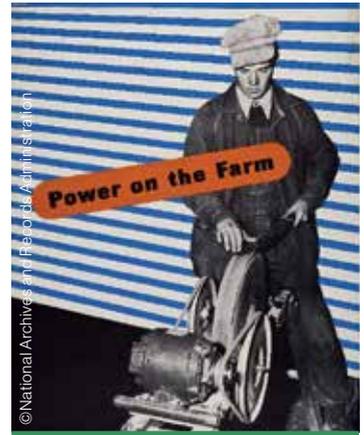
Électriciens de la Rural Electrification Administration battissant un réseau dans les années 1930.

Aux Etats-Unis, la création de coopératives rurales d'électricité a permis une électrification tardive mais rapide du territoire.

Au milieu des années 30, l'électrification rurale n'a pas encore véritablement commencé aux Etats-Unis. Seulement 13 % des familles rurales disposent de l'électricité fournie par le réseau, alors qu'elles sont déjà 90 % en France, en Allemagne et au Japon, 85 % au Danemark, 65 % en Suède et près de 100 % aux Pays-Bas. A cette époque, les sociétés privées du secteur électrique ne souhaitent pas investir dans l'électrification rurale au prétexte que les perspectives de profits y sont trop faibles. Plus de trente années d'efforts seront nécessaires pour que les fermes américaines rattrapent ce retard.

La Rural Electrification Administration (REA), créée en 1935 pour gérer un fonds d'électrification rurale, s'appuie sur le modèle coopératif.

Dans un premier temps, des fonds sont proposés aux sociétés privées, les seules à disposer du savoir-faire technologique et des techniciens qualifiés. Mais le partenariat envisagé avec ces



Ancienne publicité de la Rural Electrification Administration pour l'électrification de l'agriculture aux Etats-Unis

sociétés avorte : la REA juge les tarifs qu'elles définissent pour la vente de l'électricité incompatibles avec le pouvoir d'achat des fermiers.

La REA reprend alors le modèle des coopératives agricoles, autogérées par les fermiers et jouissant de la confiance des populations. En acceptant la responsabilité de la construction des réseaux électriques et de leur gestion, et en s'imposant de servir leurs membres à prix coûtant, ces nouvelles coopératives électriques deviennent les partenaires essentiels de l'électrification rurale aux Etats-Unis. Fin 1936, une centaine de coopératives ont déjà signé une convention de prêt avec la REA dans vingt-six Etats.

Invitées à produire, transporter et vendre l'électricité produite aux coopératives (qui en assurent la distribution aux usagers), les entreprises électriques privées font de la résistance. Le gouvernement fédéral crée alors progressivement cinq *power marketing administrations* qui vendent l'électricité produite par des grands barrages aux régies électriques nationales ou municipales et aux coopératives d'électrification rurale à des conditions préférentielles.

Dans le face-à-face qui les oppose au secteur privé, les coopératives rurales d'électricité unissent leurs forces.

Face à cette nouvelle concurrence, les entreprises électriques privées revoient finalement à la baisse leurs tarifs pour les coopératives, mais elles multiplient aussi les recours judiciaires à leur encontre et tentent d'empêcher la création de nouvelles coopératives.

Dans les années 40, les coopératives réagissent d'abord en se regroupant en « super-coopératives », capables de construire et d'exploiter leurs propres unités de production et leurs propres réseaux de transport. Puis, elles créent en 1942 la National Rural Electric Cooperative Association (NRECA), qui apporte à ses

membres un appui dans tous les domaines : service juridique, lobbying, assurance, formation, consultation technique, relations publiques et campagnes de promotion, programmes de recherches, etc. La NRECA est toujours en activité et dispose d'un service d'assistance aux programmes d'électrification rurale des pays en développement.

Les résultats sont éloquentes : en 1946, à peine dix ans après la création de la REA, 50 % des fermes américaines sont électrifiées (leur nombre a quadruplé) et les Etats-Unis ont presque rattrapé leur retard sur les pays européens. L'électrification des zones rurales sera achevée au début des années 70, comme cela a été le cas en France.

Aux Etats-Unis, la NRECA représente aujourd'hui environ 900 coopératives desservant 42 millions d'Américains



833 coopératives de distribution et 62 coopératives de production et de transport alimentent

**56 %
du territoire
américain.**

Source : NRECA, « America's Electric Cooperatives: 2017 Fact Sheet » (Arlington, 2017).

Aujourd'hui, on assiste au retour de la production au plus près de l'utilisateur, inspirée de ces initiatives originelles d'électrification.

Héritage de l'électrification décentralisée, on re-cense au début des années 2000 environ 1500 producteurs privés en France. Ce chiffre a été largement dépassé depuis, avec notamment la multiplication des installations photovoltaïques privées intégrées aux bâtiments injectant leur production sur le réseau. Les syndicats intercommunaux ont gardé la compétence d'autorité organisatrice de la distribution, et des entreprises locales de distribution desservent actuellement 5 % des points de livraison en France, soit environ 3 millions d'habitants dans 2500 communes.

En Europe, à de nouveaux choix de production (énergies renouvelables et surtout cogénération) correspond une nouvelle organisation du secteur. Ces évolutions tendent à battre en brèche des concepts jugés jusqu'ici incontournables (comme les monopoles naturels) et induisent une satellisation des acteurs du secteur électrique. Les évolutions numériques et le développement des compteurs intelligents changent la donne¹ ; ils incitent les collectivités, mais aussi les citoyens, à repenser leur vision de l'électricité, à reprendre progressivement en main leurs systèmes électriques et à tendre vers l'autonomie énergétique locale, en développant des moyens de production décentralisés sur leurs territoires.

Produire son énergie au plus près des besoins apparaît ainsi comme un point de repère constant, une logique qui, parce qu'elle répond sans doute à un besoin fondamental des groupes humains, transcende les années et les géographies. ○

1. Ils permettent de suivre en temps quasi réel la production et les consommations, et d'organiser des circuits courts de l'électricité. La loi autorise aujourd'hui les producteurs d'électricité et les consommateurs reliés à un même poste de transformation BT à créer une personne morale pour « commercialiser » entre eux l'électricité produite par les producteurs sur la base des données fournies par les compteurs intelligents.



© FondationÉnergies pour le Monde



© FondationÉnergies pour le Monde



© FondationÉnergies pour le Monde

Quelques exemples de projets pionnier de l'ERD : PPER au Maroc et au Pakistan

2.2.2.

L'électrification rurale décentralisée par énergie renouvelable bénéficie de plus de quarante ans d'expérimentations.

L'ERD par énergie renouvelable en Afrique subsaharienne n'est pas une invention du XXI^e siècle. Le principe en est testé avant les indépendances (notamment par hydroélectricité). Il se diffuse dans les années 1970, avant de connaître une phase d'extension dans le courant des années 1980 et 1990, puis, avec les ruptures technologiques et la formulation d'un objectif d'accès universel à l'énergie par la communauté internationale, une phase d'accélération et de diversification des projets.

Les premières expérimentations naissent au lendemain des indépendances avec l'aide de la coopération internationale.

Dans les pays en développement, les premières expérimentations faisant appel aux énergies solaire et éolienne datent des années 1970, dans la foulée du premier choc pétrolier de 1973. Forte de ses coopérations en Afrique et de l'expérience acquise dans les territoires d'outre-mer, riche d'acteurs industriels¹, la France a été l'un des premiers pays à installer des systèmes décentralisés renouvelables en Afrique subsaharienne.

Deux types d'usages sont couverts par ces premières initiatives : les ouvrages communautaires et les applications professionnelles :

- **l'électrification vise surtout des usages collectifs**, souvent inscrits dans des programmes de développement : exhaure de l'eau, électrification

1. Notamment Sofretes pour le solaire thermodynamique, Radio technique complec et Pompes Guinard pour le photovoltaïque, Aérowatt pour l'éolien.



Téléviseurs scolaires au Niger, 1968

Au Niger, dès 1968, la mise en place d'un programme national d'éducation en zone rurale a été l'occasion de concevoir des systèmes intégrés comprenant un téléviseur et son système d'énergie.

Du fait du nombre de sites à équiper et de leur dispersion sur l'ensemble du territoire, les enjeux d'investissement et de fiabilité ont conduit à concevoir des systèmes novateurs, basés sur l'optimisation de la demande énergétique :

- choix de téléviseurs à faible consommation électrique (de l'ordre de 20 W) ;
- alimentation solaire par générateur de 33 Wc, constitué de 3 modules de 11 Wc, une batterie de 80 Ah/12 V et un régulateur de charge ;
- conception modulaire pour un remplacement facile des pièces défectueuses,

En 1977, le prix du système solaire installé sur site avoisinait les 9 000 FF (soit 1 500 € environ). Ce montant, élevé pour un particulier, reste accessible pour un usage collectif, et cette solution a permis la diffusion massive de programmes d'éducation villageoise dans des zones hors réseau.

Source : Fondation Energies pour le Monde.

Electrification par système solaire de l'hôpital de San, au Mali, 1979

L'hôpital de San, dans la région de Ségou au Mali, a été, en 1979, l'un des premiers établissements hospitaliers électrifiés par un générateur solaire photovoltaïque, sous l'impulsion de l'association Mali aqua viva et du père Verspieren.

Au regard de sa consommation électrique d'environ 21 kWh par jour correspondant à celle de l'éclairage, de la ventilation et des appareils médicaux, un générateur de 8,5 kWc, constitué de modules biverre de 10 Wc chacun, associé à un banc de batteries de 500 Ah sous 120 volts et à un convertisseur DC/AC de 4 kVA, permettait d'alimenter l'hôpital en électricité. Une pompe solaire de 800 Wc assurait l'approvisionnement en eau de l'établissement hospitalier, soit 26 m³/jour pour une hauteur manométrique de 27 mètres. Si le coût du kWh était alors relativement élevé, cette installation pilote a permis d'appréhender l'usage de systèmes PV dédiés à l'électrification de petits centres de santé « hors réseau » localisés en zones tropicales.



Générateur solaire de l'hôpital de San (Mali) - 10 kWc.

Aujourd'hui, les systèmes solaires PV alimentent de nombreux dispensaires et petits hôpitaux dans des centres secondaires, pour des coûts d'exploitation limités et une fiabilité de fonctionnement inégalée. Les questions de financement de l'équipement et de prise en charge de sa maintenance restent cependant des points sensibles de l'électrification décentralisée dans le secteur de la santé.

Source : Fondation Energies pour le Monde.

de centres de santé ou écoles, irrigation de périmètres maraîchers, abreuvement de troupeaux... Financées grâce à l'aide au développement, ces petites infrastructures électriques innovantes ont également bénéficié de l'appui des réseaux d'assistants techniques pour leur exploitation et leur maintenance ;

- **concomitamment, des industriels se lancent dans des applications professionnelles :** alimentations solaires pour répéteurs de télécommunications développées par Sahel (filiale de Thomson), réseaux de télédiffusion mis en

place par le Bureau Yves Houssin et la Société nationale de télécommunication et télédiffusion (SNTT) au Niger, navigation aérienne (balises) ; autre exemple, l'éolien se développe dans le balisage maritime.

Ces premiers tests ont validé la pertinence de la technologie photovoltaïque (plus adaptée que le solaire thermodynamique), malgré les questions posées par la pérennité des équipements (cf. chapitre 2.4.3.). Les projets de petit éolien mettent quant à eux en exergue la problématique de l'usure

des pièces en mouvement (roulements à billes, paliers), de leur graissage régulier et de leur corrosion. A la charnière des années 1970 et 1980, plusieurs acteurs industriels français se lancent alors dans l'aventure du photovoltaïque "grand public"¹.

Dans les années 1980, les projets changent d'échelle.

A cette époque, confiants dans la technologie, les fabricants de matériels et leurs installateurs sur place, plusieurs bailleurs de fonds permettent un



Créée en 1982, l'Agence française pour la maîtrise de l'énergie (AFME) est un établissement public ayant pour mission de susciter, d'animer, de coordonner, de faciliter ou de réaliser des opérations visant la maîtrise de l'énergie. Elle résulte de la fusion de l'Agence pour les économies d'énergie (AEE), le Commissariat à l'énergie solaire (COMES), le Comité géothermie, la Mission nationale pour la valorisation de la chaleur et le service économie de matières premières du ministère de l'Industrie.

L'AFME a fusionné en 1990 avec l'Agence nationale pour la récupération et l'élimination des déchets (ANRED) et l'Agence pour la qualité de l'air (AQA) pour former l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME).

premier changement d'échelle ; certains projets impliquent fortement le secteur privé et préfigurent les ruptures qui traversent actuellement le domaine de l'ERD.

Certaines initiatives, emblématiques, jettent les bases de l'organisation des programmes actuels d'accès à l'électricité.

En France, l'Agence française de la maîtrise de l'énergie (AFME ; cf. encadré) élabore les premiers concepts d'une électrification décentralisée par des programmes de préélectrification par lampes portables et petits systèmes solaires autonomes.

Elle soutient notamment le Programme pilote d'électrification rurale marocain (cf. encadré), qui vise l'accès à l'électricité de douars isolés par des systèmes solaires individuels et des microcentrales hydrauliques, avec une forte implication des collectivités locales.

La Commission européenne, elle, lance deux programmes importants de développement incluant des équipements solaires (à une époque où l'accès à l'électricité ne figure pas en tant que tel parmi les thématiques de l'aide publique au développement). Le premier, en 1983, vise l'électrification de 850 centres de santé au Zaïre ; le second, déployé entre 1991 et 1997, procède à l'installation de près de 1000 pompes solaires dans les neuf pays du Sahel.

Ces initiatives proposent de nouvelles approches en matière de validation des équipements (tests de performances et de robustesse en laboratoires européens agréés) et d'implication d'acteurs

1. Notamment Photowatt et Leroy-Somer, (par ses filiales France Photon dans la fabrication de cellules et modules, et Solarforce dans celle de systèmes photovoltaïques) ELF, Total Energie et Solelec/Apex comme ensemble de systèmes.



Programme pilote d'électrification rurale au Maroc

Fin 1987, la France et le Maroc conviennent du montage du PPER pour contribuer à répondre à la demande en électricité des zones rurales du Royaume chérifien. Forts des projets déjà menés au Maroc et au delà des frontières, le programme est construit sur 3 piliers :

- Une prise en compte de la demande des futurs usagers et des contraintes budgétaires ;
- Des réponses technologiques adaptées et libres de tout choix technologique préalable ;
- Une préoccupation quant aux volets institutionnels et organisationnels conduisant à l'implication de 4 principales parties : la direction générale des collectivités locales, le ministère de l'énergie marocain, le ministère français des Affaires étrangères assisté de l'Agence Française de Développement et l'Agence française de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

La première réalisation (couvrant la période 1993 - 1994 et 30 villages) a été un véritable laboratoire et ses enseignements dans les champs économiques, sociologiques, organisationnels et techniques.

Au niveau technique : La flexibilité des systèmes d'énergie a permis de les adapter à l'évolution de la demande en énergie, à la satisfaction des abonnés. Si les systèmes de régulation des systèmes solaires ont bien fonctionné, la durée de vie limitée des batteries, inférieure à 4 ans, a requis des remplacements complexes à mettre en œuvre compte tenu de l'éloignement des usagers.

Au niveau économique : Au sein des foyers, l'utilisation de systèmes électriques a réduit le budget Energie de l'ordre de 10 à 30 % selon les usages et les systèmes, pour une qualité de service bien supérieure.

Au niveau organisationnel : Les associations d'usagers ont joué un rôle majeur dans l'exécution du programme, permettant de disposer d'un interlocuteur unique dans chaque village et de faciliter les opérations de remplacement de composants. Elles ont aussi été des vecteurs de développement local. En revanche, principal handicap du programme, aucun exploitant n'a été contracté dans la durée, assurant le lien entre les fournisseurs et les usagers, et assurant le recouvrement de manière pérenne. Seulement 8 des 18 associations d'usagers ont pu finalement atteindre une autonomie financière, 5 ans après leur création.

Au niveau sociologique : Alors que le programme visait une dynamique collective, avec des centrales de recharge de batteries auprès desquelles les usagers venaient déposer leur batterie, les contraintes liées à leur transport les en ont rapidement dissuadés. Les centrales de recharge ont été démontées pour créer autant de kits solaires que de modules.

Ainsi, le PPER a contribué à élaborer les contours du Programme d'Electrification globale (PERG) du pays qui a permis, par extension de réseau complétée par une électrification décentralisée photovoltaïque, d'électrifier 35 000 villages soit environ 1,9 million de foyers.

Source : Fondation Energies pour le Monde



Programme régional solaire au Sahel

Contexte : mieux répondre à la demande en eau

En 1988, les chefs d'Etat des pays membres du Comité inter-Etats contre la sécheresse au Sahel (CILSS) lancent, avec l'appui de l'Union européenne, le Programme régional solaire (PRS) après que leurs Etats aient subi la sécheresse de la décennie 70 et des débuts des années 80. Parallèlement, les localités grandissent sous l'effet de la croissance démographique et les pompes à main se révèlent insuffisantes pour répondre à la demande en eau.

Objectif : lutter contre la désertification grâce au pompage de l'eau par :

- l'amélioration de l'accessibilité de l'eau en quantité et en qualité ;
- l'amélioration des conditions économiques des villageois par le développement du maraîchage, créant des ressources complémentaires ;
- la réduction du temps passé par les femmes et les enfants dans l'approvisionnement en eau.

Réalisations : de 1995 à 2000, 626 systèmes de pompage solaire ont été installés dans les neuf pays de la bande sahélienne, pour une puissance installée de 1300 kWc ; de plus, 644 générateurs solaires ont équipé des bâtiments communautaires (avec des postes de recharge de batteries, des réfrigérateurs et des éclairages collectifs).

Plusieurs enseignements ont été tirés de cet ambitieux programme :

- le photovoltaïque est une technologie appropriée pour une large diffusion au Sahel ;
- il se révèle être une solution pertinente pour l'approvisionnement en eau potable dès que l'adéquation entre taille du village et dimensionnement de la pompe solaire est optimisée ;
- l'usage des pompes solaires pour du maraîchage requiert une modalité d'intervention adaptée aux acteurs du maraîchage, exploitants individuels ou groupements de producteurs privés ;
- l'utilisation du photovoltaïque pour des usages communautaires est pertinente si toutefois des mécanismes pérennes de paiement du service sont mis en place, ce qui s'avère difficile ;
- le parti pris de la qualité des composants techniques et du service est payant – les taux de pannes sont faibles et le service est de qualité ;
- l'implication des communautés rurales dans le choix des configurations de pompes s'avère capitale pour l'appropriation des systèmes et le paiement de l'eau.

Le PRS a été le programme d'envergure régionale qui a véritablement lancé le solaire photovoltaïque en Afrique sahélienne. Aujourd'hui, des milliers de pompes solaires y sont installées pour l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation de cultures ou l'abreuvement de bétails.

Source : Fondation Energies pour le Monde.

locaux (pour la fabrication de réfrigérateurs à très basse consommation par exemple, le paiement du service et un SAV garanti sur une durée de cinq ans). Ces procédures et ces mécanismes participent à la maturation du secteur.

Des projets d'expérimentation en éolien et micro-hydraulique sont également menés au Sénégal et au Maroc, de plus petite envergure, et sans mise en place de mécanismes de maintenance.

Parallèlement, principalement en Asie, les premiers miniréseaux alimentés par générateurs solaires voient le jour, grâce à des financements français, européens ou des Nations unies (UNDP), dans le cadre de partenariats avec les directions générales de l'énergie ou les sociétés nationales d'électricité. Parfois en concurrence avec l'extension de réseau, et affichant un coût prohibitif (30 €/Wc installés), ce type de centrales solaires n'a pas été répliqué à grande échelle.

D'autres initiatives, impliquant de manière plus forte le secteur privé, voient le jour au cours des années 2000.

Ces projets préfigurent les deux grands modes organisationnels de l'accès à l'électricité par énergie renouvelable, principalement solaire, que nous

connaissons aujourd'hui : la vente directe de kits solaires et la mise en concession de territoires.

Ainsi, au Kenya, avec le soutien de la Banque mondiale et à la faveur de la mise sur le marché de modules en silicium amorphe (de rendement et de coût plus bas que le silicium cristallin), de petits systèmes solaires familiaux très bon marché sont commercialisés par des revendeurs locaux pour accompagner la mise en place d'un programme national de télédiffusion desservant les milieux ruraux.

Au Mali et en Afrique du Sud, EDF et Nuon (société d'électricité hollandaise aujourd'hui fusionnée avec Vattenfall) se lancent dans de vastes programmes d'électrification régionale dans le cadre de concessions négociées avec les Etats. En échange du paiement d'une redevance collectée auprès des clients, elles installent puis exploitent plusieurs dizaines de milliers de systèmes solaires individuels. Ces programmes font suite à la mise en place des agences d'électrification rurale, qui apparaissent à la fin des années 1990.

Au bilan, ces projets permettent de pointer les atouts mais aussi les limites de l'électrification par systèmes autonomes alimentés par énergie solaire.

Les problématiques identifiées à l'issue de ces programmes d'envergure et d'applications diverses sont bien connues et, pour la plupart, toujours d'actualité.

Au niveau des équipements :

- **les modules ont fait preuve, dès les premières fabrications, d'une excellente fiabilité¹.** La plupart sont toujours fonctionnels aujourd'hui ;
- **les équipements électroniques de la chaîne technique accusent une certaine faiblesse**



Centrale solaire de Kankoy (Pakistan) - 70 kWc.

1. Comme le montrent les exemples de BPX 47, de France Photon, ou de Sahel, filiale de Thomson.



Les quatre étapes-clés de l'histoire de l'ERD

Avant 1985

- Premières expérimentations d'électrification collective financées par la coopération internationale
- Applications professionnelles développées par les industriels.

1985-2001

- Développement des solutions photovoltaïques autonomes et des premiers miniréseaux par générateurs solaires
- Changement d'échelle avec le lancement de programmes d'électrification rurale nationaux
- Création des premières agences d'électrification rurale

2001-2010

Implication plus forte du secteur privé en tant qu'opérateur

Depuis 2010 > Cf. chapitre 2.3.1.

- Révolution des « 3D » : Digitalisation, Décarbonation*, Décentralisation
- Diffusion massive des systèmes photovoltaïques individuels
- Développement rapide des solutions Pay as you go

Source : Fondation Energies pour le Monde.

(régulateurs, onduleurs, récepteurs) compte tenu d'une fabrication en faible quantité, d'une inadap- tation aux conditions d'usage sur le terrain (con- traintes environnementales fortes, usagers inex- périmentés), d'un service après-vente déficient ;

- **les batteries sont le talon d'Achille des sys- tèmes** : de durée de vie limitée (deux à dix ans), elles requièrent une attention particulière et le strict respect des conditions d'utilisation. Tout usage excessif leur est fatal.

Au niveau organisationnel :

- **les projets de petite taille souffrent d'un manque de viabilité** : le coût de mise en place des mécanismes nécessaires à la pérennité du ser- vice requiert une dimension minimale de projet ;
- **l'appropriation des dispositifs et de leur utili- sation par les usagers est primordiale pour la pérennité du service** : la compréhension de l'énergie disponible, en quantité finie, requiert une sensibilisation, voire une formation idoine ;
- **le rôle de la maîtrise d'ouvrage est capital** : en dépendent l'acceptation du caractère inno- vant du dispositif par les parties prenantes lo- cales, la bonne estimation des consommations électriques et in fine le paiement du service de l'électricité. En pratique, c'est la qualité du mon- teur de projet (qu'il agisse dans le cadre d'une maîtrise d'ouvrage déléguée ou d'une maîtrise d'œuvre) qui fait le succès d'un projet ;
- **il est indispensable de mettre en place un ser- vice de maintenance, doublé d'une chaîne d'approvisionnement**, dont le coût récurrent doit être couvert par la vente de l'électricité, mal- gré la difficulté que cela peut représenter ;
- **il est nécessaire d'élaborer, de faire accepter et de mettre en place un mécanisme de paie- ment du service de l'électricité**, même si la gra- tuité de l'utilisation des gisements a été mise en valeur ; « *le soleil n'envoie pas de facture* » est une antienne trop souvent entendue.

Ce bilan a conduit à améliorer la fiabilité et la maintenance des équipements.

Certains maîtres d'ouvrage ont tenté de mettre en place des structures institutionnelles spécialisées dans la maintenance des équipements, comme la cellule technique de la Direction nationale de l'hydraulique et de l'énergie du Mali, pour l'entretien du parc de pompes solaires.

Les constructeurs ont amélioré la fiabilité des équipements. C'est notamment le cas des pompes, qui ont bénéficié des progrès de l'électronique, permettant l'utilisation de moteurs immergés¹. En ce qui concerne les équipements de régulation et de conversion d'énergie, l'utilisation des semi-conducteurs ou de microprocesseurs a permis d'améliorer la fiabilité des systèmes.

Cependant, la rencontre entre des équipements sophistiqués et des utilisateurs sans connaissances particulières sur le sujet, souvent illettrés, a été la source de beaucoup de déficiences techniques, la notion d'énergie disponible quotidienne étant difficile à appréhender.

La capitalisation sur ces expériences a aussi contribué à faire de l'accès à l'électricité une priorité de l'aide au développement.

Suite à ces retours d'expérience et grâce à la prise de conscience qu'ils suscitent, sont lancées les premières initiatives politiques en faveur de l'électrification des pays du Sud, et en particulier celle organisée par le G8 à Gênes en juillet 2001, puis le Sommet pour un développement durable à Johannesburg, où l'accès à l'énergie est enfin considéré comme composante indispensable à l'atteinte des objectifs du millénaire pour le développement, puis identifiée comme priorité des grands bailleurs de fonds internationaux (cf. chapitre 1.1.1.). ●

1. Solutions développées par le danois Grundfos puis par Total Energie.

2.3.

L'électrification rurale, en pleine mutation, manque toujours de financements adaptés aux enjeux.

L'ERD vit actuellement une mutation à la fois prometteuse et risquée. De nouvelles solutions techniques, rendues possibles par une conjonction d'innovations ou d'avancées techniques favorables, permettent d'imaginer un changement d'échelle, tout en donnant naissance à de nouvelles visions de l'accès à l'électricité hors réseau, plutôt marchandes, souvent à rebours de celles de ses pionniers (2.3.1.).

Quant aux moyens financiers disponibles, certes, la prise de conscience d'une urgence climatique s'accompagne d'une mobilisation plus large des acteurs et des financements. Force est néanmoins de constater que ces derniers ne couvrent pas encore l'ensemble des besoins, dans une situation où les capitaux extérieurs restent nécessaires pour pallier l'incapacité des Etats à financer les services de base par les recettes fiscales (2.3.2.).



Le monde de l'énergie est entré dans une ère de profonde mutation marquée par la révolution des «3D» : décarbonation, décentralisation et digitalisation.

Certains parlent de la révolution « des 3 D » : la décarbonation amorcée à la suite du protocole de Kyoto et amplifiée avec l'Accord de Paris ; la décentralisation entraînée par la baisse des prix des énergies renouvelables et la digitalisation, qui se développe avec la diffusion de compteurs « intelligents » ; et l'avènement de consommateurs/producteurs. Ce mouvement, déjà largement en marche dans les pays de l'OCDE, touche maintenant les pays du Sud, en particulier africains.

Source : Christian de Gromard et Stéphane His. « Évolutions, révolutions et inerties dans l'énergie », *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017).

2.3.1.

Depuis dix ans, de multiples évolutions viennent élargir le champ des possibles pour l'électrification rurale décentralisée.

Dans les pays du Sud, l'ERD a longtemps été l'apanage d'industriels pionniers et de quelques ONG, dans le cadre d'initiatives soutenues financièrement par la communauté internationale (cf. chapitre 2.2.2.).

Mais dans la dernière décennie, une conjonction de phénomènes a contribué à un intérêt renouvelé des acteurs du secteur électrique en Afrique, y compris celui des grands bailleurs de fonds internationaux, déçus par les résultats des aides apportées aux sociétés nationales pour développer l'accès à l'électricité par extension de réseau. Trois sources de rupture, convergentes, interdépendantes et simultanées, ont impulsé une dynamique nouvelle pour l'électrification rurale dans les pays du Sud, ouvrant une voie prometteuse pour changer d'échelle :

- **la prise de conscience globale de l'urgence de la lutte contre le changement climatique**, qui favorise les énergies renouvelables et les politiques de maîtrise des consommations ;
- **le changement de paradigme technologique reposant sur quatre piliers :**
 - la révolution numérique,
 - la baisse du coût des équipements PV,
 - la diffusion des récepteurs basse consommation,
 - les progrès faits en matière de stockage.

Ces deux phénomènes, en créant de nouvelles opportunités d'affaires, donnent naissance à un troisième :

- **la révolution de la distribution**, qui se traduit par l'arrivée de multiples acteurs privés

proposant des offres de services énergétiques suivant des schémas commerciaux originaux, sur un marché qui leur est d'autant plus favorable qu'il est peu régulé.

C'est ainsi toute la chaîne de valeur de l'accès à l'électricité qui se trouve modifiée : production et stockage, distribution et pilotage, usage... Les développements qui suivent présentent de manière synthétique les différentes dimensions de cette mutation profonde que traverse le domaine, et qui se poursuit, sans qu'il soit possible d'en restituer pleinement les effets à l'heure où cet ouvrage est écrit.

L'urgence de la lutte contre le changement climatique accélère la mise en œuvre des politiques de décarbonation.

L'alerte environnementale lancée dans les années 1960 et 1970 avait été entendue des pionniers de l'accès à l'électricité, qui ont développé des solutions décentralisées s'appuyant sur les énergies renouvelables. Aujourd'hui, leur cercle s'est élargi. Bien que les rapports successifs du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) démontrent globalement une incapacité des acteurs économiques et des pouvoirs publics à prendre des mesures à la hauteur des enjeux, il est indéniable que la révolution énergétique est en marche, grâce à une menace qui se matérialise (cf. graphe).



Des innovations « made in Africa » pour développer l'accès à l'électricité pour tous

Pour développer l'accès à l'électricité pour tous sur le continent, de nombreuses initiatives africaines voient le jour et tentent de relever le défi.

Black Star Energy, société ghanéenne de solutions de production électrique hors réseau, exploite déjà une quinzaine de miniréseaux. Elle a d'ailleurs été récompensée par le prix EDF Pulse Africa 2018. La start-up Jacigreen, fondée par la Nigérienne Mariama Mamane, a développé une solution à double bénéfice, qui dépollue le fleuve Niger, tout en produisant engrais et électricité. Les jacinthes d'eau, nuisibles pour la biodiversité, sont utilisées pour produire du biogaz, pouvant être transformé ensuite en énergie électrique.

Par ailleurs, afin de stimuler cette dynamique, des centres d'accompagnement à l'entrepreneuriat et à l'innovation dans le domaine de l'énergie fleurissent également sur le continent.

L'association Energy Generation, créée par la Franco-Congolaise Astria Fataki et basée à Lomé, accompagne depuis 2016 des porteurs de projets afin de les soutenir dans le développement de solutions énergétiques innovantes, abordables et diffusables à grande échelle. Des « promotions » d'étudiants entrepreneurs, venus du Cameroun, de Madagascar, d'Éthiopie et d'autres pays du continent, ont émergé des solutions telles que HydroPower, un groupe électrogène fonctionnant à l'hydrogène, ou Hand Crank Power, un générateur à manivelle rechargeable sans électricité.

Sources :

Rémy Nsabimana, « Jacigreen : la dépollueuse du fleuve Niger », *BBC News Afrique* (en ligne), 2017.

« 4 projets innovants récompensés par le Prix EDF Pulse Africa 2018 », *Le Monde de l'Énergie*, 2018, <https://www.lemondedelenergie.com/innovations-prix-edf-pulse-africa-2018/2018/12/27/>.

« Energy Generation », <https://www.energy-generation.org/>.



Dix-sept des dix-huit années les plus chaudes jamais enregistrées appartiennent au XXI^e siècle

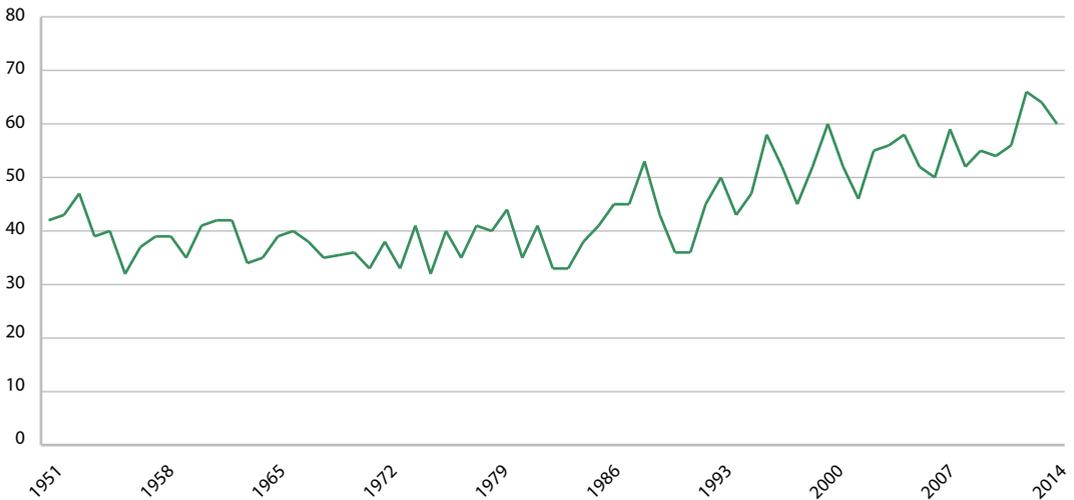
2016 est l'année la plus chaude jamais observée depuis les premiers relevés établis en 1880. La température à la surface des terres a été de 1,43 °C supérieure à la moyenne du xx^e siècle, tandis que la température à la surface des océans a été de 0,75 °C supérieure.

Suivent, ex æquo, les années 2015 et 2017 (14,8 °C en moyenne). L'année 2018 a été la quatrième année la plus chaude, avec une température moyenne du globe de 14,7 °C.

Source : NOAA, « Annual checkup for the planet » (Washington, D.C, 2017).

Nombre de jours de chaleur extrême au niveau mondial

jours au-dessus
du 90^e percentile



Source : NOAA, « State of the Climate Report » (Washington, D.C, 2018).

Electrification rurale décentralisée et efficacité énergétique sont liées.

Née du premier choc pétrolier, longtemps considérée comme incompatible avec la croissance,

l'efficacité énergétique est entrée dans les mœurs dans les pays industrialisés. Elle est stricto sensu le rapport entre la quantité d'énergie récupérée et l'énergie consommée (valeur comprise entre 0 et



Efficacité énergétique

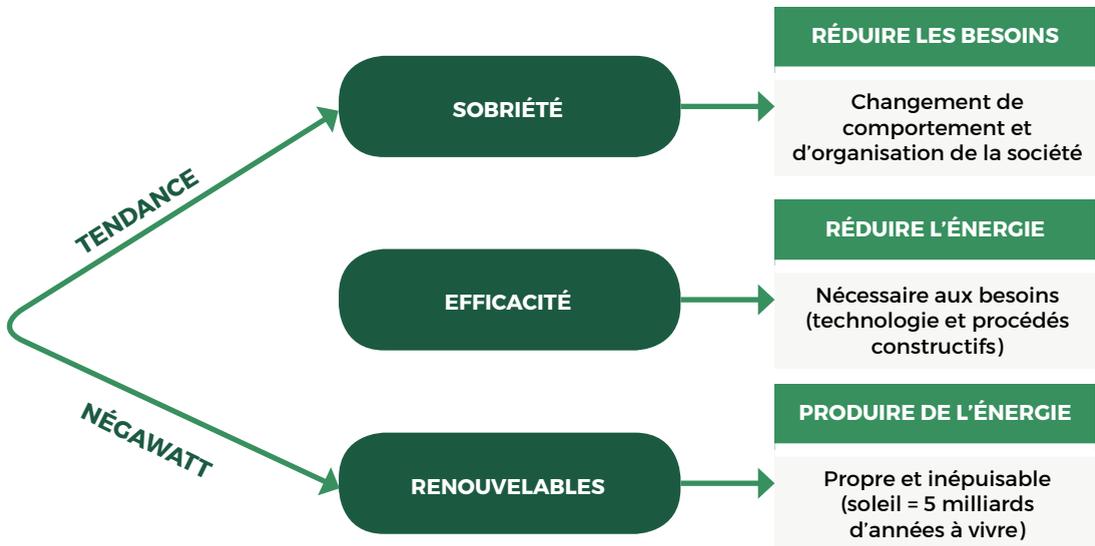
L'efficacité énergétique résulte de l'application combinée de plusieurs principes :

- optimisation des consommations (recherche de la moindre intensité énergétique à service égal) ;
- usage rationnel de l'énergie (grâce à des processus et outils plus efficaces) ;
- recherche d'économies d'énergie (réduction des gaspillages et des consommations inutiles).

Les bénéfices attendus sont multiples :

- réduire l'empreinte écologique (en diminuant l'empreinte énergétique et parfois l'empreinte carbone) ;
- augmenter la sécurité énergétique, en favorisant l'adaptation au changement climatique et la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre.

Maîtrise de la demande énergétique



Source : « Association négaWatt. La démarche négaWatt ». <https://negawatt.org/La-demarche-negaWatt>

100 %). Mais le champ de signification de cette expression s'est élargi pour devenir un principe fondamental de la transition énergétique : l'efficacité énergétique vise à réduire les coûts (directs et indirects) écologiques, économiques et sociaux induits par la production, le transport et la consommation d'énergie (cf. encadré).

L'accélération de la mise en œuvre de politiques de décarbonation est favorable au développement de l'ERD, qui ne peut s'affranchir de mesures d'efficacité énergétique, décisives pour la performance environnementale, ni de la qualité de service du système installé. L'usage rationnel de l'électricité est une thématique essentielle des campagnes de sensibilisation qui accompagnent le déploiement d'un projet d'ERD (cf. chapitre 2.4.2.).

Par ailleurs, énergies renouvelables et efficacité énergétique sont « économiquement » liées : bien que les prix du PV aient drastiquement baissé, le Wh produit par les petites centrales PV coûte cher et la production journalière est limitée ; moins les récepteurs consomment d'énergie, plus les abonnés peuvent être nombreux. Pour ces raisons, le développement du PV a toujours été accompagné de la recherche de solutions « basse consommation » pour les usages de l'électricité (d'abord tubes fluorescents puis ampoules LED et appareils à courant continu).

A noter que certains analystes, comme Jeremy Rifkin, vont encore plus loin, faisant de la généralisation des solutions décentralisées l'unique chance de réussir la transition écologique nécessaire¹.

Cela induit-il pour autant plus de financement disponible pour les projets d'accès à l'électricité ?

Les ambitions de lutte contre le changement climatique ont été concrétisées par l'accord de Paris adopté par les 195 délégations en décembre 2015. Jointes aux injonctions en faveur du

désenclavement de l'Afrique et de son développement agricole, elles renouvellent l'intérêt porté par les bailleurs de fonds internationaux à la question de l'électrification rurale de l'Afrique subsaharienne et à la généralisation de l'utilisation des énergies renouvelables.

Jusqu'en 2015, la très grande majorité des financements de l'accès à l'électricité étaient orientés vers l'extension des réseaux de distribution électrique. Désormais, la part des projets d'ERD par énergie renouvelable (en cours ou en montage) augmente dans les financements (cf. chapitre 2.3.2.), malgré les contraintes opérationnelles qui restent en partie inchangées (cf. chapitre 2.4.).

Les stratégies des bailleurs de fonds sont multiples, allant de la subvention au prêt concessionnel ou privé, jusqu'à la couverture de risques (cf. chapitre 2.3.2.).

Le changement de paradigme technologique rend possible une accélération de l'électrification rurale par énergie solaire.

Plusieurs avancées technologiques, déjà généralisées ou encore en cours d'expérimentation, concourent à révolutionner la conception des solutions d'électrification décentralisées par énergies renouvelables :

- la révolution numérique ;
- la baisse du coût des équipements photovoltaïques ;

1. Jeremy Rifkin appelle de ses vœux une troisième révolution industrielle notamment fondée sur une production d'électricité décentralisée et une énergie circulant dans un réseau dit « intelligent », à l'instar de l'information sur Internet. Le second pilier de cette troisième révolution industrielle consiste à transformer chaque bâtiment en minicentrale intelligente capable d'injecter dans le réseau son excédent de production et de prélever de l'énergie additionnelle dans le réseau quand son système autonome n'en produit pas suffisamment.

Pour aller plus loin : Jeremy Rifkin, *La troisième révolution industrielle. Comment le pouvoir latéral va transformer* (Paris: Les Liens qui Libèrent, 2012).



Les limites de l'automatisation en ERD

En Guyane, un programme d'électrification rurale décentralisée a été lancé il y a plus de dix ans pour l'alimentation en électricité de quatre villages sur le Haut-Maroni, dont le célèbre village d'Antécum-Pata. La maîtrise d'ouvrage est assurée par la Communauté de communes de l'Ouest guyanais, les centrales devant être prises en exploitation par EDF SEI.

Il s'agit de construire des centrales hybrides (PV et diesel) et des miniréseaux électriques pour alimenter de manière autonome des villages en électricité sans contrainte financière. Le pilotage est assuré par EDF SEI depuis le centre de contrôle de Cayenne, grâce à un *monitoring* développé spécialement pour transférer l'ensemble des données mesurées sur site ainsi que les états de fonctionnement de l'ensemble des composants de la centrale (champ PV, batteries, contrôleurs de charge, onduleurs, groupe électrogène, réserve de fioul, circuit fioul enterré...) via une liaison satellite mise en place sur chaque site totalement isolé.

La complexité de ce pilotage dans un milieu très hostile pour le matériel, isolé de tout, en forêt équatoriale (forte humidité, animaux nuisibles...), a entraîné fin 2018 un retard considérable, de plus de trois ans, pour ce programme d'électrification très attendu par les populations et ses organisations représentatives, les communes et les ONG impliquées dans ce projet. Le caractère isolé de tous ces sites – sans route d'accès, une heure de vol pour rejoindre Maripasoula puis trois à cinq heures de pirogue pour rejoindre ces villages –, le stress climatique imposé à l'ensemble du matériel, la volonté de piloter à distance sans relai humain sur place ont considérablement freiné la mise en service de ces centrales puis rendu très complexe leur exploitation.

Sur le principe, ces centrales hybrides correspondent à un savoir-faire acquis de longue date. C'est la complexité du système de pilotage à distance et de l'automatisme entre le circuit fioul, le groupe électrogène et la centrale PV qui fragilise la gestion de ces centrales, faite « à l'aveugle », au détriment donc du service rendu aux populations.

Or sur de tels territoires, et comme cela a été largement développé en Afrique depuis des dizaines d'années, **il est indispensable de travailler avec des systèmes simples (et donc robustes) qui délivrent le service attendu et, surtout, de s'appuyer sur les populations locales afin de disposer de ressources et de compétences bien plus efficaces pour le pilotage des centrales au quotidien.** Il ne s'agit pas de se substituer à l'exploitant mais de l'accompagner, l'assister par une présence relai sur site pour des systèmes plus fiables et un fonctionnement en bonne intelligence avec les habitants consommateurs.

- les progrès faits en matière de stockage ;
- la diffusion des récepteurs basse consommation.

Cette conjonction place l'utilisation de l'énergie solaire au cœur du développement de l'ERD, dont elle vient également renforcer la viabilité économique. Dans la très grande majorité des sites, le photovoltaïque devient la solution d'accès à l'électricité la moins chère si l'on considère le coût global actualisé sur vingt ans ; certains experts prédisent sa très large généralisation dans les prochaines décennies. Selon l'AIE, la puissance totale solaire installée représentera 16 % en 2030, contre 2 % en 2016¹ (tous types de solutions confondus, centralisées ou décentralisées).

La révolution numérique simplifie le suivi des consommations et le paiement de l'électricité.

L'équipement rapide des zones rurales en téléphonie mobile (cf. chapitre 1.3.2.), associé aux applicatifs de transaction (*mobile money*), permet de généraliser des modalités de paiement de l'électricité plus conviviales et mieux adaptées au contexte africain, quel que soit le schéma de production. Inspiré par le système de carte prépayée, massivement utilisé pour l'achat de crédits téléphoniques sur le continent, le prépaiement ou *pay-as-you-go* (PAYG) de l'électricité devient possible, même pour de faibles sommes.

En milieu rural, le rythme de l'économie est journalier, ou saisonnier pour les agriculteurs aptes à vendre leur production dès la fin des récoltes. Hormis pour les fonctionnaires percevant un traitement fixe en fin de mois, les revenus futurs peuvent difficilement être anticipés ; seul le disponible est certain.

Aussi, le mécanisme de facturation mensuelle basée sur la consommation réelle est-il peu adapté. L'utilisateur qui ne dispose pas de la trésorerie suffisante risque la coupure du service en cas d'impayé. Du côté de l'opérateur, la

collecte des paiements est coûteuse, notamment si elle comporte de nombreuses opérations de recouvrement.

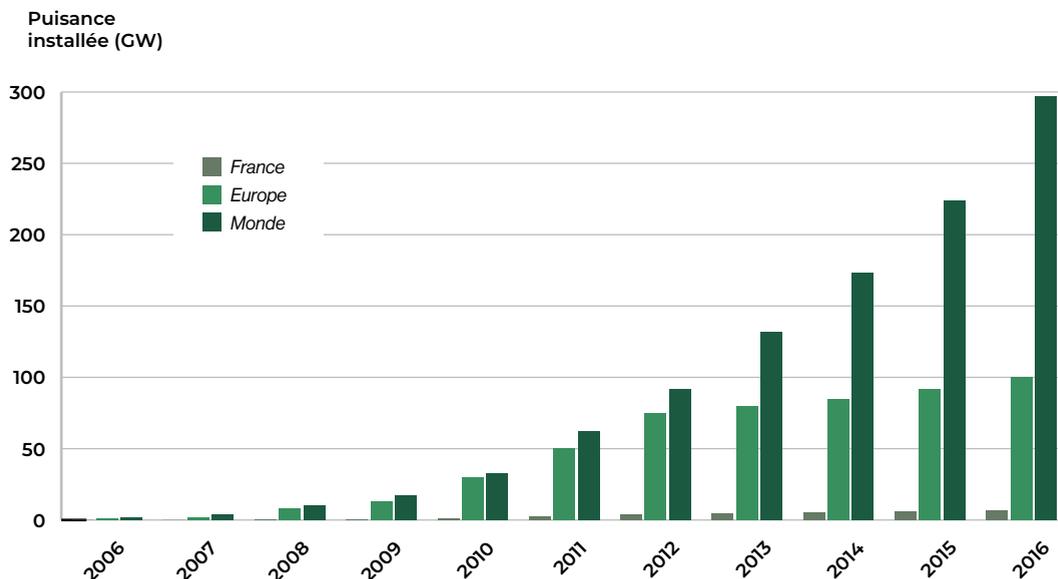
Avec le prépaiement, c'est-à-dire l'achat d'un crédit d'électricité (un volume de kWh, une durée d'utilisation), chaque client paye sa consommation d'électricité à venir à la mesure de sa capacité financière. Ce système assure à l'exploitant un paiement de l'électricité consommée et limite les frais de recouvrement (en revanche, le volume d'énergie consommée dépend des revenus des usagers).

Cette innovation applicable aux systèmes solaires individuels (cf. chapitre 3.2.2. sur le PAYG), mais aussi aux services délivrés par les kiosques énergie (cf. chapitre 3.4.1.) ou par les miniréseaux locaux (cf. chapitre 3.5.), permet de dématérialiser une grande partie du processus de vente et de gestion : les codes de recharge peuvent être envoyés par SMS aux usagers et l'utilisation peut être contrôlée à distance (dépassement des seuils de puissance ou d'énergie, branchement d'appareils non autorisés).

Le pilotage à distance réduit les besoins en ressources humaines et allège d'autant les coûts d'investissement. Néanmoins, ces solutions induisent des dépenses additionnelles pour l'opérateur, qui ne doivent pas être sous-estimées au moment de l'élaboration d'un *business plan** : par exemple, les coûts d'exploitation spécifiques (abonnement, achats de codes) ou les dépenses liées à la fragilité technologique des compteurs intelligents et à la gestion informatique (complexe en milieu rural enclavé).

1. Agence Internationale de l'Énergie, « Energy Access Outlook 2017, From Poverty to Prosperity » (Paris, 2017).

Evolution de la puissance photovoltaïque installée



Source : RTE.

La baisse du coût des composants photovoltaïques autorise une large démocratisation des solutions solaires décentralisées.

Porté par la lutte contre le changement climatique, le développement des énergies renouvelables s'est accéléré à partir de 2002 grâce à la mise en place en Europe, aux Etats-Unis et au Japon de politiques incitatives visant à permettre à chacun de devenir producteur, autoconsommateur et vendeur d'électricité.

Ce développement s'est accompagné de deux conséquences techniques dont la conjonction fait baisser le coût d'une infrastructure solaire et rend l'ERD par énergie solaire très compétitive :

- la baisse continue du coût unitaire des modules ;
- l'augmentation progressive de leur rendement.

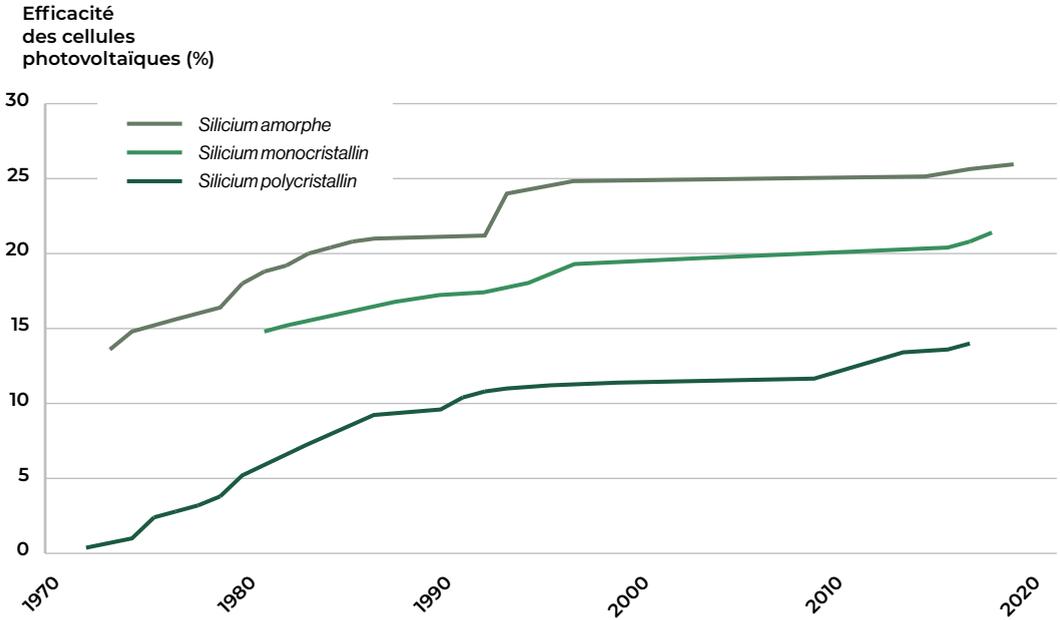
Le transfert des fabrications vers l'Asie (principalement la Chine) et l'augmentation de la demande ont favorisé une baisse très significative du prix des modules, véritables cœurs des systèmes photovoltaïques (cf. chapitre 3.1.2.). Selon l'IRENA, depuis 2009, le prix des modules PV a baissé de 80 %, tandis que le coût de l'énergie solaire PV a baissé de 73 % entre 2010 et 2017¹.

Le prix « sortie d'usine » d'un module photovoltaïque* était de 20 €/watt-crête en 1993, il est de 0,30 €/Wc en 2018, soit une baisse de près de 100 % en euros constants, et cette tendance va se poursuivre². Le budget d'investissement dans une

1. Agence internationale pour les énergies renouvelables, « Off grid renewable energy solutions to expand electricity access : An opportunity not to be missed » (Abu Dhabi, 2019).

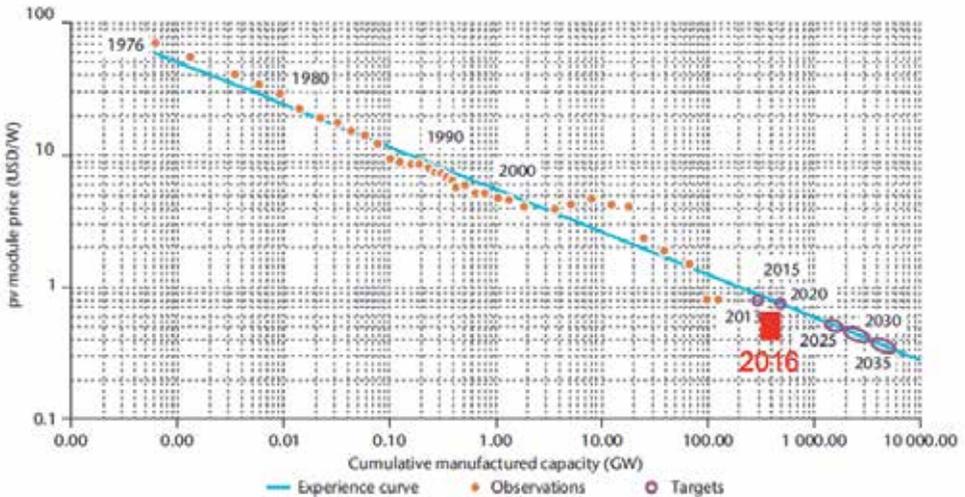
2. Daniel Lincot, « Où en est la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire ? », *Photoniques*, no 93 (2018).

Evolution des rendements des cellules photovoltaïques selon les technologies



Source : « NREL, Transforming Energy », <https://www.nrel.gov/>.

Courbe d'expérience des prix des modules photovoltaïques



Source : AIE, « Energy Access Outlook 2017, From Poverty to Prosperity » (Paris, 2017).

infrastructure solaire a donc, pour un même volume de Wc requis, fondu depuis les années 1990. Cette baisse se double de l'amélioration régulière des performances de ces mêmes modules. Le rendement de conversion photovoltaïque est passé de moins de 14 % dans les années 1980 à 20 % aujourd'hui, et il atteindra demain sans doute 30 %¹. L'amélioration du rendement diminue la surface de capteurs requise pour délivrer la même quantité d'énergie. Cela fait mécaniquement baisser les

coûts d'une infrastructure (ou, pour un même budget, permet d'en augmenter la capacité).

Au-delà des seuls modules, l'augmentation du nombre d'installations a permis, par économie d'échelle, de réduire significativement le prix des autres éléments d'un système solaire (composants, charpentes de fixation, régulateurs et convertisseurs

¹. Source : « Institut photovoltaïque d'Île-de-France », <https://www.ipvf.fr/>.



Quelle est la différence entre systèmes PV connectés au réseau et systèmes PV autonomes décentralisés ?

Les systèmes PV connectés au réseau fonctionnent en générateurs de courant, ils injectent au fil du soleil l'électricité produite, sans stockage. Si le réseau est stable et présent, près de 100 % de l'électricité solaire peut être valorisée, avec des systèmes simples et robustes.

Ces centrales PV raccordées au réseau, dont les puissances unitaires atteignent aujourd'hui plusieurs dizaines de MWc, bénéficient d'un effet d'échelle et de très bonnes performances permettant d'optimiser les dépenses d'investissement (CAPEX*) et d'exploitation (OPEX*).

En Afrique subsaharienne, les centrales PV raccordées au réseau au-delà du MWc se déploient pour des coûts unitaires de 1 à 1,50 €/Wc, atteignant des coûts de production d'électricité actualisés sur vingt à trente ans de 0,5 à 0,1 c€/kWh.

Les systèmes PV autonomes (cf. chapitre 3.1.) sont de conception plus complexe et plus onéreuse, ce qui est en grande partie dû aux batteries et équipements associés (chargeurs, protections électriques spécifiques). De plus, les rendements sont moins bons : pertes significatives dans les batteries, valorisation irrégulière du productible solaire.

Il en résulte des coûts d'installation de 3 à 5 €/Wc, et des coûts du kWh restitué sur une analyse économique à vingt ans (incluant de fait plusieurs renouvellements onéreux) proches de 1 €/kWh.

Ces deux applications de l'énergie photovoltaïque sont finalement très éloignées : elles n'ont de point commun que le champ de capteurs photovoltaïques. Il est important de ne pas confondre les modes de fonctionnement et les aspects économiques.

Source : Fondation Energies pour le Monde.

d'énergie). **Le prix global d'une infrastructure photovoltaïque d'électrification rurale incluant production, régulation et stockage pour une puissance de l'ordre de 30 kWc installée sur site a été divisé par plus de trois depuis le milieu des années 80** : il est d'environ de 8 €/Wc en 2018, alors qu'il avoisinait les 30 € en 1985¹.

Il faut cependant souligner que le coût d'une infrastructure d'ERD est significativement supérieur à celui d'une centrale solaire connectée au réseau. La différence du prix du Wc installé entre systèmes centralisés et décentralisés est significative :

- 1 à 2 euros par Wc pour les systèmes PV connectés au réseau (de puissance d'environ 1 MW) ;
- 3 à 5 euros /Wc pour les systèmes décentralisés (de puissance inférieure à 100 kWc).

Elle s'explique notamment par l'effet de taille et les conditions d'acheminement et d'installation,

ainsi que par l'absence de batteries de stockage dans le premier cas.

Une révolution des technologies de stockage se profile à l'horizon.

Absolument nécessaire quand on fait appel aux énergies renouvelables, par essence intermittentes et variables, le stockage d'électricité reste le maillon faible des systèmes décentralisés (cf. chapitre 3.1.2.). Cependant, les efforts de recherche engagés pour répondre aux besoins de la mobilité verte et de la décarbonation du secteur électrique ouvrent d'intéressantes perspectives. La technologie de stockage dite « au plomb », qui équipe la très grande majorité des systèmes

1. Source : Fondation Energies pour le Monde.



Technologies de stockage Les batteries d'une minicentrale solaire de Madagascar



2008 vs. 2018 : comparatif technique de deux installations

Comparons les architectures techniques d'un système photovoltaïque autonome conçu et installé en 2008 et d'un système conçu et installé en 2018, les deux devant répondre à la même demande en électricité d'environ 15 kWh/jour.

2008		2018
<ul style="list-style-type: none"> • 36 modules photovoltaïques de 130 Wc • Rendement moyen de 12 %, soit une surface photovoltaïque d'environ 40 m² 	MODULES	<ul style="list-style-type: none"> • 15 modules photovoltaïques de 320 kWc • Rendement moyen de 17 %, soit une surface de 28 m² • Un coût 5 fois inférieur
<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs régulateurs PWM en parallèle 	RÉGULATEUR	<ul style="list-style-type: none"> • Un régulateur unique MPPT à haut rendement, plus performant et moins onéreux
<ul style="list-style-type: none"> • Un onduleur simple 	ONDULEUR	<ul style="list-style-type: none"> • Un convertisseur bidirectionnel intelligent pouvant recevoir une source d'hybridation (réseau groupe électrogène) • Gain en performance et en évolutivité pour un coût équivalent
	SUIVI	<ul style="list-style-type: none"> • Un dispositif de télé-monitoring GPRS pour le suivi à distance pour un coût additionnel dérisoire
<ul style="list-style-type: none"> • Batterie au plomb du type OpZs 	PARC BATTERIES	<ul style="list-style-type: none"> • Batteries légèrement plus performantes pour un coût faiblement supérieur

Au bilan : l'ensemble de l'écosystème technologique entourant un dispositif d'électrification autonome photovoltaïque a fortement évolué... sauf le dispositif de stockage.

Source : Fondation Energies pour le Monde.

photovoltaïques actuellement en service en zone rurale, présente plusieurs inconvénients, qui motivent la recherche de solutions de stockage alternatives de la part des développeurs de projets d'électrification décentralisée.

D'une part, cette technologie a atteint sa maturité. Dépendant donc des cours du plomb plutôt que de gains industriels, le prix des batteries au plomb baisse légèrement tandis que le coût des autres équipements a, lui, fortement chuté. Les dépenses de stockage pèsent donc de plus en plus dans le budget des projets : **alors qu'en 2005 le coût de la batterie d'un système PV autonome représentait environ 10 % de l'investissement global, il atteint aujourd'hui 30 à 40 %.**

D'autre part, la durée de vie limitée des batteries au plomb, de deux à dix ans dans le contexte climatique particulier de l'Afrique rurale, induit un renouvellement fréquent de matériel. C'est une contrainte économique dont se passeraient volontiers les concepteurs de systèmes et les usagers (comment financer ce renouvellement ?), et qui fait donc obstacle à la pérennité des installations. Elle pose enfin le problème du recyclage des équipements en fin de vie (cf. chapitre 2.4.3.). La recherche, lancée à la fin des années 1990, a permis de tester une dizaine de technologies de stockage d'électricité stationnaire autres que le plomb. De nouveaux couples électrolytiques, lithium-ion ou nickel-métal hydrure par exemple, peuvent répondre aux besoins de l'électrification décentralisée :

- **les industriels européens ont déjà pris le virage** : l'essentiel des gammes de produits proposés par les fabricants de systèmes PV (régulateurs, chargeurs, convertisseurs bidirectionnels) est compatible avec ces différents types de batteries ; les leaders de l'énergie testent des solutions containerisées équipées de batteries de nouvelle génération pour alimenter des

miniréseaux solaires hybrides (cf. chapitre 3.5.1.) ;

- **les petits systèmes d'électrification rurale décentralisée ont déjà adopté ces nouvelles technologies** : on trouve notamment des batteries au lithium-ion ou nickel-métal hydrure dans une grande partie des systèmes individuels solaires en PAYG (cf. chapitre 3.2.2.) et dans les lampadaires solaires (cf. chapitre 3.3.3.) ;
- **les baisses de prix annoncées laissent présager une évolution rapide des systèmes plus importants.**

La révolution de l'efficacité énergétique se poursuit, avec des récepteurs toujours plus performants et plus accessibles aux populations du Sud.

Au Nord, la chasse au gaspillage énergétique a conduit la recherche et l'industrie à réaliser des gains de performance très significatifs pour la plupart des récepteurs électriques courants : éclairage, électroménager, multimédia. En dix ans, l'éclairage électrique moderne est passé de l'ampoule à incandescence à la LED, après un détour par les équipements fluorescents.

Aujourd'hui, **les consommations des appareils électriques domestiques sont, dans l'ensemble, de 30 % inférieures à ce qu'elles étaient il y a vingt ans**¹. En conséquence, alors qu'il fallait 400 Wh chaque jour pour éclairer correctement un foyer en 2005, on obtient aujourd'hui le même service pour 40 Wh, avec un éclairage plus homogène et plus durable.

Le développement de ces récepteurs à haute efficacité énergétique favorise l'accès à l'électricité des populations économiquement vulnérables au Sud : la réduction de la consommation des équipements allège le budget énergétique des ménages. Ces gains d'efficacité énergétique se

1. Fondation Energies pour le Monde.



Les risques d'approvisionnement de certains composants des batteries

Les éléments présentés dans cet encart sont principalement issus d'une note récente du Comité des métaux stratégiques¹.

La demande mondiale de batteries est en forte croissance, portée par le développement rapide de la production d'électricité par énergies renouvelables et, surtout, celui de la mobilité électrique. Des estimations donnent les ventes annuelles de batteries multipliées par 25 d'ici 2030, et 40 à 50 d'ici 2040², sans prendre en compte le boom des objets connectés et autres produits high-tech.

Ces prévisions interrogent sur les risques liés à l'approvisionnement à moyen-long terme des matières premières qui représentent 50 à 70 % du coût des batteries. La croissance du marché va notamment fortement impacter la demande en cobalt et lithium, utilisés dans les types de batteries qui remplacent progressivement les batteries au plomb³.

Le **cobalt**, présent dans la plupart des technologies de batteries, est identifié comme la substance la plus critique compte tenu de la concentration de la production minière en République démocratique du Congo (RDC), région de plus en plus délaissée par les sociétés minières occidentales en raison notamment de contraintes éthiques.

Le **lithium** pourrait être soumis à des tensions, notamment si les habitudes de consommation n'évoluent pas vers un modèle plus sobre. En Europe, aujourd'hui, seulement 5 % des batteries au lithium sont recyclées⁴. Des recherches sont en cours pour sa substitution par le sodium, moins performant mais beaucoup plus disponible.

Par ailleurs, le **lanthane**, terre rare utilisée dans les batteries nickel métal hybride (NiMH), est classé par le Bureau de recherches géologiques et minières à risques forts sur les approvisionnements.

Sources :

1. Comité des réseaux stratégiques. « Métaux de la transition énergétique » (2017).
2. Bloomberg New Energy Finance, « New Energy Outlook 2017 » (Washington, D.C, 2017).
3. « Epuisement des ressources naturelles », Encyclo-ecolo, https://www.encyclo-ecolo.com/Epuisement_des_ressources_naturelles#La_disparition_du_plomb.
4. Clément Fournier, « Les batteries de voitures électriques : notre prochaine catastrophe environnementale ? » e-RSE, 2017, <https://e-rse.net/batteries-voitures-electriques-impact-environnement-27293/>.

constatent sur de nombreux autres récepteurs électriques courants (téléviseur, équipement informatique, production de froid), qui deviennent également accessibles aux populations rurales disposant d'électricité par système décentralisé. Cette accessibilité a un effet « rebond » (cf. encadré) qui peut annuler l'effet d'économie : avec une démultiplication du nombre d'appareils électriques présents dans les familles, la facture énergétique globale reste à peu près stable.

Pour conclure, cette révolution technologique en cours qui s'appuie sur le photovoltaïque (reléguant au moins temporairement à l'arrière-plan d'autres options, comme le petit éolien) a des retombées rapides en Afrique. Mais elle laisse une question en suspens : **comment faire en sorte que ces retombées soient bien associées à un transfert de compétences et de technologies ? Car ce transfert est seul garant de la pérennité des ouvrages et donc d'un possible impact de l'arrivée de l'électricité sur un territoire**, objectif ultime vers lequel tend tout projet d'accès à l'électricité. C'est une question essentielle, à laquelle l'ouvrage tente des réponses concrètes, d'abord en mettant en exergue les bonnes pratiques pour les porteurs de projets (cf. chapitres 2.4.1. à 2.4.4.), ensuite en émettant des préconisations pour les différents acteurs sectoriels (cf. partie 4).



L'ADEME et le ministère de la Transition écologique et solidaire accompagnent l'innovation

En 2017, par exemple, le ministère de la Transition écologique et solidaire et l'ADEME ont lancé un appel à projets sur les « *solutions innovantes d'accès à l'énergie renouvelable pour les populations hors réseau* ». L'objectif était de soutenir l'émergence et le lancement de projets d'accès à l'énergie portés par des entreprises, ONG et/ou collectivités françaises en coopération avec des acteurs locaux. Neuf projets innovants ont été retenus sur les 94 dossiers présentés. Ils sont mis en œuvre en Afrique (Bénin, Burkina Faso, Cap-Vert, Madagascar, Mauritanie, Ouganda et Togo) et ont été récompensés pour leur caractère innovant technologique (production d'énergie, stockage, technologies d'usage de l'énergie) et/ou organisationnel (mécanismes de financement, de paiement, modèles d'affaires, modes de gouvernance, etc.).

Pour en savoir plus sur les projets soutenus :
Bubacar Diallo et al., « Solutions innovantes pour l'accès à l'énergie hors réseaux » (Angers : ADEME, 2018), <https://www.ademe.fr/solutions-innovantes-lacces-a-lenergie-hors-reseaux>.

Profitant de l'ouverture d'un véritable marché, le secteur privé est proactif, apportant de nouvelles solutions.

L'évolution favorable du photovoltaïque, ainsi que les perspectives d'engagement de plusieurs dizaines de milliards d'euros en faveur de l'accès à l'électricité en Afrique (cf. chapitre 2.3.2.) créent un marché que le secteur privé scrute avec un intérêt grandissant. Certains acteurs reviennent après une période de retrait, d'autres arrivent.

Quand bien même les modèles d'affaires ne sont pas encore stabilisés, de nouveaux acteurs apparaissent dans les pays industrialisés, émergents et en Afrique (promoteurs, bureaux d'études, fabricants, assembleurs, opérateurs...), les programmes financés par les agences de coopération et les banques de développement servant de tremplin à leur développement¹.

L'arrivée des acteurs privés, capables de lever eux-mêmes des fonds auprès d'investisseurs privés, se double d'une grande variété de propositions de valeur, essentiellement axées sur les systèmes solaires individuels et notamment testées sur le territoire subsaharien ; un foisonnement qui concourt à faire de la région un « laboratoire » de l'ERD (cf. partie 3).

Si les acteurs français, initialement très présents sur le secteur de l'accès à l'électricité, l'ont délaissé au cours des années 2000 compte tenu de l'étroitesse du marché d'alors, des nouveaux, présents ou non sur le marché national français des énergies renouvelables, se lancent sur ce secteur.

Pour conclure, les ruptures technologiques que connaît depuis dix ans l'industrie photovoltaïque, favorisée par la nécessité d'une révolution énergétique verte, créent un véritable marché qui se matérialise aujourd'hui par la multiplicité des offres de service. Pour autant, cet essor est-il synonyme d'accès universel à l'horizon 2030 ? S'accompagne-t-il de financements adaptés, disponibles et suffisants ? Dans un domaine où les investissements matériels et immatériels sont significatifs et déterminants, c'est évidemment une problématique décisive. ●

.....

« Sans une population éduquée capable de tirer profit de l'accès à l'énergie, l'efficacité économique de son utilisation promet d'être très décevante. « L'effet rebond » est ce phénomène par lequel, souvent, les populations dilapident les gains économiques induits par l'accroissement de l'efficacité énergétique en augmentant leur consommation d'énergie. »

Gaël Giraud, « Les défis énergétiques pour un développement durable : comment éviter l'effondrement ? », *Revue d'économie du développement* 23, n° 3 (2015).

.....

1. Selon Aaron Leopold, de l'association des développeurs de miniréseaux africains, les investissements d'électrification rurale des entreprises membres de l'African Minigridd Developers Association ont bénéficié de 14 % de soutien public, 86 % venant du privé.

2.3.2.

Nerf de la guerre, le financement reste problématique pour la plupart des projets d'électrification rurale.

Si les avancées technologiques permettent de lever la plupart des obstacles à une généralisation des solutions décentralisées, la question du financement des opérations reste épineuse. Elle est pourtant déterminante pour réussir l'accès universel à l'électricité sur le continent africain.

L'électrification rurale présente un profil de risque peu attractif pour les investisseurs.

Quoique l'accès à l'électrification décentralisée par énergies renouvelables soit l'option la plus pertinente et la moins onéreuse dans un nombre croissant de cas en Afrique subsaharienne rurale (notamment par rapport à l'extension du réseau national ; cf. chapitre 2.1.2.), il n'en reste pas moins qu'elle est entachée des mêmes contraintes que l'électrification conventionnelle :

- **elle est très capitalistique** alors qu'elle s'adresse à des usagers financièrement très contraints ;
- **sa mise en œuvre comporte des risques élevés** compte tenu des contextes nationaux et locaux alors que le retour sur investissement est souvent long.

Le besoin en capital d'une solution d'ERD, quelle qu'elle soit, varie selon qu'on utilise ou non les énergies renouvelables (cf. tableau) :

- les solutions décentralisées par énergies renouvelables se caractérisent par un coût d'investissement initial, ou CAPEX, élevé et un coût d'exploitation, ou OPEX, relativement faible

(pas de carburant, des charges de personnel limitées) ;

- les solutions conventionnelles (thermiques) se caractérisent à l'inverse par un CAPEX limité et un OPEX (carburant notamment, payé comptant par l'exploitant) élevé et aléatoire. Cette incertitude pèse sur la viabilité : les usagers peuvent



OPEX/CAPEX

CAPEX ou dépenses d'investissement

(capital expenditure) : désigne les coûts de développement et fourniture des pièces non consommables pour un produit, une entreprise, un système. Dans le cas d'un système électrique : réalisation des études préalables, acquisition des composants du système, assistance technique à l'installation, etc.

OPEX ou dépenses d'exploitation

(operational expenditure) : désigne les charges courantes pour exploiter un produit, une entreprise ou un système. Dans le cas d'un système électrique : dépenses de personnel exploitant, frais de maintenance, intrants de fonctionnement (combustible, par exemple), pièces de rechange, déplacements, frais de communication...

Minicentrale solaire vs groupe électrogène (pour une centaine d'abonnés et une consommation d'environ 10 000 kWh/an)

	Groupe électrogène	Centrale solaire
Puissance installée	12 kVa	10 kWc
Coûts d'investissement (hors réseau)	5 000 €	30 000 € à 60 000 €
Coûts d'exploitation (hors coûts de personnel et hors coûts de renouvellement des composants (onduleurs, batteries) pendant la durée de vie de l'installation)	5 000 €/an	600 €/an
Les coûts de personnel sont comparables.		

Source : Fondation Energies pour le Monde.

peiner à s'acquitter de leur contribution dans le cas où le prix du carburant augmente plus vite que leurs revenus (cf. l'histoire des miniréseaux diesels en chapitre 3.2.5.) ;

- la baisse du prix des composants PV a rendu les solutions décentralisées par énergie solaire économiquement avantageuses sur le long terme.

Le temps de retour sur investissement (*return on investment*, ROI) est intimement lié aux produits (consommations payées par les usagers). Il sera d'autant plus long que leurs capacités de paiement et leurs consommations électriques seront faibles (cf. encadré) et aléatoires. C'est ainsi que s'explique la durée des concessions accordées aux opérateurs d'électricité, généralement longue (vingt à trente ans).



Chiffres-clé

Aujourd'hui, le prix payé mensuellement par un usager de miniréseau en Afrique subsaharienne se situe dans une fourchette de **5 à 10 euros**, pour une consommation de **500 Wh par jour** et un tarif de **200 FCFA par kWh, soit 0,30 centimes d'euro** (taux de change appliqué au 15 septembre 2019).

Source : Fondation Energies pour le Monde, études Noria.

L'ERD est très dépendante des financements internationaux, qui restent largement insuffisants

L'électrification rurale, comme de nombreux services de base, souffre du manque de ressources fiscales (cf. encadré), dans un contexte où les Etats sont confrontés à d'immenses besoins sociaux alors même que leurs économies reposent encore largement sur le secteur informel*1.

La situation des sociétés nationales d'électricité, souvent lourdement déficitaires, ralentit l'électrification périurbaine et ne permet pas de réaliser l'électrification rurale par extension du réseau national. Dès lors, comme beaucoup d'infrastructures de service public dans les pays en développement, **l'accès à l'électricité en milieu rural fait appel de manière significative à des sources internationales de financement.**

Jusqu'à présent, ces bailleurs internationaux ont permis de lancer :

- **essentiellement, des projets d'extension du réseau** dans les zones les plus favorables (cf. chapitre 1.2.1.) ;
- **ponctuellement, des projets d'ERD** (cf. chapitre 2.2.2.), notamment selon les deux modes principaux actuels de service : le PAYG et le miniréseau.

Mais cette contribution est largement en deçà des besoins de financement. Seulement 5 milliards USD par an ont été alloués aux projets d'électrification en Afrique subsaharienne au cours de la décennie actuelle, selon l'AIE, ce qui ne couvre que **10 % des besoins**. Et peut-être même moins, dans un contexte où la population subsaharienne va doubler d'ici 2050.

L'AIE prévoit la mobilisation de 52 milliards USD d'investissements nécessaires pour permettre un accès à l'électricité pour tous d'ici 2030² (cf. chapitre 1.1.1.). On peut néanmoins se demander quelle est la capacité d'absorption de ce montant.

On constate aujourd'hui en effet que les financements sont souvent disponibles via les coopérations institutionnelles, mais que ces apports ne sont pas tous utilisés : les projets concrets et recevables aux conditions des bailleurs de fonds ont du mal à émerger (taille insuffisante ou niveau de risque trop élevé).

Or, un appui financier à l'électrification du monde rural est quoi qu'il en soit justifié au regard des bénéfices sociaux et économiques de l'accès à l'électricité (cf. chapitre 1.1.1.).

Le défi est donc de trouver des solutions de financement permettant une électrification de base, à moindre coût, durable, et de maximiser les ressources publiques et privées mobilisables à tous les niveaux pour développer à grande échelle des projets d'accès à l'électricité décentralisée faisant appel aux sources renouvelables d'énergie.

Il existe deux grandes approches de l'accès à l'électricité hors réseau par énergies renouvelables, induisant deux logiques de financement.

Pour la mise en œuvre des projets, deux logiques complémentaires cohabitent à l'heure où cet ouvrage est écrit :

- **une approche libérale** : cette approche récente est fondée sur un échange marchand entre un acteur privé et un client pour l'acquisition d'un bien ou d'un service électrique, contre un paiement cash ou à tempérament (crédit et paiement en plusieurs fois). Elle est particulièrement adaptée au développement de l'accès individuel à l'électricité pour des usages domestiques (lampe portable, système solaire individuel ;

1. Voir notamment le rapport du Fonds monétaire international, « Perspectives économiques régionales en Afrique subsaharienne : Faire redémarrer la croissance » (Washington, D.C, 2017).

2. Agence Internationale de l'Énergie. « Energy Access Outlook 2017, From Poverty to Prosperity ». Paris : Agence Internationale de l'Énergie, 2017.



La problématique des ressources fiscales et du financement des services publics.

L'amélioration de la mobilisation des ressources fiscales constitue un enjeu de développement majeur pour les États d'Afrique subsaharienne. Les recettes fiscales sont en effet primordiales pour les États, car elles leur apportent les ressources nécessaires à l'investissement dans le développement, la fourniture de services publics ou la réduction de la pauvreté.

Cette mobilisation est en constante progression grâce à une croissance économique et une amélioration des capacités à taxer; elle représente 19,1 % du PIB du continent en 2017, mais cette moyenne demeure inférieure à celle d'autres régions du monde (Amérique latine : 23 % ; OCDE : 34 %).

Cette différence s'explique par plusieurs facteurs :

- **le rapport à l'impôt des contribuables africains**, empreint des héritages coloniaux et toujours perçu négativement, pénalise l'administration fiscale pour procéder au recouvrement des contributions ;
- **l'inadéquation des ressources des administrations fiscales** (humaines, techniques) ;
- **les « cadeaux fiscaux »** consentis à certains opérateurs économiques ;
- **la corruption.**

Des réformes fiscales, favorables notamment au développement du secteur privé, à l'intégration d'importantes entités informelles et au renforcement des capacités des administrations fiscales, sont appelées par les professionnels du secteur. Certains pays ont déjà commencé à mettre en place de nouveaux systèmes. Au Ghana, le fonctionnement de la collecte des impôts est en passe d'être transformé, afin d'intégrer les sociétés du secteur informel ; le Rwanda a également développé une politique volontariste en la matière.

Sources :

OCDE, « Statistiques des recettes publiques en Afrique » (Paris, 2017).

Salif Yonab, « Le recouvrement des recettes publiques dans les États Africains : un état des lieux préoccupant », *Revue française d'administration publique* 144, n° 4 (2012).

Foly Ananou, « Et si la fiscalité africaine était déséquilibrée », *Le Point* (en ligne), 2018, https://www.lepoint.fr/economie/et-si-la-fiscalite-africaine-etait-desequilibree-27-02-2018-2198250_28.php.

Sylvain Vidzraku, « Ghana : un nouveau système de collecte des impôts intégrant les sociétés du secteur informel », *La Tribune* (en ligne), 2018, <https://afrique.latribune.fr/afrique-de-l-ouest/ghana/2018-03-11/ghana-un-nouveau-systeme-de-collecte-des-impots-integrant-les-societes-du-secteur-informel-771411.html>.

Sabine Cessou, « Le poids du secteur informel », *Le Monde diplomatique* (en ligne), 2015, <https://www.monde-diplomatique.fr/mav/143/CESSOU/53893>.

Nergis Gülasan et Gail Hurley, « Financer le développement avec des ressources nationales », ID4D, 2015, <https://ideas4development.org/financer-le-developpement-par-une-meilleure-mobilisation-des-ressources-nationales/>.

cf. chapitre 3.2.), en complément des solutions collectives (cf. chapitres 3.4. et sq.) ;

- **une approche interventionniste*** : cette approche historique est fondée sur la coordination institutionnelle et l'implication de la société civile pour la mise en œuvre d'une solution collective d'électrification selon une logique de gestion de projet.

Complexe dans sa mise en œuvre, cette dernière favorise la prise en compte de l'ensemble des usages de l'électricité et l'inclusion la plus large possible des populations locales (notamment via l'installation d'un miniréseau ; cf. chapitre 3.5.). Elle peut aussi se concentrer sur un usage collectif (pompage solaire, éclairage public, électrification des ouvrages publics... cf. chapitre 3.4.).

Détaillées plus loin dans leurs implications organisationnelles (cf. chapitre 2.4.1.), les deux approches sont corrélées à des circuits de financement différents. Deux types de solution, emblématiques de ces deux circuits, dominent aujourd'hui le paysage de l'accès à l'électricité hors réseau :

- **le pay as you go ou PAYG** (approche libérale) : distribution d'un bien d'équipement durable par des opérateurs privés en intégrant des facilités de financement (location-vente) ;
- **le miniréseau** (approche interventionniste) : distribution d'un service durable à des usagers par des opérateurs publics ou privés intervenant dans le cadre d'une délégation d'un service public marchand ou d'un partenariat public-privé.

Si le développement de ces modèles dominants requiert dans les deux cas des financements, leurs logiques de levée de fonds diffèrent.

Après avoir scruté le cas particulier du PAYG, le reste du chapitre se concentre délibérément sur l'approche interventionniste, et cela pour deux raisons :

- **l'approche interventionniste bénéficie d'un retour d'expérience plus nourri** que l'approche libérale, dont l'essor est encore récent (cf. chapitre 2.2.2.) ;

- **mais surtout, c'est cette approche qui souffre aujourd'hui d'un manque de financements adaptés, alors même qu'elle est nécessaire à la réalisation de l'objectif d'accès universel à l'électricité.**

Là où l'approche libérale, par définition, vise à développer une activité commerciale et trouve soit des clients pour payer cash (vente directe de systèmes), soit des investisseurs intéressés par sa rentabilité (PAYG), l'approche interventionniste vise à développer un service de base rarement rentable. Les contraintes liées à la mise en place, notamment l'ingénierie sociale*, puis l'exploitation de ce service pèsent sur le modèle économique, qui requiert des subventions et une continuité des investissements dans le temps.

Quoique les deux approches relèvent de logiques de distribution et de financement différentes, elles ne sont pas incompatibles et sont même complémentaires pour la réalisation de l'objectif d'accès à l'électricité pour tous. Elles peuvent ainsi cohabiter de manière efficace au sein d'un même espace ; certains projets de miniréseau prévoient par exemple d'équiper en lampes solaires portables ou en kits individuels les ménages isolés pour lesquels le raccordement pas envisageable.

Dans un souci d'équité, cette complémentarité devrait même être systématiquement recherchée par les monteurs de projets de miniréseaux, qui peuvent, en phase de mise en œuvre, réaliser directement ou accompagner les initiatives permettant l'équipement en systèmes individuels des populations non raccordées.

Le pay as you go se finance comme tout service purement marchand.

Cette modalité requiert des financements pour ses différentes phases : lancement de l'activité, montée en puissance puis enfin changement d'échelle.

Reposant sur la distribution d'un équipement individuel électrique par un opérateur privé en *business-to-customer* dans le cadre d'une location-vente (cf. chapitre 3.2.2.), elle vise principalement une clientèle périurbaine ou rurale plutôt aisée, concentrée dans un périmètre délimité, disposant de revenus stables et de moyens de paiement sécurisés.

Les risques étant circonscrits, les opérateurs du PAYG ont pu compter sur des investisseurs pour :

- assurer le préfinancement des équipements et des équipes commerciales nécessaires au lancement de l'activité ;
- puis financer la croissance et élargir progressivement leur marché.

Les montants injectés dans les sociétés du PAYG ont ainsi décuplé entre 2013 et 2016 (cf. encadré). Ils font majoritairement appel à des sources privées de financement, donc le détail et l'affectation des montants reçus sont difficilement identifiables.

Pour autant, l'histoire, même courte, des leaders du PAYG, montre leur capacité à susciter l'intérêt d'un large panel d'acteurs.

Ils parviennent d'abord à mobiliser toute la gamme des **mécanismes de financement privé** au fil des différentes phases de leur développement :

- **la phase de création ou de pré-lancement**, qui inclut la recherche et développement en équipements, logiciels et moyens de communication adaptés aux systèmes solaires individuels mais aussi les analyses préalables et la construction du *business plan*, a retenu l'attention des fondations d'entreprises, comme la Shell Foundation (4 millions de dollars pour M-Kopa, par exemple¹) ;
- **la phase d'amorçage** fait plutôt appel à des fonds d'investissements sociaux d'entreprises comme ceux de Schneider Electric (Electric Energy Access) ou d'Engie (Rassembleurs d'énergies), qui ont tous deux des engagements dans plusieurs



Les investisseurs s'enthousiasment pour le PAYG

Le PAYG a attiré 85 % des investissements dans l'off-grid solaire entre 2012 et 2017, pour un montant de 773 millions de dollars, dont 67 % sont allés à seulement quatre sociétés.

Source : Banque mondiale, « Off grid solar market trends report », 2018.

Plus de 210 milliards de dollars en dette et en capital investissement ont été accordés au secteur marchand de l'off-grid solaire PAYG en 2016, contre 20 millions en 2013. A quelques rares exceptions, l'immense majorité de ces investissements ont été réalisés en Afrique de l'Est.

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

start-up¹ : leurs interventions sur le moyen/long terme se concrétisent par des entrées minoritaires au capital, de la dette, et ponctuellement des dons pour des montants de plusieurs centaines de milliers de dollars ;

- **enfin, la phase ultérieure de passage à l'échelle** fait plutôt appel à des fonds d'investissement indépendants capables d'accompagner toutes les étapes de la croissance, par des entrées au capital et de la dette à taux bonifié.

1. Grégoire Jacquot, « L'émergence du pico-solaire dans les initiatives d'électrification rurale » (Paris : Agence française de développement, 2015).

Le leader mondial M-Kopa a ainsi su faire appel aux fonds américains Gray Ghost Ventures et Acumen, entre autres. En décembre 2018, le groupe japonais Sumitomo Corporation a acquis une participation minoritaire dans le capital de la start-up est-africaine².

Son plus proche challenger, BBOXX, a obtenu début 2019 un financement de 31 millions de dollars auprès du gestionnaire de fonds Africa Infrastructure Investment Managers³ ; il a également levé 6 millions d'euros via une opération de financement participatif (cf. chapitre 2.3.2.).

D'autre part, les opérateurs du PAYG ont bénéficié des engagements des **agences de développement**, notamment anglo-saxonnes (DFID, DEG, USAID, Banque asiatique de développement). Ces agences ont financé les programmes d'assistance technique, leurs subventions pouvant atteindre plusieurs millions de dollars, majoritairement fondées sur une préférence nationale. Ainsi, l'on peut noter le soutien de la DEG à Mobisol, entreprise allemande, celui d'USAID à PEG Ghana, créée par deux Américains, ou encore les subventions de la DFID à M-Kopa, dont l'un des fondateurs est britannique⁴.

Le dynamisme du PAYG témoigne de l'attractivité de ce modèle. Principalement déployé en Afrique de l'Est, il essaime depuis peu en Afrique de l'Ouest, grâce à des start-up africaines et françaises ainsi que des d'initiatives d'envergure menées par Orange⁵, Engie⁶ et EDF⁷.

Cela dit, il est encore trop tôt pour confirmer la rentabilité du PAYG sur le long terme ; le passage à l'échelle de cette solution pose de nombreux défis (cf. chapitre 3.2.2.). Certains investisseurs s'inquiètent même d'une décorrélation entre l'engouement que le modèle suscite et la capacité réelle de profitabilité des entreprises (cf. encadré). En mai 2019, un des pionniers du PAYG, Mobisol, a fait publiquement part de ses difficultés en 2019⁸.

En approche interventionniste, le financement des projets relève d'une mécanique complexe qui peine à trouver sa maturité.

Plus complexe que l'approche libérale car intégrant un volet étoffé d'ingénierie sociale, l'approche interventionniste est susceptible de répondre à la palette complète des usages sociaux, domestiques et économiques, dans une dynamique visant un service public de l'électricité. Cette efficacité a une contrepartie : les schémas sont gourmands en dons et en aides.

La répartition des dépenses de CAPEX est marquée par le poids significatif des dépenses d'études, d'assistance et de renforcement de capacités.

Partons de l'exemple des miniréseaux par énergies renouvelables. L'information disponible sur le financement de ce schéma d'électrification – dont l'histoire est plus ancienne que le PAYG et la mise en œuvre repose sur des projets dont les résultats sont plus souvent publics – est logiquement plus abondante que pour le PAYG.

-
1. Promotion et Participation pour la Coopération économique, « Financer les start-up pour construire les économies de demain en Afrique », Revue secteur privé et développement, n° 29 (2018).
 2. Chamberline Moko, « La firme kenyane M-Kopa lève des fonds auprès du japonais Sumitomo Corporation », Agence Ecofin, 2019, <https://www.agenceecofin.com/solaire/0801-63041-la-firme-kenyane-m-kopa-leve-des-fonds-aupres-du-japonais-sumitomo-corporation>.
 3. « BBOXX lands USD 31 million deal with AIIIM », BBOXX, 2019, <https://www.bboxx.co.uk/bboxx-lands-usd-31-million-deal-africa-infrastructure-investment-managers/>.
 4. Grégoire Jacquot, « L'émergence du pico-solaire dans les initiatives d'électrification rurale » (Paris : Agence française de développement, 2015).
 5. Depuis 2017 au Sénégal, au Mali, au Burkina Faso et au Cameroun.
 6. Après avoir racheté la société Fenix.
 7. A partir de 2016 en Côte d'Ivoire puis au Ghana.
 8. Avant d'être racheté par Engie début septembre 2019.



Un enthousiasme immodéré ?

Il y a peut-être trop d'engouement pour ce secteur qui n'a pas encore résolu l'enjeu majeur de définition du modèle d'entreprise et peut avoir du mal à faire face aux attentes de forte croissance et aux incitations mal alignées de nombreux investisseurs en capital-risque. Aimerions-nous voir un capital bien aligné, bien déployé dans le secteur ? Absolument. Pensons-nous qu'il existe des entreprises de choix focalisées sur la rentabilité et l'efficacité du capital qui méritent ce capital ? Certainement. Néanmoins, de manière générale, nous craignons de nous diriger vers un *hype cycle*¹ dont la trajectoire ne nous plaît pas beaucoup.

Source : 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/>.

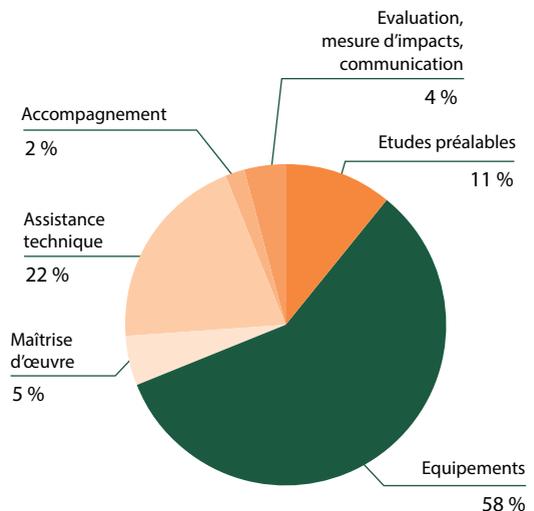
1. lancement de la technologie (prototypes, tests),
2. hype (engouement exagéré des médias et des financiers, création de multiples startups pour développer et commercialiser) ;
3. anti-hype (éclatement de la bulle, parfois associé à un krach boursier)
4. création de produits deuxième génération avec développement progressif et solide du marché (fondé sur une appréciation réaliste de l'étendue et de la valeur des applications concrètes de la technologie) ;
5. plateau de productivité (technologie rodée permettant le développement de produits de troisième génération).

Quel que soit le mécanisme d'exploitation (délégation de gestion de service public, partenariat public-privé), le maître d'ouvrage cherche à mobiliser des fonds pour couvrir l'investissement et pallier le manque de financements locaux.

Les besoins en financement pour la réalisation des différentes phases d'un projet de miniréseau (cf. schéma) sont d'autant plus importants que le programme a de l'envergure – ce qui est souhaitable, notamment une amplitude régionale, afin de créer un effet d'échelle et de favoriser une dynamique d'aménagement du territoire (cf. les préconisations en ce sens dans la partie 4 de l'ouvrage).

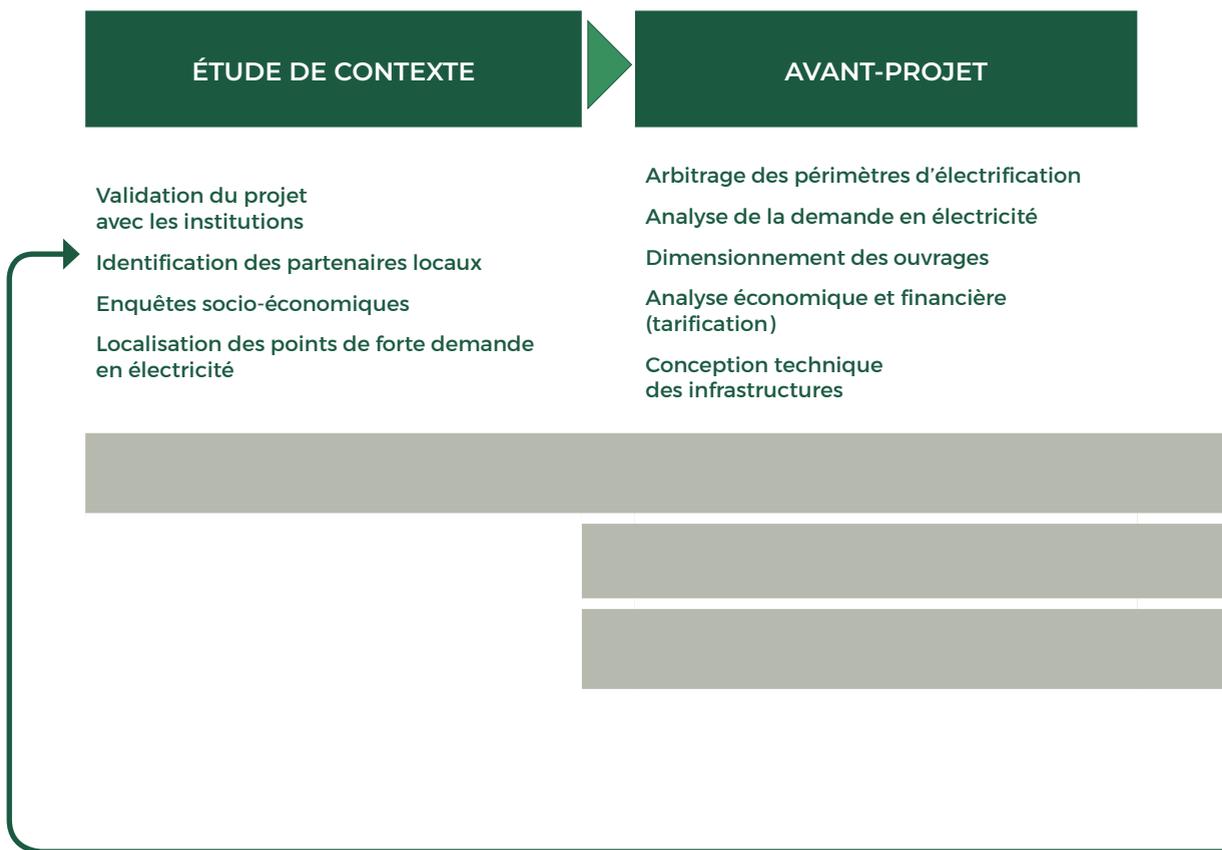
A titre d'exemple, pour un programme régional d'électrification d'une centaine de localités rurales de 3000 à 5000 habitants chacune, l'investissement est de l'ordre de 150 millions d'euros et se répartit de la manière suivante¹ :

Plus de la moitié des investissements concernent les équipements

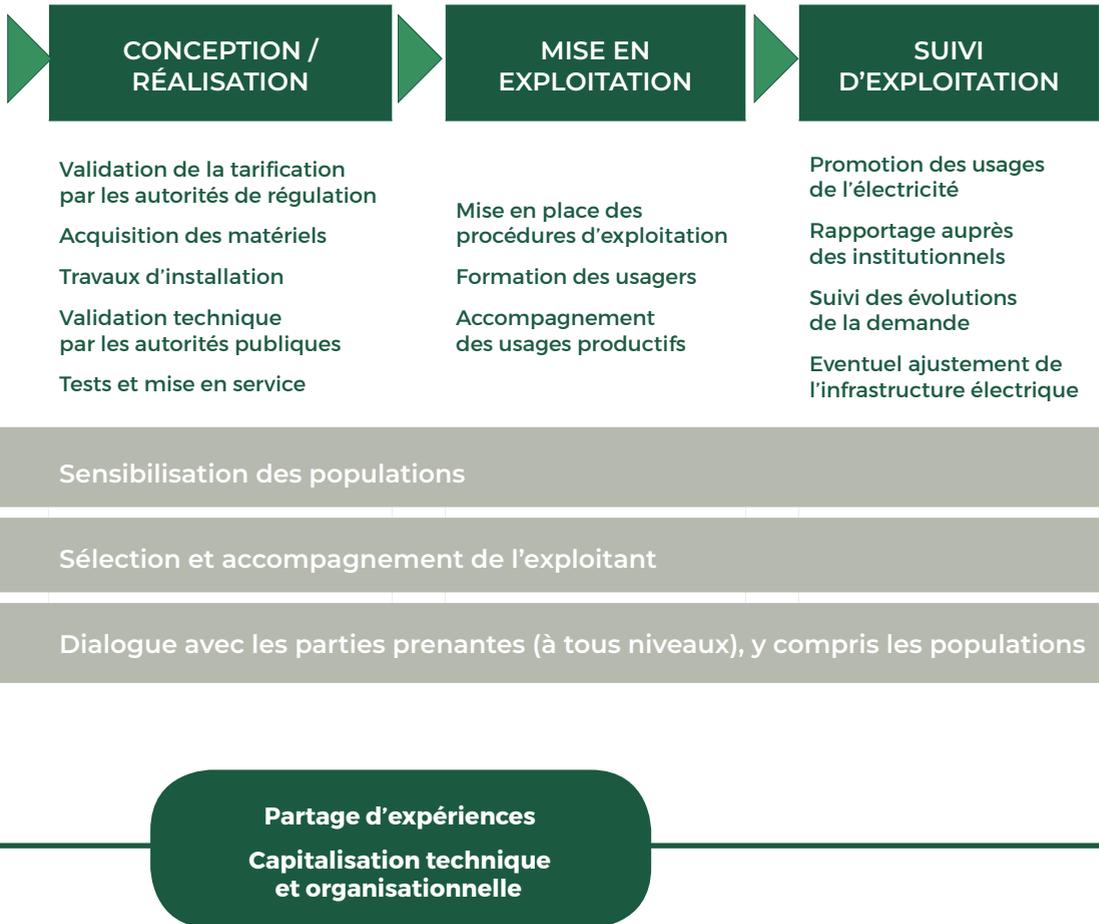


Source : Fondation Energies pour le Monde.

Les étapes d'un projet d'ERD



Source : Fondation Energies pour le Monde.



Les équipements matériels de production (*hardware*) représentent un peu plus de 50 % du budget, ce qui signifie que **près de la moitié des coûts sont liés à des activités d'analyse, d'assistance et de renforcement des capacités**².

Ce constat n'est pas valable que pour le mini-réseau. Essentielles pour la réussite d'un programme en approche interventionniste, quelle que soit son envergure, ces prestations intellectuelles (*software*) ne doivent en aucun cas être sous-estimées :

- **les études préalables** sont nécessaires à l'élaboration de l'avant-projet sommaire puis de l'avant-projet détaillé, qui permettent de dimensionner le miniréseau.

Elles sont coûteuses car le terrain d'étude rural est difficile d'approche : les déplacements sont longs et parfois hasardeux, les sources d'information, peu nombreuses et peu fiables, doivent être recoupées, et les parties prenantes sont nombreuses ;

- **l'assistance technique auprès de la maîtrise d'ouvrage** est indispensable, compte tenu du caractère innovant du secteur et de la diversité de l'écosystème de parties prenantes qu'elle doit rassembler (cf. chapitre 2.4.1.) ;

- **la présence d'un maître d'œuvre*** est nécessaire, compte tenu des aspects techniques des infrastructures électriques ;

- **les mesures d'accompagnement**, et notamment les actions de sensibilisation et de formation déployées auprès des usagers et de l'exploitant, sont essentielles, compte tenu du public ciblé et de l'importance de la qualité de l'exploitation des infrastructures installées (cf. chapitres 2.4.2. et 3.5.3.).

Lorsqu'il est pris en charge par les promoteurs de projets sans subvention, le coût de ces différentes interventions est répercuté sur la tarification,

limitant les capacités d'accès à l'électricité et pénalisant la pertinence du projet.

C'est un point essentiel d'amélioration des dispositifs de financement, qui couvrent trop imparfaitement les dépenses autres que celles d'équipement (cf. les préconisations adressées aux bailleurs de fonds en partie 4).

Il est nécessaire de promouvoir une logique de financement mixte pour répondre au caractère mixte des projets.

En approche interventionniste, l'ERD n'est, au final, ni purement marchande ni purement sociale. Elle cherche son équilibre économique. Cette recherche se traduit par la complexité des montages financiers.

Sources et mécanismes de financement suivent le rythme du changement d'échelle de l'électrification rurale, de l'évolution des techniques mises en œuvre et de l'appréciation des risques. Une large palette d'acteurs très divers (donateurs individuels, ONG, collectivités, philanthropes, bailleurs de fonds internationaux) a permis la réalisation des premières initiatives d'ERD, grâce à des dons et/ou des prêts aux conditions avantageuses.

Le schéma de financement le plus pertinent consiste à associer prêts et subventions.

Ce mix permet d'alléger au maximum le coût d'investissement pour le promoteur et d'ajuster le tarif payé par l'usager. Les acteurs recourent notamment aux prêts dits « concessionnels », qui sont adaptés aux projets à externalités sociales et économiques élevées, comme les projets d'ERD :

1. Source : Fondation Energies pour le Monde.

2. A noter qu'un programme régional comprenant plusieurs miniréseaux nécessite plus d'assistance à maîtrise d'ouvrage que des projets plus localisés.

- les prêts sont « concessionnels » car accordés à un taux très avantageux pour l'emprunteur ;
- ils peuvent être « souverains » (accordé à un Etat ou ses émanations) ou « non souverains » (cf. présentation plus détaillée infra).

Reste que l'ERD n'est pas sans poser des problèmes d'organisation interne aux organismes de financement et aux Etats :

- **sa nature hybride, entre développement rural et électrification, leur est peu familière** et se prête mal au partage habituel des compétences et à l'échange d'informations entre les services de ces organismes ;
- **chaque projet relève d'une conception « sur mesure »** et nécessite de collecter un grand nombre de données, pas toujours disponibles, sur le terrain ;
- **chaque projet demande un temps significatif** pour couvrir des coûts d'études et de préparation qui sont proportionnellement plus élevés que pour l'électrification urbaine et industrielle ;
- **les aspects financiers sont relativement complexes**, même pour les projets modestes, notamment parce qu'une part importante de l'investissement est amortie sur le long terme, ce qui augmente les risques et les rend plus difficilement appréciables (alors même que certaines données d'expérience, utiles, sont gardées confidentielles par les opérateurs privés).

Malgré ces difficultés, plusieurs outils de financement propres aux projets d'intérêt général sont aujourd'hui mobilisables par les acteurs privés ou publics en soutien d'un programme d'ERD en logique interventionniste.

Les financements accessibles aux acteurs publics.

Les dons et subventions ont répondu aux multiples demandes émanant du terrain, notamment des ONG, des associations locales, des collectivités ou des Etats pour satisfaire aux besoins en financement d'usages sociaux. Le résultat est mitigé :

- ces mécanismes ont permis aux pionniers de l'ERD d'expérimenter les premières installations faisant appel aux énergies renouvelables, d'en justifier la pertinence et de les améliorer ;
- associés à des actions de suivi, ils répondent à des besoins sociaux spécifiques des populations rurales : amélioration de la santé grâce à la conservation de vaccins, approvisionnement en eau grâce au pompage solaire, etc. ;
- l'expérience montre que ces aides prenant en charge la totalité de certains investissements sont sources de vulnérabilité : si les charges de maintenance à long terme ne sont pas correctement prises en compte par la collectivité, le système est souvent délaissé à la première panne ou au moment du renouvellement du composant le plus fragile ;
- même s'ils font partie de la solution, ces mécanismes, seuls, sont impuissants à faire face à l'urgence et à l'envergure de la demande.

La mobilisation d'autres financements a donc été nécessaire pour démultiplier les capacités d'intervention des Etats ou des collectivités publiques et pour mener des programmes de grande échelle sans pour autant sacrifier à l'objectif d'intérêt général.

Les prêts concessionnels souverains bénéficient aux Etats et leurs émanations (ministères, sociétés nationales). Ces entités sont en mesure de mobiliser des fonds auprès de banques de développement multilatérales (Banque mondiale, Banque africaine de développement, par



Aide à la demande et aide à l'offre

La mécanique de subventions, longtemps sollicitée pour répondre aux besoins exprimés sur le terrain, s'inscrit actuellement dans une dynamique nouvelle et contestable : de nombreux pays industrialisés utilisent cet outil financier pour accompagner l'offre de leurs industriels nationaux.

Les équipements sont parfois livrés gracieusement pour démontrer la qualité du matériel, souvent sans que les conditions nécessaires à leur appropriation soient vérifiées. Dès lors, cette modalité de financement, qui paraît a priori adaptée au regard de la situation financière des pays bénéficiaires, présente en réalité de sérieuses limites :

- la responsabilisation des parties prenantes locales, et en particulier de la maîtrise d'ouvrage et des usagers finaux, est faible puisqu'ils n'ont pas participé financièrement à l'acquisition des équipements ;
- le mécanisme de paiement du service de l'électricité est perçu comme incohérent (puisque les équipements sont gratuits), laissant présager de grandes difficultés lors du renouvellement de composants, en premier lieu celui de la batterie après deux à dix ans de fonctionnement ou en cas de défaillance d'un équipement.

Source : Fondation Energies pour le Monde.

exemple) ou bilatérales (AFD, KFW...) :

- proposant un taux d'intérêt bas, voire très bas, les prêts concessionnels ont en général des maturités longues, supérieures à vingt ans, assorties d'années de grâce (franchise totale) ;
- la différence de conditions d'emprunt entre un prêt concessionnel et un prêt commercial est alors appelée « l'élément don ».

L'emprunteur doit réunir deux conditions pour se voir accorder ce type de prêt, liées aux risques inhérents aux pays en développement (cf. infra) :

- être rodé à ce type d'outils financiers et capable d'en maîtriser la gestion ;
- obtenir une garantie d'Etat, dite souveraine (« un Etat ne peut faire défaut »).

En pratique, dans le secteur électrique des pays du Sud, seules les sociétés d'électricité peuvent obtenir une garantie souveraine, par le ministère des Finances. Situées en dehors du secteur conventionnel de l'électricité, insuffisamment structurées et inexpérimentées en gestion financière, les agences de l'électrification rurale ne sont pas considérées comme présentant les mêmes conditions de fiabilité et de solvabilité que les sociétés nationales.

Il faut également avoir à l'esprit que les règles relatives à l'endettement des pays peuvent faire obstacle à la mise en place de ces mécanismes de prêts souverains.

Concernant le prêteur, il est important de souligner deux choses :

- les pays membres de l'OCDE sont contraints de respecter des conditions strictes, dites du consensus, dans l'octroi de leurs prêts concessionnels, pour justifier du taux très favorable accordé (cf. encadré). Ce n'est pas le cas des pays non membres de l'OCDE, devenus des acteurs incontournables de l'aide au développement, libres de leurs conditions d'octroi (Chine, Inde) ;
- les prêts concessionnels souverains sont

assortis de conditions de préférence nationale. A titre d'exemple, les prêts concessionnels du Trésor français prévoient l'achat en France de biens et services pour au moins 70 % du montant total du prêt.

Les financements publics accessibles au secteur privé

Différents types d'acteurs financiers sont susceptibles de soutenir les projets d'ERD en logique interventionniste portés par des acteurs privés. Souvent trop peu attractifs ou trop risqués pour les marchés financiers classiques, ces projets sont notamment soutenus par des bailleurs de fonds publics.

Les agences publiques de développement, qui ont soutenu traditionnellement les Etats (prêts, dons) et les associations (dons), ont diversifié leurs partenariats. Elles ont élaboré de nouveaux schémas innovants qui permettent de soutenir un nouveau type d'acteurs sur la base d'un double constat :

- au Sud, les Etats ont montré leurs limites en matière d'élaboration, de montage, d'exploitation et de gestion de projets d'infrastructure publique, et notamment en matière d'électrification rurale ;
- à la faveur du désengagement des bailleurs publics dans les années 80, le secteur privé a pris le relais, parfois avec succès (comme Bouygues en Côte d'Ivoire), grâce à la compétence de ses équipes et à sa flexibilité.



Conditions de consensus OCDE : l'exception de l'intérêt général

A partir de 1976, certains pays de l'OCDE ont entamé des discussions afin de coordonner leurs politiques en matière de crédits à l'exportation. Dans le prolongement de ce « consensus », l'Arrangement sur les crédits à l'exportation bénéficiant d'un soutien public a été élaboré, avant d'entrer en application en avril 1978.

Convention non contraignante, ce *gentlemen's agreement* a pour objectif d'encadrer l'intervention publique et d'assurer la transparence afin de maintenir des règles du jeu uniformes et des conditions de concurrence loyale. La concurrence entre exportateurs doit ainsi être fondée sur la qualité et le prix des biens et services exportés, plutôt que sur les conditions financières les plus favorables que peuvent offrir les membres. L'accord détermine les conditions et modalités des crédits à l'exportation (taux d'intérêt, durée de crédit, primes de risques). Dix participants sont liés par cet accord : l'Australie, le Canada, l'Union européenne (et ses Etats membres), le Japon, la Corée du Sud, la Nouvelle-Zélande, la Norvège, la Suisse, la Turquie et les Etats-Unis. Bien que ne constituant pas un acte de l'OCDE, cet arrangement volontaire est toujours en vigueur aujourd'hui.

Source : OCDE , « Arrangement sur les crédits à l'exportation bénéficiant d'un soutien public » (Paris, 2018).

Les banques de développement, notamment la Banque mondiale, ont ainsi élargi les critères d'éligibilité de leurs prêts et dons aux acteurs capables de créer un effet de levier sur les financements publics. Elles acceptent ainsi de financer un opérateur privé :

- s'il s'engage à **multiplier et à exploiter les infrastructures** installées ;
- à travers les instruments financiers classiques : **prêts concessionnels non souverains mais aussi, de plus en plus fréquemment, dons** (cf. encadré).

Cette évolution récente, qui permet de concevoir de nouvelles modalités de financement de projets d'infrastructures publiques en général, bénéficie à l'ERD par énergies renouvelables (principalement solaire, hydraulique ou hybride).

Avec ce soutien additionnel, les opérateurs privés sont plus à même de concevoir des montages financiers équilibrés qui leur permettent à la fois :

- **de délivrer des services électriques** adaptés au milieu rural ;
- **et de renforcer la viabilité économique** de leurs activités.

La rentabilité d'un système électrique étant faible (capacité contributive des usagers très limitée), et le retour sur investissement long (durée des concessions de vingt ans), l'analyse du financement et le montage financier des projets sont déterminants et les ressources utilisées doivent être adaptées à ce type d'opérations (crédits long terme, éléments dons).

Pour dégager une rentabilité, plusieurs conditions doivent être réunies :

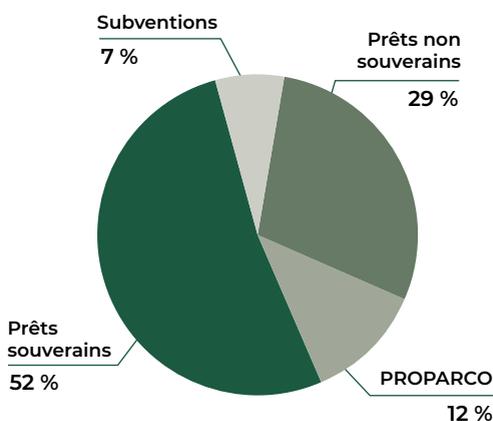
- **la taille des unités de production** doit être déterminée en considérant la capacité des abonnés, c'est-à-dire leur capacité contributive objective mais aussi leur volonté de payer leurs consommations selon la tarification convenue ;



Les acteurs privés représentent environ 20 % des engagements 2012-2017 de l'Agence française de développement,

qui a annoncé que cette part était amenée à croître.

Répartition par outils financiers des engagements du groupe AFD sur l'énergie en Afrique sur la période 2012-2015 (total : 3,5 Md €)



Source : AFD, « Accélérer la transition énergétique en Afrique » (Paris, 2016), 3.



Exemple de don ayant bénéficié à un opérateur privé : la Facilité d'énergie propre hors réseau (Off-Grid Clean Energy Facility, OCEF) au Bénin

La Facilité d'énergie propre hors réseau (OCEF), mise en place dans le cadre d'un accord de don signé en 2015 entre les gouvernements des États-Unis et du Bénin, est un **mécanisme d'appui financier par appel à concurrence destiné aux promoteurs de projets d'électrification hors réseau**.

L'OCEF vise à accroître l'accès à l'électricité pour la majorité de la population actuellement non desservie dans les zones rurales et périurbaines, en réduisant les coûts initiaux de raccordement et les obstacles à l'investissement dans le secteur de l'énergie électrique. Elle recherche un effet multiplicateur grâce à des partenariats avec des entreprises privées, des ONG, des communautés et autres structures qui proposent des solutions (commerciallement) viables hors réseau et des alternatives énergétiques propres adaptées à la réalité du Bénin.

La contribution financière fournie par l'OCEF est un co-investissement qui sert à augmenter la rentabilité de l'activité à un niveau acceptable pour l'investisseur et pour l'OCEF. Chaque demande soumise est jugée sur son plan d'affaires et son plan financier. Le soumissionnaire doit apporter une contribution minimum de 25 % des investissements totaux du projet. Cette contribution peut être constituée de fonds propres, de contributions financières d'un partenaire ou d'un autre bailleur de fonds, d'un crédit bancaire et/ou d'une valorisation d'apport en nature. Il est recommandé que les entités commerciales ciblent une contribution propre d'au moins 50 %.

L'enveloppe disponible pour le dernier appel à projets, datant de novembre 2018, était de 20 millions de dollars US.

- **la tarification du service** doit inclure les charges récurrentes de gestion et de maintenance, le renouvellement des équipements à durée de vie moyenne (les batteries, régulateurs et groupe électrogène) ainsi que l'amortissement des équipements et du réseau, le coût des couvertures de risques et assurances, le coût des remboursements d'emprunts, du capital et la marge ;
 - **le phasage des opérations** doit idéalement s'inscrire dans une programmation et viser à terme une couverture géographique permettant d'atteindre un nombre suffisant d'utilisateurs allant, selon les leçons de l'expérience, de 10 000 à 30 000 raccordements ;
 - **l'exploitation** doit être assurée par un ou plusieurs opérateurs dotés d'une autonomie de gestion adaptée au caractère rural des projets (enclavement, satellisation des unités de production, etc.).
- Cependant, peu d'acteurs locaux sont capables aujourd'hui de cette autonomie : très rares sont ceux qui ont l'expérience de terrain requise

(exploitation de plusieurs systèmes ruraux en parallèle). Ce qui amène certains opérateurs à tenter des solutions sans intervention humaine et déplaçables en cas d'extension du réseau interconnecté ou d'échec dans une localité (solutions containerisées).

Ces conditions étant connues, c'est à partir d'un plan d'affaires, ou *business plan*, qu'un dossier de financement pourra être élaboré et soumis aux différents partenaires financiers pressentis pour le projet.



L'équipe exploitante et comptable, élément clé de la gestion des installations.

Le plan d'affaires, document de référence pour la décision de financement.

Il inclut une analyse précise des événements qui peuvent survenir pendant la durée du remboursement (calée sur celle des infrastructures et prévue généralement sur quinze à trente ans), et une étude de sensibilité qui montre sa robustesse (cf. encadré).

Fondé sur les résultats des études réalisées en amont du projet pour collecter des informations détaillées et quantifiées sur tous les aspects de ce dernier, le plan d'affaires permet :

- de mettre en cohérence tous les éléments constitutifs d'un projet ;
- d'identifier les facteurs de risque et les mesures adaptées de maîtrise ;
- de déterminer les indicateurs à suivre pour évaluer la performance après la mise en œuvre du projet.

En électrification rurale, et plus particulièrement dans sa modalité décentralisée, élaborer un plan d'affaires équilibré, voire dégageant un autofinancement après paiement de toutes les charges et couverture des risques inhérents à ce secteur, est un exercice indispensable, mais particulièrement difficile.



L'étude de sensibilité : tester la robustesse du *business plan*

L'analyse financière est incontournable ; son insuffisance est souvent la cause de l'échec des projets. Elle est traduite dans un outil, le plan d'affaires (ou *business plan*), et ses différentes composantes, telles que les études de sensibilité et l'analyse de risques.

Une fois que le plan d'affaires est établi en tenant compte des objectifs des différents protagonistes, il doit être soumis à une série de tests ou « étude de sensibilité », portant sur certains facteurs difficilement prévisibles, comme le nombre d'utilisateurs, le tarif acceptable, la durée de la montée en puissance du projet, la durée de vie des principaux composants.

L'étude de sensibilité permet de définir les éventuels palliatifs pour conforter la pérennité du projet et sa rentabilité ainsi que d'affiner les indicateurs de suivi de performance (risques/opportunités à surveiller).

Les risques pesant sur la viabilité économique des projets d'accès à l'électricité en milieu rural.

Plusieurs facteurs ont un rôle prépondérant dans la constitution d'un plan d'affaires, et les études de sensibilité montrent, comme l'indiquent les schémas suivants, combien leurs variations sur les produits comme sur les charges peuvent affecter les résultats.

Sur les produits :

- **l'atteinte du taux de desserte** escompté, au fur et à mesure des années, aura un impact décisif sur la participation des abonnés à l'investissement des interfaces et sur la quantité d'électricité vendue ;
- **le paiement effectif de la quantité d'électricité vendue** ou, en cas de prépaiement, la propension à payer la quantité d'électricité escomptée, aura un impact sur le volume des produits collectés ;

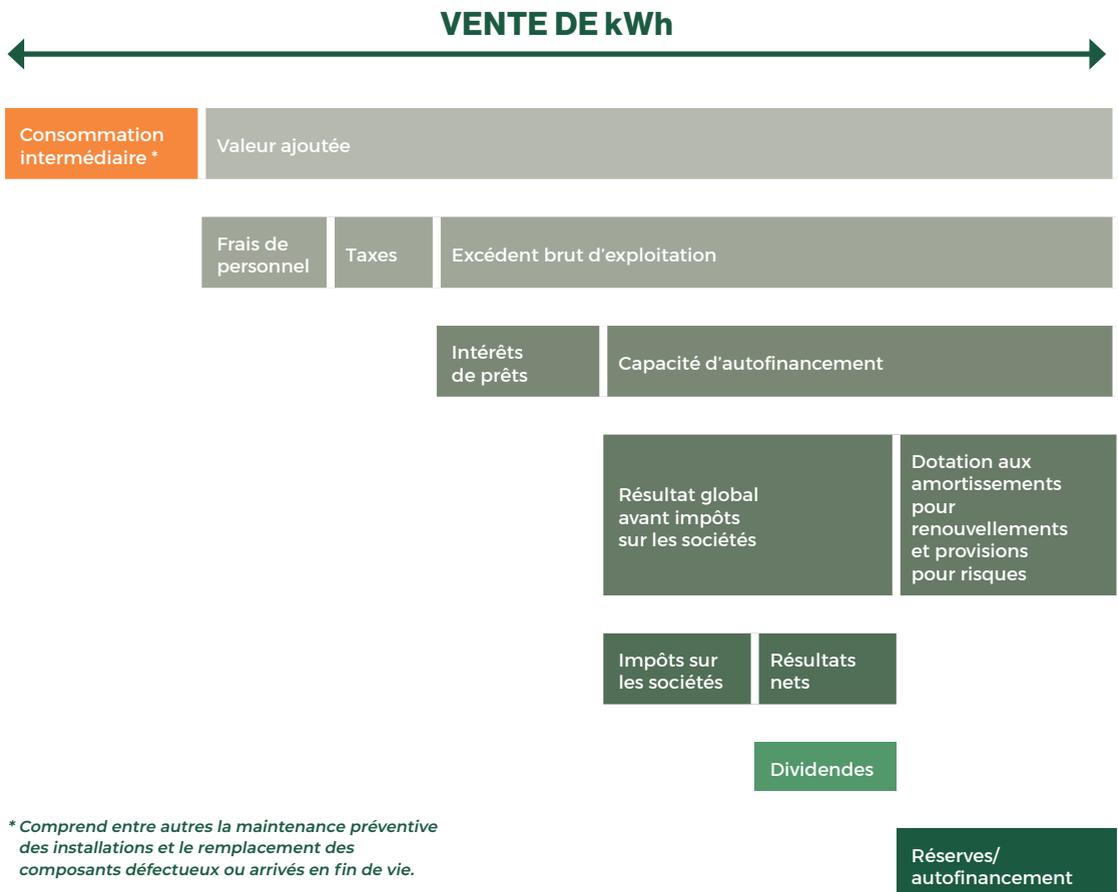
- **le bon fonctionnement des équipements**, dont il est prouvé qu'une panne affecte significativement la confiance des abonnés dans la fiabilité du système.

Sur les charges :

- **le respect des coûts d'exploitation**, et en particulier de celui des déplacements (par exemple : coût de réparation des véhicules) ;
- **la tenue des performances des batteries** telles qu'escomptées : ces équipements représentent approximativement la moitié du montant d'investissement du poste production.

C'est donc dans la maîtrise de ces facteurs, intimement liée à la connaissance du contexte local, de son histoire, de l'économie locale et des rapports humains, qu'un plan d'affaires réaliste peut s'élaborer.

Structure des coûts d'exploitation d'un système électrique



Source : Fondation Energies pour le Monde.

Les projets d'ERD présentent souvent des niveaux de risque susceptibles de faire renoncer nombre d'investisseurs et d'opérateurs. Les principaux risques sont les suivants :

- **les risques commerciaux** : surestimation du marché en volume ou en vitesse de croissance, surestimation de la capacité contributive ou de la volonté de payer des usagers équipés, sous-estimation des coûts d'exploitation ;

- **les risques politiques** : non-respect, rupture ou application tendancieuse du contrat de concession (fait du prince), mobilisation insuffisante des ressources financières aux différents niveaux territoriaux (États, provinces, municipalités), non-paiement des usagers publics (écoles, centres de santé, etc.), évolution réglementaire défavorable sur les transferts de fonds à l'extérieur du pays ou la convertibilité des devises locales,

risques de guerre et troubles civils ;

- **les risques techniques** : rythme d'installation non respecté, erreur d'appréciation des probabilités de défaillance technique sur le parc d'équipements, mauvaise utilisation des équipements par les usagers, vol ou vandalisme, détérioration des matériels liée à un événement naturel ou accidentel (incendie) ;
- **les risques socio-économiques et culturels** : contestation ou remise en cause des modalités proposées par les usagers, crise économique régionale affectant gravement les capacités de paiement et/ou induisant des départs en nombre.

L'opérateur peut recourir à quelques mécanismes de transfert ou de couverture de certains de ces risques. Cependant, assurances et garanties induisent des charges d'exploitation qui pénalisent la rentabilité de l'activité.

Ces facteurs de complexité, de renchérissement et de vulnérabilité des projets sont indissociables du contexte dans lequel l'ERD s'insère. Les bailleurs en prennent acte, pour permettre la réalisation des bénéfices sociaux et environnementaux liés à l'électrification d'un territoire.

Le tableau infra dresse un inventaire non exhaustif des bailleurs et agences de développement impliqués dans des projets d'accès à l'électricité en milieu rural, ainsi que leurs modalités d'intervention :

Peut-on financer le changement d'échelle qui est nécessaire ?

Comme évoqué en introduction de cet ouvrage et rappelé au début de ce chapitre, le développement de l'Afrique subsaharienne passe par son développement rural inclusif, et donc par une action ambitieuse d'électrification des territoires ruraux, bien plus ambitieuse que l'action actuelle.

Les mécanismes traditionnels de financement ont atteint leurs limites.

Les interventions des bailleurs de fonds telles que décrites précédemment ne permettent pas de réaliser le changement d'échelle susceptible de satisfaire aux objectifs fixés dans le cadre des ODD ou de l'initiative SE4ALL des Nations unies. Entre 2000 et 2015, la Banque mondiale a financé des programmes de grande envergure (Sénégal, Mali) qui n'ont pu être réalisés dans leur intégralité au rythme prévu, montrant ainsi les limites de ce type de stratégie.

En parallèle, les programmes de plus petite envergure (300 000 à 1 million d'euros selon la taille des localités et la morphologie sociospatiale du territoire) souffrent d'un manque de financement. Et cela pour plusieurs raisons (dont la plupart ont déjà été évoquées mais qu'il est sans doute utile de rassembler ici) :

- les projets d'accès à l'électricité en mode décentralisé d'une localité sont de taille réduite, au regard des montants que les agences de développement ont l'habitude de manier. Ils engendrent donc pour elles des coûts fixes proportionnellement lourds ;



L'enjeu principal des acteurs financiers est d'évaluer le niveau de risque de leurs investissements au vu des aléas géopolitiques encore très importants dans de nombreuses régions. Par ailleurs, les possibilités de réduire leur risque en diversifiant leurs actifs sont aujourd'hui limitées par le nombre restreint de projets.

Institut Choiseul, « Afrique, les acteurs clés de l'énergie » (Paris, 2017).



A qui s'adresser pour financer un projet d'ERD ? Les bailleurs et leurs offres financières mobilisables sur l'électrification

Type de bailleurs	Multilatéraux Bilatéraux	Instruments financiers proposés
« Donneurs »	PNUD, UE... GIZ, DFID, USAID	Subventions
Institutions financières internationales (IFI, banques de dével- oppement)	Banque Mondiale, BAD, BEI... AFD, KFW, JICA...	Prêts souverains/ non souverains concessionnels Prêts propres du marché Subventions d'appui (études, assistance technique, pilotes...)
Banques filiales des IFI (DFI, <i>dev. financial instit.</i>)	SFI... Proparco, DEG, FMO...	Prêts aux conditions du marché Participations (<i>equities</i>)
Banques ou fonds privés d'investissement	Internationales Locales	Prêts aux conditions du marché Participations (<i>equities</i>)

Source : Fondation Énergies pour le Monde



Le soutien de l'Agence française de développement à l'électrification rurale

L'ERD devient significative en montants d'octrois à partir de 2013, avec en moyenne 35 M€/an financés sur l'ERD depuis six ans.

- En moyenne chaque année 8 ou 9 projets par an sont engagés depuis 2013, avec une progression sensible de l'ERD (5 à 6 projets en moyenne par an).
- « Electrification en Réseau » (ER) et ERD confondus, les octrois de l'AFD sont en moyenne de 180 M€/an sur 2016-2018, dont 70% en Afrique subsaharienne.
- Entre 2016 et 2018, les moyennes d'octrois sur l'ER sont de l'ordre de 40 M€/projet, alors que pour les projets d'ERD, elles sont de 6 à 7 M€ .
- Majoritairement sur extension de réseau et raccordements, surtout avec des sociétés nationales d'électricité
- Principalement sous forme de prêts souverains rétrocédés avec, sur certains projets, une subvention d'appui de l'Union européenne.

Priorités d'intervention dans l'ERD :

- Zones cibles : Afrique subsaharienne, quelques pays d'Asie
- Accent mis sur le hors réseau articulé avec le réseau interconnecté et la construction de politiques publiques
- Programmes d'équipements PV individuels en pay-as-you-go
- Transformation/déploiement des miniréseaux (PV notamment)
- Programme multimodaux d'électrification, avec assistance institutionnelle et technique et appui « politique publique » (programmations opérationnelles, études tarifaires, cadres réglementaires, etc.)

Les instruments disponibles :

Combinaison des outils financiers selon la demande : prêts directs (souverains, non souverains, privés), lignes dédiées, subventions d'assistance technique ou en soutien à l'innovation, etc.

Source : Christian de Gromard, « Structuration des investissements et outils de financement de l'accès à l'énergie » (Conférence, 22 mai 2018).

- leurs coûts de transaction, c'est-à-dire d'instruction puis de suivi des dossiers, ne permettent pas aux bailleurs de s'engager dans de tels projets à des conditions qu'ils jugent favorables ;
- la standardisation des projets, nécessaire pour pouvoir les agréger au sein d'un seul programme au montant compatible avec les critères des bailleurs, s'avère à ce jour impossible au regard de la diversité des contextes et du manque d'harmonisation des critères au niveau des financeurs ;
- le contexte des pays d'Afrique subsaharienne, marqué par des crises récurrentes, est porteur de risques importants qu'aucun mécanisme de garantie ne permet encore de couvrir¹.

Dans cette situation, entre des Etats aux ressources limitées, des agences de développement frileuses et des opérateurs privés liés par des critères de rentabilité, la majorité des populations rurales subsahariennes ne peut espérer disposer d'un service d'électrification dans un avenir proche.

Pour des raisons d'appropriation pérenne et de logique de gestion, le financement de l'ERD devrait idéalement prioriser la mobilisation de ressources nationales, avant de recourir aux fonds internationaux, devenus auxiliaires. Mais cette perspective semble peu réaliste :

- malgré l'existence de certains mécanismes de taxation sur les consommations, les ressources propres restent très limitées dans les pays concernés (cf. encadrés) ;
- **les banques commerciales des pays d'intervention** ont été interpellées. Mais, encore peu expérimentées dans un domaine innovant et complexe, elles ne sont pas aujourd'hui à même de proposer des solutions adéquates ; elles sont sans doute pourtant les mieux placées pour appréhender les contextes et les risques locaux.

Adossées à des partenaires internationaux, elles

auraient pourtant, par leur proximité avec les acteurs locaux et leur connaissance du contexte, un rôle privilégié à jouer dans la banalisation de l'accès à l'électricité en milieu rural².

Alors, qui d'autre pour financer des programmes d'ERD ayant l'envergure nécessaire ?

Au même titre que les dons et subventions ont anticipé l'intervention des organismes financiers de l'aide au développement, de nouvelles formes de financement et/ou de nouveaux acteurs émergent à leur tour. Les spécificités et les externalités positives de l'ERD favorisent de nouvelles formes de financement. Sans contribuer à la totalité d'un investissement, elles viennent y participer, selon leur taille et leurs caractéristiques, de façon significative.

La coopération décentralisée fait particulièrement sens pour la mise en œuvre de projets d'ERD : l'impulsion de la collectivité du Sud est accompagnée par les moyens de la collectivité du Nord. Les politiques internationales des grandes collectivités françaises (régions notamment) sont également des tremplins pour l'accompagnement des entreprises locales du secteur énergétique à l'export. Les initiatives lancées en 2019 par les régions Nouvelle-Aquitaine et Hauts-de-France en sont deux exemples.

1. Nergis Gülasan et Gail Hurley, « Financer le développement avec des ressources nationales », ID4D, 2015, <https://ideas4development.org/financer-le-developpement-par-une-meilleure-mobilisation-des-ressources-nationales/>.

2. C'est le sens du projet de la Banque Attijari cité par Lionel Zinsou en avant-propos de cet ouvrage et dont les résultats apporteront sans doute des éléments de capitalisation intéressants



Parole de professionnel Olivier Oriol

Quels sont les obstacles que vous rencontrez pour pénétrer le vaste marché africain de l'électrification rurale, actuellement en pleine mutation ?

« Le manque d'uniformisation de l'électrification rurale est l'une des plus grosses difficultés aujourd'hui. Le fait que chaque pays ou chaque bailleur de fonds impose ses propres spécifications techniques sur chaque projet ne nous donne pas de visibilité pour développer des produits répondant à un besoin homogène. De plus, certains financements ne nous donnent pas la possibilité de participer à des projets, ce qui limite notre champ d'action. »

Olivier Oriol, spécialiste des pays en développement depuis dix ans, travaille actuellement sur les thématiques de l'accès à l'énergie en milieu rural en Afrique ; il est responsable Afrique chez Michaud Export.

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

Difficile cependant de lire l'avenir de la coopération décentralisée à la française en matière d'ERD. Ce mécanisme en est encore à ses prémises (exemple : dispositif FICOL supervisé par l'AFD, dont les premiers projets démarrent à l'heure où l'ouvrage est écrit).

Les financements environnementaux constituent un potentiel relais des financements dédiés à l'accès à l'électricité. Le faible impact des infrastructures d'ERD sur l'environnement grâce à la promotion des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique favorise une intervention des organismes impliqués dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre. A titre d'exemple, le Fonds pour l'environnement mondial (FEM) et le Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM) peuvent accorder des subventions en complément d'autres sources financières (cf. encadré). Ces fonds ne sont pas spécifiquement dédiés à l'accès à l'électricité.

Les fonds d'impact (*impact investment funds*) s'intéressent de plus en plus près aux initiatives d'accès à l'énergie, au-delà de celles qui relèvent d'une approche libérale. Les externalités positives sociales, économiques et environnementales liées aux projets d'électrification rurale hors réseau favorisent l'intervention d'une nouvelle génération d'investisseurs. A l'inverse des bailleurs conventionnels, les investisseurs d'impact soutiennent les projets au-delà du simple financement, en vue de leur aboutissement, jusqu'à la vérification des impacts.

Il n'en reste pas moins que les projets d'électrification décentralisée, pour lesquels les études d'impact sont rares, se plient difficilement à une évaluation quantitative (cf. encadré), ce qui risque de limiter la capacité d'intervention de ces investisseurs.



Le soutien du Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM)

Le mandat du FFEM lui confère un double objectif de préservation de l'environnement et de développement durable. Sa mission est de financer des projets répondant aux enjeux environnementaux mondiaux dans les pays en développement, ainsi que de tester des solutions et capitaliser leurs enseignements afin de contribuer à leur diffusion.

Volume de financement (2017) :

2527 k€ alloués à la transition énergétique (soit environ 20 % des engagements annuels), dont :

- 500 k€ pour un projet de lampadaires solaires connectés au Sénégal ;
- 400 k€ pour un projet de centrales photovoltaïques en autoconsommation en secteur industriel ;
- 390 k€ pour l'industrialisation durable de la fabrication de lampes solaires (Bénin, Burkina Faso, Mali, Sénégal) ;
- 574 k€ pour réduire les impacts environnementaux des filières de distillation d'huile essentielle d'ylang-ylang ;
- des usages économiques liés à l'accès à l'électricité en milieu rural au Vanuatu et en Indonésie.

Orientations stratégiques :

- la nouvelle stratégie 2019-2022 a établi les nouvelles priorités du Fonds.

Une des cinq nouvelles thématiques, transition énergétique et villes résilientes, cible en particulier trois nouveaux défis : l'adaptation des villes au changement climatique et risques naturels, la sobriété en carbone et l'efficacité énergétique, les nouvelles technologies pour la gestion des systèmes énergétiques ;

- une attention particulière est portée aux outils d'innovation : technologiques, numériques, solutions fondées sur la nature, l'innovation frugale, l'approche One Health.

Priorité d'intervention :

- zones cibles : Afrique (77 % des projets octroyés en 2017), Moyen-Orient, Amérique latine, Asie centrale, Asie du Sud-Ouest ;
- priorité donnée aux projets permettant un « accès durable et abordable à l'énergie pour tous et qui favorisent les énergies renouvelables dans la production énergétique » ;
- soutien aux projets qui s'inscrivent dans un cadre stratégique local, adaptés aux contextes locaux.

Les instruments disponibles :

- le FFEM contribue aux projets par des subventions ou contributions en nature. Les taux de cofinancement maximum sont de 30 % (50 % pour les projets très innovants) pour des montants

situés entre 0,5 et 2 millions d'euros :

- appels à projets,
- programme de petites initiatives (PPI) : structuration de nouveaux acteurs de la société civile du Sud (depuis 2006, 200 projets soutenus) ;
- soutien au secteur privé :
- Facilité d'innovation pour le secteur privé (FISP) : contribution par l'intermédiaire de dons ou d'avances remboursables.

Sources : FFEM, « Stratégie 2019-2022 » (Paris : Fonds français pour l'environnement mondial, 2019).

FFEM, « Rapport annuel 2017 » (Paris : Fonds français pour l'environnement mondial, 2018).

Par ailleurs, le ROI attendu par ces derniers n'est pas nécessairement aligné sur le temps long qui est nécessaire pour mesurer les effets de l'arrivée de l'électricité sur le développement local en milieu rural.

Les entreprises sont également sensibles à ces externalités positives. Elles sont la clé de participations diverses issues de mécénats ou de fondations que les entreprises créent dans le cadre de leur politique de RSE (responsabilité sociétale des entreprises) ou d'« engagement sociétal ». Une des pistes consiste notamment à développer des interventions conjointes avec les ONG pour développer les usages productifs dans les communautés accueillant leurs opérations et renforcer les chaînes de valeur liées à leurs activités grâce à l'électrification. Les secteurs de l'agroalimentaire, de l'industrie pharmaceutique, des réseaux et de la réalisation d'infrastructures sont directement concernés. Le secteur financier, et notamment les assureurs et réassureurs, qui font face à des risques financiers majeurs en cas d'insuffisance de la lutte contre les changements climatiques, ont également intérêt à soutenir la massification de l'électrification par énergies renouvelables dans les pays émergents et en développement.

Les diasporas s'inscrivent souvent dans une dynamique de développement local et pallient les déficiences de l'Etat, en finançant l'accès à l'eau, à l'éducation ou à la santé. A ce titre, l'ERD est en mesure d'impliquer les ressortissants des localités à électrifier installés hors du pays.

Leurs membres peuvent contribuer, en numéraire, mais aussi en assistance, au montage des dossiers pour faciliter une électrification locale. Au cours de l'année 2017, la contribution de la diaspora africaine a représenté 65 milliards de dollars (58 Mds €), soit plus du double de l'aide publique au développement, qui s'élevait à 29 milliards de dollars (26 Mds €)¹. Les deux tiers de ces fonds sont utilisés comme filet de sécurité sociale et contribuent à pallier les besoins quotidiens de financement. Dans certains pays, tels la Gambie et les Comores, la contribution de la diaspora peut s'élever à hauteur de 20 % du PIB national².

1. African Institute for Remittances, « Progress report on the African Institute for Remittances » (Nairobi, 2018),

2. Banque mondiale, « Migration and Remittances: Recent Developments and Outlook - Transit Migration » (Washington, D.C, 2018), 24.

Enfin, le financement participatif ne peut être totalement écarté du panorama des nouvelles formes de financement. Il semble possible même pour des projets d'envergure, bien au-delà du spectre habituel des opérations de *crowdfunding*, qui permettent à des associations de faire appel à la générosité du public pour des montants modestes. L'opérateur BBOXX a ainsi récemment levé 6 millions d'euros³ dans le cadre d'une opération de *crowdfunding*. Dans ce cas spécifique, le dispositif mis en place ressemble à une tournée d'investisseurs classique ; par ailleurs, on peut s'interroger sur la compatibilité de la rémunération servie aux prêteurs (jusqu'à 11 %) avec le statut d'entreprise sociale affiché par cet acteur du PAYG.

Ce panorama succinct du financement de l'accès à l'électricité par solutions renouvelables et décentralisées montre qu'il reste plusieurs obstacles à surmonter pour réussir un réel changement d'échelle.

Depuis les années 90, de multiples travaux ciblés sur des approches innovantes de financement ont déjà été entrepris (principalement à l'initiative de l'Union européenne et de la Banque mondiale), sans résultats tangibles rapides.

Si les évolutions technologiques ont fourni un terrain favorable, l'urgence politique favorisera peut-être la levée des derniers verrous du financement d'une électrification de l'Afrique rurale qui soit réellement inclusive et pensée pour une communauté et non pour des individus.



Peut-on évaluer les impacts de l'électrification sur le développement local ?

La réponse à cette question essentielle n'est pas aisée, car les études d'impacts ne sont pas légion, sauf pour les picosolutions, plus faciles à jauger. L'évaluation des actions de terrain révèle le plus souvent des résultats « globalement encourageants » pour la majorité des solutions pico/micro/mini, même si les informations restent souvent qualitatives. La quantification des retombées requiert toujours beaucoup de précautions.

Beaucoup d'externalités sont indirectes, intangibles et à long terme. Citons-en certaines indirectes, identifiées lors de diverses enquêtes Hystra (2017) : des économies effectuées sur les achats de combustibles (qui peuvent atteindre 10 % du revenu annuel), des compléments de revenus apportés par le travail nocturne, un gain d'une heure supplémentaire de devoirs scolaires par jour, enfin l'amélioration de la socialisation et du bien-être général.

Source : Pierre Jacquemot et Marie-Noëlle Reboulet, « Options technologiques et modèles d'organisation de l'électrification rurale en Afrique », *Afrique Contemporaine* 1-2, n° 261-262 (2017) : 179.

3. « BBOXX receives largest crowd-funded debt raise », BBOXX, 2019, <https://www.bboxx.co.uk/bboxx-receives-largest-crowd-funded-debt-raise-history-solar-africa/>.



Parole de professionnel Guilhem Dupuy

Selon vous, est-il possible de développer des projets d'électrification rurale économiquement viables sans renoncer à l'impact social ?

Il doit y avoir un vrai débat philosophique. Nulle part l'électrification des plus pauvres ne s'est faite par la seule contribution des populations locales. Il faut qu'il y ait des programmes subventionnés. La rentabilité de court terme n'est pas le bon angle d'analyse pour l'électrification rurale.

L'impact social des opérations réalisées par la plupart des entreprises privées, consistant à distribuer des SSI, est insuffisant. Certains entrepreneurs du solaire ayant des activités rentables en zone urbaine/périurbaine utilisent une partie de leurs bénéfices pour financer des opérations en milieu rural, à titre social, sans dégager de marge, voire en y perdant un peu.

A votre avis, les ONG peuvent-elles aider le secteur privé à trouver le point d'équilibre ?

La communauté des impact investors se pose la question des usages productifs depuis plusieurs années car la distribution des systèmes doit permettre l'amélioration des revenus des populations, la création d'emplois. Mais le sujet est complexe : il faut proposer des systèmes plus gros (donc plus chers à l'investissement), interagir avec les professions, expliquer les atouts du solaire, proposer les équipements d'usage (pompage, moulins, etc.), apporter un SAV de qualité pour une réparation rapide sur l'ensemble du système, garder une forte relation au client...

Dès lors, le retour d'expérience des ONG sur l'ingénierie sociale est essentiel, notamment pour former des utilisateurs à la transformation des productions agricoles ou structurer une filière avec une composante énergétique, même si certaines chaînes de valeur sont complexes (biomasse). Il faut donc construire des modèles d'action coordonnée entre entreprises et ONG sur les usages productifs. Les entreprises y ont un intérêt économique.

Guilhem DUPUY, 34 ans, ancien élève de l'Ecole Normale Supérieure, diplômé en économie, statistiques et sociologie, occupe les fonctions de directeur d'investissement chez Gaia Impact Fund. Il a travaillé pour Ecofi et au Crédit Coopératif, où il a contribué à la structuration du secteur de la finance d'impact.

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



Parole de professionnel Rodolphe Rosier

Pensez-vous que la diaspora peut être une cible commerciale importante pour le déploiement de vos systèmes ?

« Oui, il existe de fortes attentes des personnes issues de la diaspora et vivant en France pour aider les membres de leur famille restés au pays, en Afrique. Nous avons lancé mi-juillet une première offre autour de 10 € par mois sur une durée de trois ans. Elle visait à pallier un manque sur le marché et elle a connu un bon démarrage. Néanmoins, notre axe principal de développement reste la commercialisation de nos SHS directement en Afrique de l'Ouest, où nos partenaires nous font bénéficier de leur implantation et de leurs réseaux. »

Rodolphe Rosier, ingénieur et docteur en management de formation, a travaillé dans le secteur de l'énergie pendant quinze ans ; il a fondé la start-up OniriQ en décembre 2016 avec Mohamed Sarr et Michael Hernandez.

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

En conclusion, l'ensemble des ruptures qui traversent le secteur de l'ERD élargissent la palette d'outils techniques propices au changement d'échelle. Par ailleurs, la tendance générale permet d'être optimiste quant à la capacité à financer ce changement d'échelle, même si les financeurs doivent rapidement trouver des solutions plus adaptées aux projets de taille intermédiaire.

Cela ne doit néanmoins pas faire oublier certaines contraintes opérationnelles, qui sont structurelles de l'ERD et doivent être prises en compte, quels que soient les projets. ●

.....

« Si l'argent et le financement ne sont pas disponibles, il nous sera très difficile de tirer parti des multiples avantages offerts par les miniréseaux. La réalisation de l'ODD 7 – l'accès universel à l'électricité d'ici 2030 – dépend principalement de la capacité à débloquer des flux de capitaux à des échelles plus importantes dans ce secteur. Nous ne pourrions pas y arriver sans résoudre le défi posé par la finance. »

Alexia Kelly, experte en finance climatique et coprésidente du groupe de travail Finance du partenariat mondial pour les stratégies de développement à faibles émissions (LEDS GP)¹.

1. Citée par Charlie Zajicek, « How solar mini-grids can bring cheap, green electricity to rural Africa », Overseas Development Institute, 2019, <https://www.odi.org/blogs/10730-how-solar-mini-grids-can-bring-cheap-green-electricity-rural-africa>.

.....

2.4.

Les facteurs-clés de succès d'un projet d'électrification rurale décentralisée demeurent inchangés.

Au-delà des évolutions techniques et des incertitudes qui viennent d'être évoquées, l'objectif fondamental de l'ERD reste de fournir un service électrique durable et accessible au plus grand nombre. C'est le cap. Mais sur un plan plus opérationnel, quels sont les points de repère méthodologiques utiles pour les praticiens ? L'Afrique subsaharienne est un ensemble de 49 pays extrêmement différents par leur histoire, leur culture, leur géographie, mais aussi par leurs structures institutionnelles et administratives. Pourtant, les expériences qui y sont menées depuis près de cinquante ans permettent de circonscrire des points communs déterminants pour réussir la mise en œuvre d'un projet d'ERD.

Toutes se rejoignent dans un même constat : le facteur humain est décisif. La pérennité du service est très dépendante de son acceptation puis de son appropriation par la population et les autorités locales. Or, cette appropriation est la condition sine qua non de l'impact social et économique positif de l'arrivée de l'électricité.

L'expérience recense quatre types de contraintes, qui transcendent les géographies et les évolutions techniques, et donc quatre champs déterminants de compétences pour les porteurs de projets d'ERD (à tout le moins ceux qui veulent servir l'accès à l'électricité à long terme, et non seulement exploiter une opportunité de marché à court terme) :

- parce que la mise en œuvre de projets d'ERD se caractérise d'abord par des schémas d'acteurs plus ou moins complexes suivant le type de schéma d'électrification, la réussite d'un projet dépend aussi de la qualité de l'orchestration des parties prenantes (2.4.1.) ;
- parce que l'accès à l'électricité est loin d'être seulement une question technologique, les retours d'expérience conduisent ensuite à privilégier une approche sociologique patiente et la mise en place de budgets spécifiques pour pouvoir assurer l'ensemble des activités de sensibilisation, d'accompagnement de médiation nécessaires avant, pendant et après la mise en place du service (2.4.2.) ;
- parce que le secteur fait face à plusieurs problématiques persistantes de qualité des produits et de capacité d'entretien et de maintenance des installations, le projet doit anticiper, dès sa conception, les facteurs de déshérence des équipements après installation (2.4.3.) ;
- parce que, quelle que soit la solution, l'électricité suppose des investissements de la part de l'opérateur et une contribution de l'utilisateur pour accéder à un service pérenne, la tarification est un élément-clé du modèle économique d'un service électrique (2.4.4.).

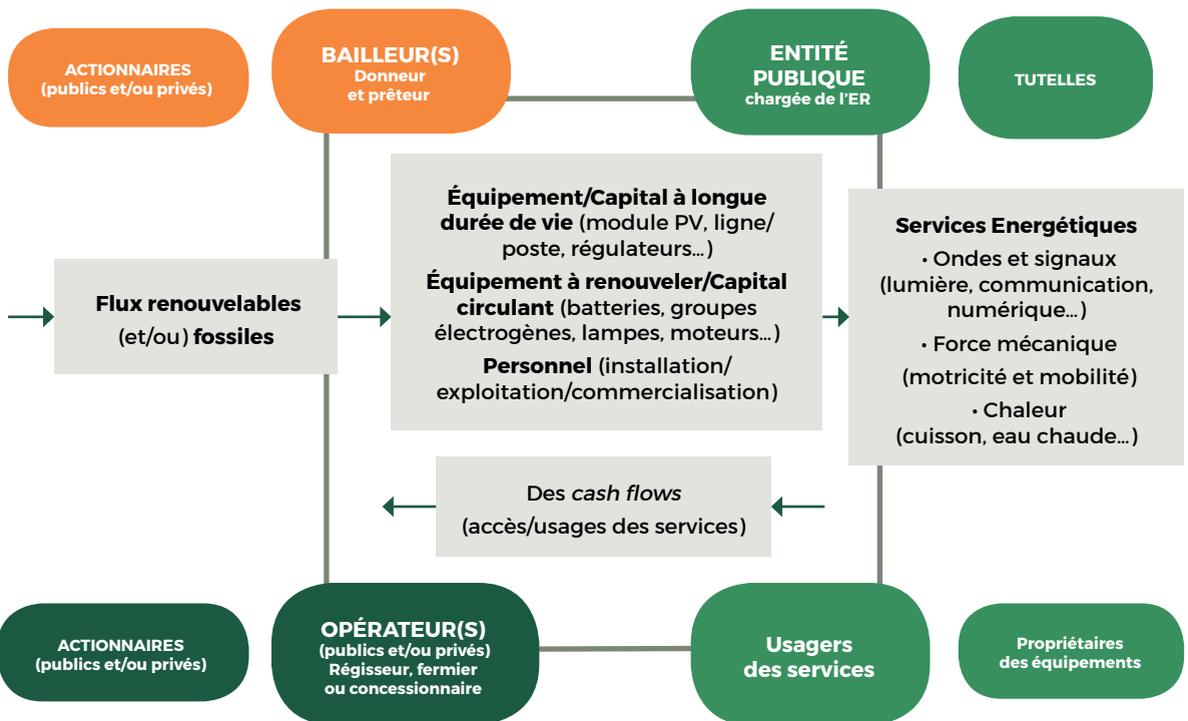
2.4.1.

Construire un écosystème d'acteurs qui devienne in fine autonome n'est pas si simple.

Aujourd'hui, grâce à l'utilisation des énergies renouvelables, les conditions de développement de l'électrification rurale décentralisée sont réunies sur les plans technique et environnemental. Mais ce n'est pas suffisant.

Quel que soit le système installé, il faut également assurer la mise en place d'un écosystème d'acteurs qui fasse durablement fonctionner le service sur le territoire.

Schéma des acteurs de l'électrification rurale : opérateurs, usagers, bailleurs, entités publiques et porteurs de projets



Source : Christian de Gromard.



© Fondation Énergies pour le Monde

Exemple de réunion avec les institutionnels et les acteurs de terrain.



Créer un écosystème autonome grâce au renforcement des capacités des différentes parties prenantes, à tous les niveaux

Le renforcement des capacités est défini, de manière relativement consensuelle dans le domaine du développement international, comme le **processus par lequel les individus, les organisations et la collectivité dans son ensemble libèrent, créent, renforcent, adaptent et préservent, au fil des ans, leurs capacités, c'est-à-dire leur aptitude à gérer leurs affaires avec succès** (OCDE, 2008 ; PNUD, 2009). C'est un processus qui englobe une multitude d'actions et de bénéficiaires, dont l'enjeu est d'avoir un impact sur trois niveaux interdépendants (individuel, organisationnel, environnement global), afin de permettre,

à terme, l'autonomisation complète de l'écosystème local (cf. schéma).

Face au constat d'échec posé par les acteurs de la coopération internationale dans les années 90¹, cette notion est devenue une priorité majeure dans les politiques de développement ; les bailleurs de fonds privilégient une véritable implication et la responsabilisation des acteurs locaux dans la conception et la mise en œuvre des projets, qui doivent aller bien au-delà du simple renforcement de compétences « techniques ».

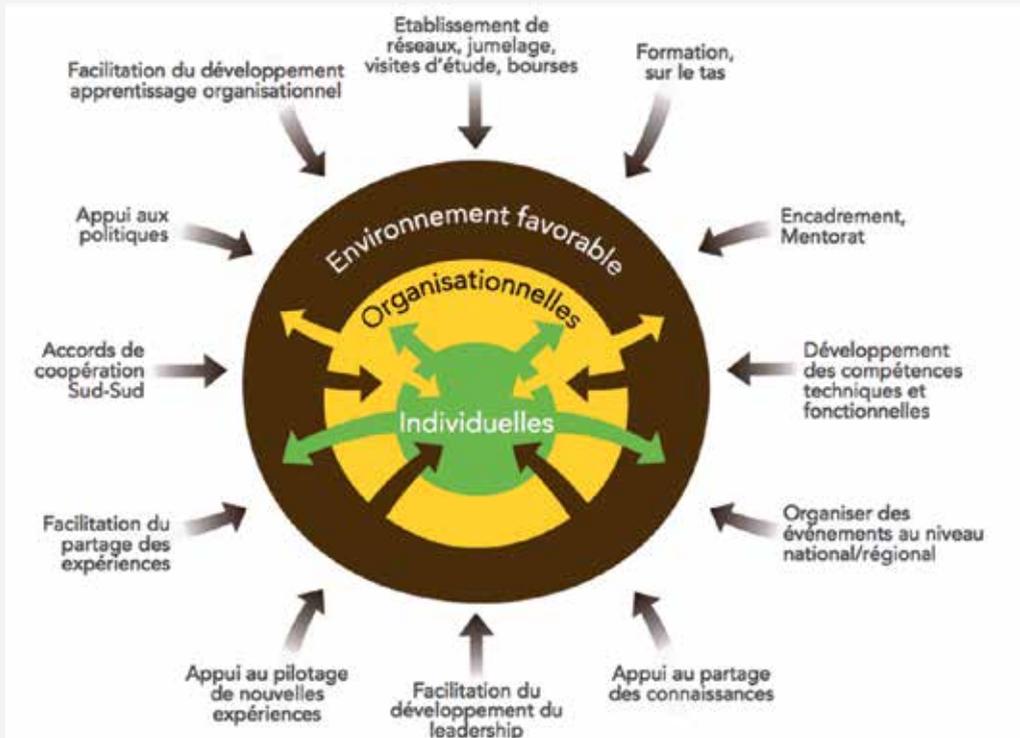
Quelques bonnes pratiques d'intervention :

1. approfondir, en amont du projet, les besoins en renforcement des capacités, avec les différents acteurs locaux ;
2. élaborer, avec les partenaires locaux, une stratégie de renforcement des capacités ;
3. diversifier les approches de renforcement des capacités : formation technique, gestion administrative et financière, mise en réseau des acteurs, appui-conseil ;
4. définir des objectifs spécifiques pour chaque type d'acteurs, à différentes échelles de temps (court, moyen et long termes), avec des indicateurs de suivi précis ;
5. allouer un budget et des ressources spécifiques pour la mise en œuvre, le suivi et l'évaluation de la stratégie.

Le développement de l'électrification décentralisée repose sur une multiplicité de solutions techniques. En Afrique subsaharienne, on retrouve derrière cette diversité les deux approches déjà évoquées (interventionniste, libérale), qui présentent chacune des schémas opérationnels et donc des univers de contraintes spécifiques dépendant de la nature et du nombre d'intérêts en présence.

L'approche interventionniste place la logique de coopération institutionnelle au cœur de la construction de la solution technique.

Avec l'approche interventionniste, qui suppose l'intervention des pouvoirs publics (notamment l'Etat) à plusieurs niveaux, l'électrification rurale



Source : FAO, « Module d'apprentissage. Renforcement des capacités – Principe de base » (Rome, 2010).

1. CDE, 1991; PNUD, 1993; ECDPM, 1992.

décentralisée est perçue comme contributrice au développement économique et social d'un territoire. Cette logique se traduit majoritairement (mais pas uniquement) par l'installation de miniréseaux locaux alimentés par leurs propres moyens de production renouvelable et proposant une tarification inclusive. Le déploiement de ce type de projets suppose de mobiliser et de fédérer un grand

nombre d'intervenants très divers afin de garantir l'amélioration des conditions de vie de la population et la viabilité du service de l'électricité :

- porteurs de projet ;
- usagers ;
- collectivités locales et territoriales les représentant ;
- opérateurs qui exploitent les infrastructures électriques ;

- fournisseurs d'équipements ;
- institutions publiques qui organisent le secteur de l'électricité et le régulent ;
- partenaires financiers.

Le niveau très différent de compréhension et de connaissance de la problématique du secteur électrique et des usages de l'électricité de ces différents acteurs, ainsi que leurs intérêts parfois divergents constituent des contraintes fortes pour développer les projets d'électrification rurale décentralisée.

Les porteurs de projets

Jusqu'à la création des agences d'électrification rurale, les porteurs de projets (ONG, collectivités locales, entreprises) apportaient les initiatives d'ERD dans les territoires. Désormais, si ces organisations peuvent, en dehors des appels d'offres ou des appels à projets, prendre elles-mêmes l'initiative de concevoir et développer un projet d'électrification sur un territoire de leur choix, elles répondent majoritairement à des appels d'offres lancés par ces agences.

Ces agences définissent les périmètres à électrifier et les objectifs de taux d'accès, et sélectionnent les projets sur la base de plusieurs critères :

- nombre d'usagers électrifiés ;
- calendrier de réalisation ;
- grille tarifaire et ses modalités d'indexation ;
- choix technologiques ;
- plan d'affaires ;
- plan de financement.

Initialement, les ministères de l'énergie, au travers de leurs directions de l'énergie, et les ONG spécialisées dans le secteur étaient les deux principaux types de porteurs de projets. Leur attention se fixait principalement sur les usages sociaux de l'électricité. Aujourd'hui, les acteurs privés les ont rejoints, ciblant, quel que soit le modèle,



Taux d'accès

Rapport entre le nombre total d'habitants (ou de foyers) sur un territoire et le nombre d'usagers (ou de foyers raccordés) du service électrique.

les utilisations de plus forte valeur d'usage : télécommunication, éclairage, télédiffusion, activités économiques.

Les usagers et leurs représentants

Destinataires de l'électrification, qui doit répondre au mieux à leurs divers besoins et attentes, c'est de leur comportement que dépendent la viabilité et la pérennité des systèmes d'électrification installés : le volume et la régularité de leurs consommations électriques et de leurs paiements sont les clés de la réussite.

Quelle que soit la catégorie d'usagers de l'électricité ou l'infinité de profils à l'intérieur de chacune d'elles, une attention toute particulière doit être apportée à leur sensibilisation et à leur information sur les utilisations possibles et les risques de l'électricité, et sur la contribution à payer pour disposer du service (cf. chapitre 2.4.2.).

Les ménages constituent la catégorie d'usagers potentiels la plus nombreuse de l'ERD ; elle se caractérise par :

- de faibles consommations (l'ordre de 4,5 à 24 kWh/mois, pour la plupart inférieures à 10 kWh /mois¹) en raison d'un usage limité : un à trois points lumineux et la recharge d'un

1. Par comparaison, la consommation mensuelle moyenne d'un foyer français était de 412 kWh en 2017 (sources : RTE et CRE) soit entre 16 à 80 fois plus.

téléphone mobile, parfois des points lumineux supplémentaires, des appareils audiovisuels et/ou de ventilation et, pour les plus aisés, des réfrigérateurs et/ou des congélateurs ;

- des types d'habitat très divers, allant de la case en parpaings et toit de chaume aux maisons en parpaings et toit de tôle ondulée, et présentant chacun des contraintes spécifiques en matière d'installation électrique intérieure et de raccordement à un éventuel miniréseau de distribution ;
- des connaissances et une compréhension en matière d'usages de l'électricité et des appareils électriques souvent très faibles, limitées à leurs représentations lors de déplacements dans les localités électrifiées les plus proches.



Usage économique de l'électricité au Sénégal (Basse-Casamance) : conservation-vente de produits frais.

Les acteurs économiques souhaitant s'électrifier sont aujourd'hui relativement peu nombreux dans les zones rurales d'Afrique subsaharienne, souvent à cause de la méconnaissance des opportunités associées et/ou du manque de capacité financière pour s'équiper et/ou du défaut d'infrastructures complémentaires (transports, accès à l'eau).

Or, la présence active de ces entrepreneurs est essentielle pour la viabilité économique d'un projet :

- ils constituent un volet important de la demande d'électricité en milieu rural, notamment pour l'exhaure de l'eau et l'irrigation, la transformation et la conservation des produits agricoles ou du bois ;
- au-delà des usages liés à l'activité agricole ou forestière, il faut considérer le potentiel de développement d'activités commerciales et artisanales que l'accès à l'électricité peut favoriser (commerces de proximité, ateliers de réparation, soudeurs, menuisiers, tailleurs, salons de coiffure, garages, etc.).

Pourtant, l'expérience montre que la transition vers l'usage de l'électricité n'est pas évidente : elle requiert sensibilisation mais aussi accompagnement pour exploiter toutes les externalités positives liées à l'arrivée de cette énergie.

Les représentants des usagers jouent un rôle essentiel, dans la mesure où la réussite des projets est aussi fondée sur la bonne compréhension des avantages et des limites du service et sur l'adhésion collective. L'implication des structures collectives ou des élus est indispensable, et le porteur de projet doit les fédérer et s'appuyer sur eux :

- les édiles et les chefferies traditionnelles sont l'un des vecteurs de transmission d'une information commune et partagée, d'une acceptation d'une électrification différente ;
- les ONG locales (ayant déjà contribué à l'appropriation d'innovations, dans les domaines

de la santé, de l'éducation, par exemple) savent faire passer les messages utiles sur les évolutions qu'introduit l'électricité, pour éviter les tensions et favoriser le décollage du nombre d'abonnés et des consommations.

Les collectivités territoriales, qui peuvent aussi être usagers du service dans le cas de l'électrification des ouvrages publics, jouent un rôle à géométrie variable, mais toujours très important :

- elles sont les plus à même d'apprécier, souvent après sensibilisation, les impacts socio-économiques de la disponibilité d'électricité et sa contribution à l'aménagement du territoire et à leur développement économique ;
- en fonction des compétences qui leur ont été effectivement transférées en matière d'électrification, leur engagement peut couvrir le portage de projets jusqu'à leur maîtrise d'ouvrage complète, avec des entreprises d'électrification ou en créant des coopératives ou des régies d'électricité.

Si l'implication de ces acteurs (usagers domestiques et économiques, élus et édiles, ONG locales, collectivités territoriales) permet d'apprécier les demandes en électricité à court et moyen termes, elle ne peut se manifester sans l'aval préalable des institutions nationales en charge du secteur électrique.

Les institutions publiques nationales

Plusieurs structures publiques interviennent dans les choix politiques et stratégiques, l'organisation, ainsi que la régulation du domaine de l'ERD. Si les schémas institutionnels varient d'un pays à l'autre, ils comprennent généralement :

- des instances politiques ;
- une autorité de régulation ; et
- des structures techniques et financières.

Selon les transferts de compétences issus des processus de décentralisation, ces instances

et structures sont complétées ou relayées par d'autres instances et institutions au niveau des collectivités territoriales.

Le ministère en charge de l'énergie, autorité de tutelle du secteur de l'électricité, définit la politique nationale d'électrification, y compris rurale décentralisée, ainsi que les réglementations et standards techniques. Selon les pays, il valide les programmes nationaux d'ERD, et délivre les autorisations ou concessions d'électrification rurale. Il s'assure si besoin auprès de la société d'électricité de l'absence de plans d'extension de réseau sur la zone à échéance de cinq à dix ans.

Le ministère des Finances et du Budget valide la politique de financement et la politique fiscale en matière d'électrification, budgétise les financements publics alloués à l'électrification rurale décentralisée, recherche des financements auprès des bailleurs de fonds internationaux. Il peut aussi mettre en place des parafiscalités pour contribuer au financement des structures techniques et des projets. Des taxes sur les factures d'électricité sont par exemple instaurées au Sénégal, à Madagascar ou au Burkina Faso. Dans ce dernier pays, le Fonds de développement de l'électrification rurale (FDE) en faveur des localités rurales est alimenté par une taxe de 2 FCFA sur chaque kWh vendu par la société nationale d'électricité¹. Ces taxes viennent abonder, encore de façon très minoritaire, les fonds d'électrification rurale.

Afin de favoriser la coordination interministérielle et le développement des usages sociaux de l'électricité, certains pays ont mis en place un comité élargi de supervision de l'électrification rurale, composé de représentants des ministères en charge de l'énergie, des finances et du budget, et

1. Pierre Jacquemot et Marie-Noëlle Reboulet, « Options technologiques et modèles d'organisation de l'électrification rurale en Afrique », *Afrique Contemporaine* 1-2, n° 261-262 (2017) : 175-176.

d'autres ministères tels que santé, éducation, agriculture ou industrie. Eclairage public, électrification des bâtiments administratifs, des établissements de formation, des salles communautaires, des centres de santé... L'accès à l'électricité est un facteur indispensable d'amélioration des services rendus à la population.

L'autorité de régulation du secteur de l'électricité a pour principale mission de valider les procédures de sélection concurrentielle des entreprises d'électrification, les contrats correspondants, et les tarifs de vente aux usagers pratiqués par les entreprises de fourniture de services électriques et leurs modalités d'indexation. En cas d'interconnexion d'un miniréseau d'électrification rurale décentralisée à un autre réseau, l'autorité de régulation est chargée de valider le tarif d'achat-vente d'électricité en gros à la société exploitant ce réseau.

Les structures techniques et financières varient selon les pays. Elles peuvent se réduire à une direction ou un service chargé de l'électrification rurale au sein du ministère en charge de l'énergie, ou à une agence d'électrification rurale, établissement public généralement sous tutelle du ministère de l'Énergie, complétée dans certains cas par un fonds pour l'électrification rurale.

L'agence d'électrification rurale a pour missions de :

- promouvoir et informer ;
- développer les offres de services et les capacités locales ;
- assister au montage et à la mise en œuvre des programmes et projets ;
- contribuer à mobiliser les financements et les administrer ;
- suivre et contrôler le bon déroulement des activités d'électrification rurale dans le pays.

Le fonds pour l'électrification rurale, lorsqu'il existe, a pour mission de mettre en œuvre les

conventions de financement établies pour chaque programme ou projet. Il peut être géré par une institution fiduciaire sous convention avec l'agence d'électrification rurale.

L'ensemble de ces structures, généralement basées dans la capitale du pays, sont rarement relayées dans les régions par des services déconcentrés, ce qui limite les moyens d'intervention sur le terrain, pénalise la mise en œuvre effective de la politique nationale et le respect des réglementations, des procédures et des engagements des protagonistes au niveau local. Sur le sujet, voir les préconisations émises en partie 4.

Les professionnels du secteur électrique

Si la présence des acteurs précités est nécessaire lors de l'élaboration et du suivi-contrôle de la mise en œuvre et de l'exploitation d'un programme d'ERD, ce sont les professionnels du secteur qui concrétisent l'installation du système.

Sous la supervision du maître d'ouvrage* (commanditaire du projet, qui remet l'équipement à l'exploitant après mise en service industrielle), la réalisation d'une opération d'accès à l'électricité d'envergure requiert au moins quatre types d'interventions techniques :

- **un bureau d'étude** chargé de la maîtrise d'œuvre et doté d'une composante locale majoritaire (y compris sous-traitants) conçoit l'infrastructure électrique, de la production au raccordement usager, sans oublier les systèmes de branchement, de comptage et de prépaiement. Il assure également l'assistance technique, la formation des parties prenantes locales (exploitant, abonnés, édiles), la réception des travaux, ainsi que, la plupart du temps, l'accompagnement de l'exploitant pendant la période d'apprentissage nécessaire ;



Parole de professionnel Mamadou Saidou Diallo

Comment l'Agence guinéenne d'électrification rurale (AGER) accompagne-t-elle les opérateurs de miniréseaux dans la mise en œuvre de leurs projets ?

« Nous les encadrons dans le montage de leur dossier de demande de financement et de concession, notamment en mettant à leur disposition des outils : canevas d'étude de faisabilité et de plan d'affaires, modèles de contrats de concession. Nous les aidons ensuite tout au long du circuit d'approbation administrative de ces dossiers.

Nous les assistons sur les questions relatives aux exonérations douanières et fiscales ou à la passation des marchés d'acquisitions et de travaux.

Nous les appuyons enfin sur le terrain dans le suivi et le contrôle des travaux, la formation des opérateurs et de leurs équipes de gestion, ainsi que l'information et la sensibilisation des populations sur les contraintes liées à la fourniture durable d'un service électrique. »

Mamadou Saidou Diallo, ingénieur électro-énergéticien de formation, travaille depuis quinze ans dans le domaine du développement de l'électrification rurale en Guinée ; il est directeur général adjoint de l'Agence guinéenne d'électrification rurale (AGER).

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

- **un ou plusieurs fournisseurs** assurent l'approvisionnement, l'installation et le démarrage des équipements électriques et électromécaniques de production (générateurs énergies renouvelables – avec ou sans hybridation par groupe électrogène –, stockage, régulation et conversion d'énergie), de distribution basse tension et de gestion (comptage, prépaiements) ;
- **des entrepreneurs de travaux de divers corps de métiers** (génie civil, électricité, construction métallique, menuiserie...) assurent la réalisation de l'infrastructure selon les plans du maître d'œuvre ;
- **l'exploitant** est considéré comme la pièce maîtresse de la pérennité du service électrique (notamment pour un miniréseau ; cf. chapitre 3.5.3). Sélectionné dès le montage d'un projet

ou à la suite d'un appel à candidatures, il sera le garant d'un bon fonctionnement de l'infrastructure électrique après avoir obtenu le droit de l'exploiter par la signature d'une autorisation ou concession auprès du ministère de l'Énergie.

Ces différentes fonctions peuvent être assurées par un seul et même prestataire, ce qui renforce la cohérence entre la conception, le choix et la fourniture des équipements et leur exploitation (dont la maintenance), mais peut conduire à des dimensionnements et des enveloppes budgétaires excessives. Dans tous les cas, de la juste appréciation par les différents intervenants du contexte et de son évolution dépendront :



Étude de cas - Projet BOREALE

En 2009, les taux de couverture nationale en électricité et d'électrification rurale à Madagascar étaient respectivement de 28 % et 7 %, ce dernier taux ne dépassant pas 5% dans les régions de l'Androy et de l'Anosy où vivent 1,4 million de Malgaches. L'usage des groupes électrogènes y était répandu, solution mal adaptée aux faibles capacités de paiement des ménages ruraux, à l'éloignement des sites et aux exigences environnementales.

C'est dans ce contexte que la Fondem a élaboré le projet BOREALE (2012-2018), un programme d'électrification rurale décentralisée (ERD) par énergies renouvelables (EnR), réalisé en partenariat avec l'ONG locale Kiomba, WWF, la Direction générale de l'Énergie, l'ADER et l'Office de Régulation de l'Électricité. L'objectif : dans le cadre de la stratégie énergétique nationale visant à valoriser le fort potentiel énergétique renouvelable dont dispose le pays, « montrer la voie » dans des régions au contexte socioéconomique difficile et dans lesquelles les réalisations d'électrification par EnR non connectées au réseau étaient rares.

Ce projet ambitieux de changement d'échelle, construit à partir des retours d'expérience de précédents programmes comme RESOUTH (électrification de 2 localités malgaches) comprenait 3 volets :

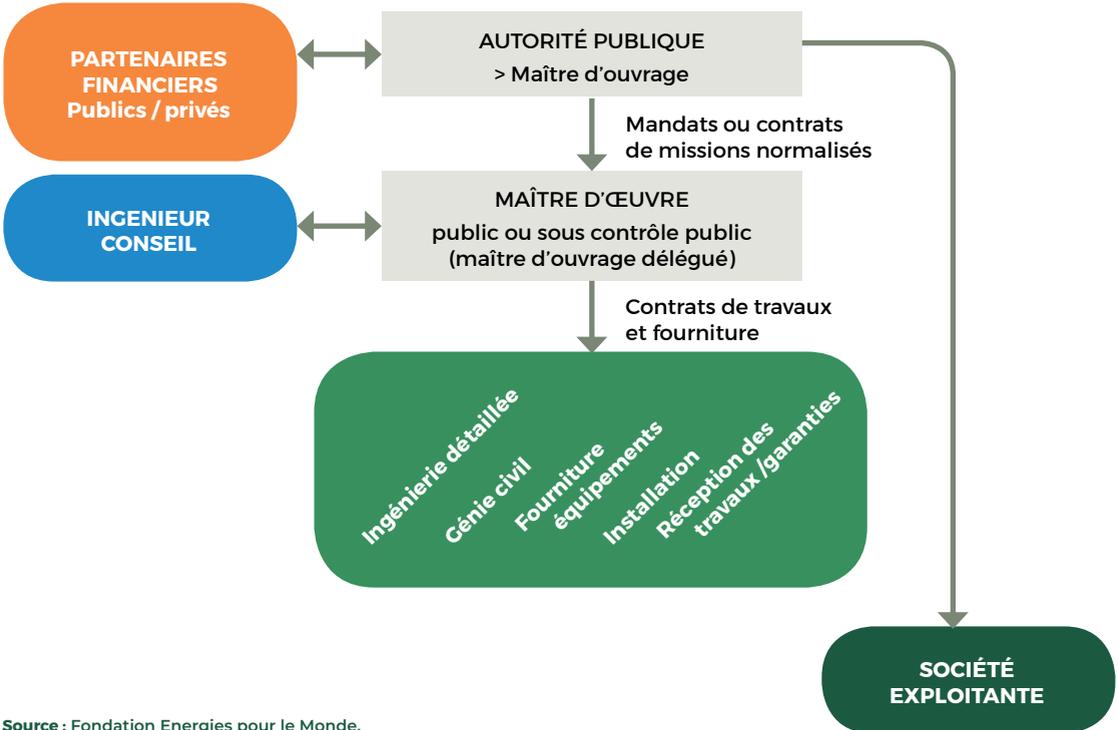
- **Énergie et infrastructures** : installation de centrales solaires et réseaux de distribution associés délivrant un service 24h/24 et dont l'usage a bénéficié directement à plus de 4 000 personnes dans les 7 localités ciblées (régions de l'Androy et l'Anosy).
- **Exploitation** : sélection, formation et accompagnement de 4 opérateurs jusqu'à un an après la fin du projet, afin d'atteindre leur autonomie complète.
- **Usages de l'électricité et développement d'activités socio-économiques** : développement d'une trentaine d'activités économiques (couture, soudure, cyber-café, ciné-vidéo, etc.), création ou renforcement d'une dizaine d'acteurs communautaires (mairies, écoles, centres de santé, etc.), amélioration des services d'une dizaine d'infrastructures communautaires (écoles, centres de santé, mairies, etc.).

Bien que le projet ait rencontré des difficultés (évolution des raccordements à un rythme plus faible que prévu, structures d'exploitation fragiles), il en demeure néanmoins un retour d'expérience crucial sur lequel les projets d'ERD futurs s'appuieront pour élaborer leur plan d'action et assurer leur bon déroulement.

Pour aller plus loin : retrouvez l'étude de cas intégrale sur la page web de l'ouvrage

Deux exemples de schéma opérationnel sous tutelle publique pour un projet d'infrastructure

MONTAGE CONVENTIONNEL, SOLUTION « MAÎTRE D'ŒUVRE »



Source : Fondation Energies pour le Monde.

- le bon dimensionnement des infrastructures ;
- la bonne qualité de la construction ;
- la satisfaction des usagers ;
- et la santé financière de l'exploitant.

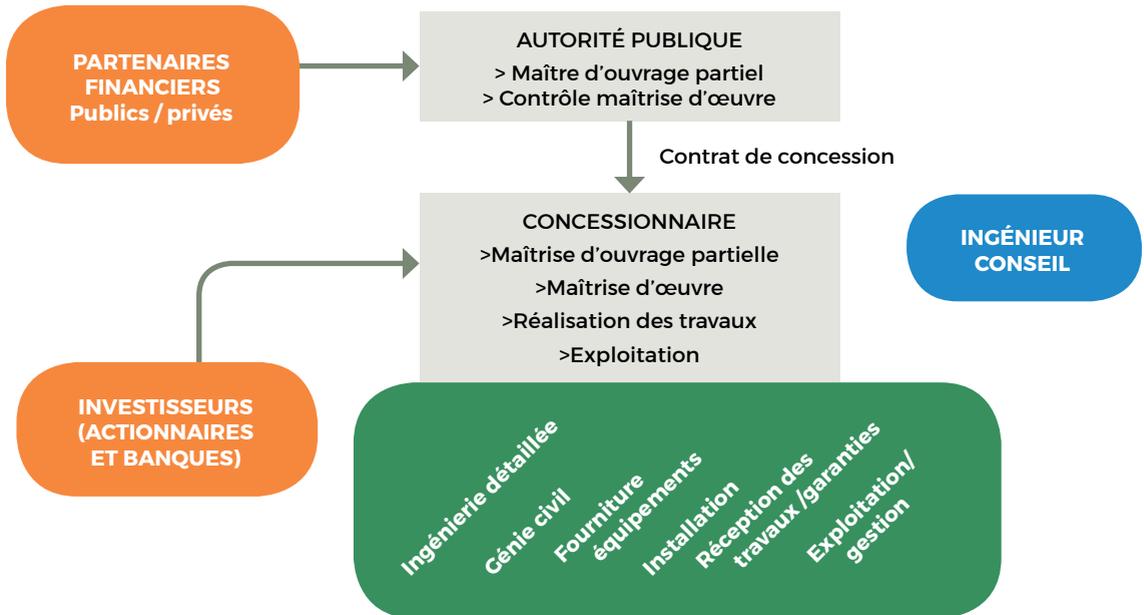
Les partenaires financiers et les investisseurs

En leur absence, aucun projet d'ERD ne saurait se concrétiser. Sous forme de dons ou de prêts concessionnels apportés par les grands bailleurs

de fonds internationaux, ils assurent le financement de l'investissement sous de multiples formes (cf. chapitre 2.3.2.).

La baisse du prix des composants électriques (modules solaires particulièrement) et la focalisation vers les clients solvables laissent présager une possible intervention de nouveaux acteurs : établissements financiers de la place, banques publiques et commerciales, services financiers décentralisés (organisations de microcrédit,

MONTAGE EN CONCESSION



opérateurs de téléphonie mobile, etc.) et investisseurs qui aujourd'hui s'intéressent à l'ERD.

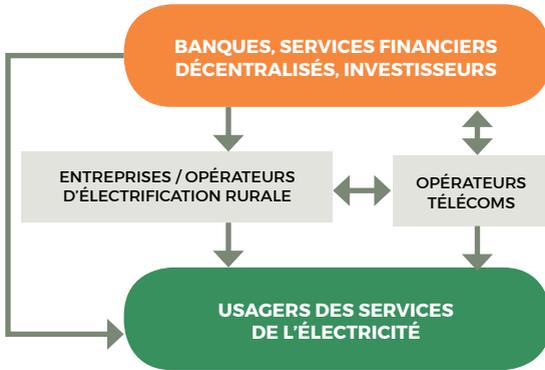
Le modèle libéral repose sur un schéma opérationnel beaucoup plus simple et rapide à mettre en œuvre.

Dans le modèle libéral, sans intervention ni soutien financier de l'Etat, les intervenants sont beaucoup moins nombreux, facilitant la mise en œuvre des équipements qui à ce jour couvrent la gamme des

lampes portables solaires aux systèmes solaires individuels. Les quantités d'énergie en jeu sont donc faibles (cf. chapitre 3.2). On assiste à un fort développement des solutions fondées sur cette approche, rendues possibles par une conjonction de facteurs favorables à l'ouverture d'un marché (cf. chapitre 2.3.1.).

Ces initiatives, basées sur un processus standardisé de commercialisation en vente directe de systèmes solaires, d'installation chez les

Schéma opérationnel pour un projet privé de type PAYG



Source : Fondation Energies pour le Monde.

usagers, de service après-vente, de facturation et de recouvrement, font appel à un nombre restreint d'acteurs :

- **le promoteur** qui, distributeur et exploitant, propose des kits solaires standardisés payés par le client au fur et à mesure de sa consommation ;
- **le(s) partenaire(s) financier(s)**, appelé(s) par le promoteur, qui interviennent en participation au capital ou en dette, depuis l'incubation jusqu'à l'atteinte d'une rentabilité satisfaisante ;
- **l'opérateur de télécommunication**, partenaire essentiel du promoteur, assure la mise en place des moyens de paiement par mobile et le télé-monitoring des informations principales du système ;
- **le fournisseur de matériel**, qui produit les équipements, du module solaire aux applications très basse consommation (LED et télévision principalement) ;
- **enfin, le client**, qui paie le service, incluant souvent la location-vente du système dont il devient, à terme, propriétaire.

Dans sa déclinaison PAYG, l'approche libérale a l'avantage de s'appuyer sur des techniques

renforçant la viabilité de l'exploitation grâce à la maîtrise du recouvrement (prépaiement).

Interventionniste ou libérale, chacune des deux approches présente des limites.

Souvent structurels, tous les obstacles ne sont pas susceptibles d'être levés à court terme, ni même à moyen terme. Mais certains d'entre eux ne sont pas des fatalités : c'est pourquoi ils font l'objet de préconisations en partie 4, qui sont organisées selon la partie prenante à laquelle elles s'adressent.

Les principales limites du modèle interventionniste

Dans le cadre d'un projet visant à installer un système d'électrification pour le plus grand nombre, **il est d'abord difficile d'identifier et d'évaluer les besoins en services électriques des usagers potentiels**, compte tenu de :

- la diversité des usagers et leur méconnaissance des usages de l'électricité et des appareils électriques (même si dans une zone homogène géographiquement et sociologiquement, les populations, leurs représentants, les entrepreneurs et les professionnels apprennent progressivement, par « capillarité ») ;
- la difficulté de réaliser des études socio-économiques préalables sérieuses sur la capacité et la propension à payer le service dans des localités situées à grande distance de la capitale. Souvent, les moyens et le temps manquent pour établir des données fiables sur la demande potentielle d'électricité et sa courbe de charge, alors que ces informations sont indispensables pour concevoir un projet d'ERD, particulièrement consommateur de capitaux.

Autre difficulté, les schémas institutionnels sont souvent inopérants faute de décentralisation, de ressources humaines et de moyens

financiers suffisants pour un réel changement d'échelle (cf. chapitre 1.2.2.). Les équipes techniques et les services financiers ne peuvent faire face à la complexité et à la lourdeur des procédures nécessaires à la sélection des projets, à l'obtention des financements, à la contractualisation des prestataires, ou encore au suivi et au contrôle de la conformité des installations aux règles et normes en vigueur.

Les exigences et conditions différentes, voire divergentes, des bailleurs de fonds créent une contrainte supplémentaire. Elles ne facilitent ni le respect des schémas institutionnels en place, ni des approches technologiques innovantes, ni le respect des règles de marché public. Ce manque de cohérence crée des situations de confusion voire de concurrence entre les régions et au sein d'un même territoire (taux de subvention, niveaux de rémunération, etc.).

On constate également une absence de transfert, ou un transfert partiel et ambigu, de la compétence énergie vers les collectivités territoriales, qui sont pourtant un relais indispensable pour l'efficacité de l'électrification rurale décentralisée. Cette situation présente deux défauts majeurs qui freinent le développement des projets :

- la difficulté de la coordination, voire le risque de conflit sur un projet, avec les structures centralisées ou déconcentrées du ministère en charge de l'énergie ;
- le manque de moyens humains et financiers et de compétences en matière énergétique au sein des collectivités ou au niveau local (élus locaux, chefferies, notables religieux).

La problématique de la compétence et des moyens ne concerne pas que le secteur public et touche aussi les entreprises locales d'électricité. Alors qu'elles sont indispensables, elles ne disposent le plus souvent ni d'une expérience en électrification rurale décentralisée ni d'une surface financière suffisante. Ces handicaps

les disqualifient pour contribuer aux projets d'envergure.

Les principales limites du modèle libéral

Si les progrès technologiques ont permis à ce modèle pertinent de naître il y a une quinzaine d'années et de se développer rapidement, son déploiement révèle au moins deux points de faiblesse. D'une part, alors qu'il devait viser toute la population rurale de la base de la pyramide, **il s'adresse aujourd'hui majoritairement à une clientèle relativement aisée et urbaine ou périurbaine, pour des besoins domestiques.** Par ailleurs, l'approche libérale ne permet pas, à ce jour, l'émergence d'activités économiques de manière large, malgré les tests réalisés par les promoteurs de kiosques énergétiques (cf. chapitre 3.3.).

D'autre part, **le modèle économique reste fragile.** Encore déficitaires, de nombreux opérateurs sont régulièrement en recherche d'investisseurs, laissant présager des déficiences d'entreprises (comme on en a déjà constaté, principalement en Afrique de l'Est, là où elles sont le plus nombreuses). Dans le cas de certains opérateurs PAYG, l'absence de lien de proximité entre le client du service et son fournisseur, due à la dématérialisation du paiement, suscite également une certaine défiance ; les opérateurs conquièrent de nouveaux clients, mais leur fidélisation est difficile.

Aucun des deux modèles, interventionniste ou libéral, ne répond donc globalement au défi de l'électrification de l'Afrique rurale. Le débat d'une électricité « service public » ou « bien marchand » est lancé.

En attendant, la pratique de l'ERD doit trouver sa voie sur le terrain. Elle passe par une recherche de complémentarité entre les solutions, toutes approches confondues. Elle passe aussi par le développement, à côté d'une compétence en ingénierie technique* indispensable, d'une capacité d'ingénierie sociale non moins experte. ●

2.4.2.

Pour garantir l'adhésion de la communauté rurale, l'ingénierie sociale est essentielle, à toutes les étapes d'un projet.

L'accélération de l'accès à l'électricité en milieu rural et périurbain a été rendue possible par la diffusion des lampes solaires portables ou systèmes solaires individuels. Peut-on en conclure qu'une électrification « numérisée » à moindre coût de fonctionnement et sans intervention humaine a un avenir ?

Les récents échanges entre acteurs (au sein de Gogla, l'association des acteurs de l'industrie du *off-grid*), confirmés par les retours d'expérience issus des projets d'ERD conventionnels, montrent au contraire que, pour se développer durablement et satisfaire le plus grand nombre, l'accès à l'électricité en milieu rural en mode décentralisé nécessite un important travail de sensibilisation et d'accompagnement des communautés rurales et des instances locales et régionales.

Ce travail vise notamment à :

- **mieux cerner les besoins** des futurs usagers et de la communauté desservie ;
- **mieux anticiper les risques** liés à l'arrivée de l'électricité susceptibles d'affecter le bon déroulement du projet ou d'affaiblir ses bénéficiaires ;
- **pour *in fine* garantir la bonne appropriation** du service électrique installé par les acteurs locaux, laquelle est une condition *sine qua non* de la pérennité de ce service.

Les cadres socioculturels, économiques, géographiques, politiques et démographiques influent sur la compréhension du tissu énergétique et des

possibilités d'électrification. Ces paramètres se renouvellent à chaque projet, selon le contexte.

L'approche sociologique s'inscrit donc dans la durée : il ne s'agit pas d'une analyse ponctuelle mais d'une posture, d'une sensibilité, qui irrigue toutes les étapes du projet. Elle repose notamment sur :

- l'écoute et l'observation des communautés ;
- la compréhension de la qualité de leurs rapports ;
- la sensibilisation et l'accompagnement des futurs usagers ;
- la médiation entre les parties prenantes locales.



En l'absence d'appropriation réelle du projet par la communauté ou par ses représentants, les installations ne sont pas entretenues et deviennent rapidement non fonctionnelles. La durabilité du projet est dans ce cas ouvertement compromise et les équipements entreront bientôt dans le « cimetière de l'aide », déjà bien occupé.

Pierre Jacquemot et Marie-Noëlle Reboulet,
« Options technologiques et modèles d'organisation de l'électrification rurale en Afrique », *Afrique Contemporaine* 1-2, n° 261-262 (2017) : 175-176.





Retour de terrain : Guyane, Maroni

Un programme d'électrification rurale a été lancé il y a plus de dix ans pour l'alimentation en électricité de quatre villages du Haut-Maroni, dont le village d'Antécum-Pata. Ce territoire, situé à plusieurs heures de pirogue et d'avion de Cayenne, abrite environ un millier d'habitants, non desservis par le réseau électrique.

Ce projet d'un montant de 12 millions d'euros a pour objectif l'installation de centrales hybrides photovoltaïques et diesels, ainsi que de miniréseaux électriques. Il est porté par la communauté de communes de l'Ouest guyanais, qui assure la maîtrise d'ouvrage, et EDF SEI, en charge de l'exploitation. Cette dernière assure également le pilotage des infrastructures à distance depuis Cayenne, grâce à un système de *monitoring* développé spécialement pour transférer – via une liaison satellite mise en place sur chaque site totalement isolé – l'ensemble des données mesurées sur site ainsi que les états de fonctionnement des composants de la centrale.

Pourtant très attendue par les populations de ces villages, la mise en service des centrales a eu lieu, au premier trimestre 2018, avec plus de deux ans de retard. L'isolement géographique de ces sites, combiné au stress climatique imposé à l'ensemble du matériel et à la volonté de piloter à distance sans relais humain sur place, a considérablement freiné la mise en service de ces centrales puis rendu très complexe leur exploitation.

Aujourd'hui, l'ensemble des bâtiments communautaires dispose d'un accès à l'électricité, mais les centrales tournent quasiment « à vide », faute de raccordements domestiques. Dans cette région où les ressources dont disposent les familles sont faibles, le raccordement au réseau représente en effet un véritable obstacle financier.

Source : un représentant de la société Sunzil, intervenant sur les projets.

Cette approche sociologique n'est pas neutre économiquement :

- **d'un côté, elle nécessite du temps et elle a un coût ;** autant de paramètres à intégrer dès la conception dans le planning et le budget de l'opération ;
- **de l'autre, elle permet d'éviter des surcoûts ou des manques à gagner,** pour le concepteur du projet, l'opérateur et les usagers.

L'accès à l'électricité déstabilise les pratiques et induit des risques qu'il est nécessaire d'anticiper.

D'abord, l'arrivée de l'électricité bouleverse. Elle induit une rupture, parfois radicale, pour les usagers, quelle que soit leur expérience antérieure de l'électricité :

- elle est **synonyme d'amélioration des conditions de vie** sur un territoire, et, si le projet prévoit

un accompagnement des activités productives, de développement économique ;

- mais l'expérience montre également qu'elle est, comme toute innovation, **porteuse d'effets pervers**.

Elle ne vient pas seulement modifier les comportements énergétiques préexistants : en apportant la réfrigération, la télévision ou l'éclairage, elle influence de nombreux comportements individuels et collectifs (les habitudes alimentaires, les modes de socialisation et de communication...). Cette mutation dans les modes de vie peut « défaire » un collectif (cf. encadré), ou, à tout le moins, le fragiliser. Or, la cohésion de la communauté locale autour du projet à mener puis du système installé est nécessaire pour garantir de bonnes conditions d'exploitation et assurer la pérennité du service.

Par ailleurs, l'électricité, souvent très attendue dans un village, est aussi une « idée » entourée de nombreux fantasmes.

Les contraintes propres à l'installation et à l'utilisation d'un service électrique sont ignorées. Et l'utilisation des gisements d'énergie locaux (et non celle, mieux connue, d'un groupe électrogène) introduit une technologie nouvelle avec laquelle il faut se familiariser, ce qui est un facteur de déstabilisation supplémentaire.

Or, la bonne compréhension du fonctionnement du service, ce qu'on appelle son « appropriation », est nécessaire pour garantir sa bonne utilisation, sa bonne exploitation et donc sa disponibilité pérenne :

- **ne pas tenir compte de ces différents facteurs de risque ampute les chances de succès du projet d'électrification**, dont on attend qu'il soit pérenne et porteur d'impact social et économique positif pour le territoire électrifié ;
- **la bonne anticipation des risques et une action adaptée (information, formation) sont donc a contrario indispensables** (cf. encadré) ; encore faut-il prendre le temps de les débusquer, eux qui



Parole de professionnelle Marie-Christine Zélem

« **Electrifier un territoire rural ne se réduit pas à apporter de l'électricité.** Cela s'accompagne d'une série de changements profonds qui peuvent se traduire par des bouleversements importants qui façonnent la vie quotidienne : désorganisation sociale, conflits politiques, disparition de savoir-faire, modification du régime alimentaire...

Electrifier un territoire suppose donc de prendre un certain nombre de précautions, d'abord en amont (financements, formation, information, participation...), mais aussi en aval et tout au long de la mise en œuvre : sensibilisation aux enjeux et aux pièges de l'électricité, éducation alimentaire, fonctionnelle et sanitaire, mise à disposition des appareils et équipements compatibles (lampes basse consommation, appareils économes), SAV...

Marie-Christine Zélem est professeur de sociologie à l'université de Toulouse Jean-Jaurès et coresponsable du pôle politiques environnementales et pratiques sociales au CERTOP-CNRS.

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

sont souvent imperceptibles à la première analyse. Cette approche sociologique est particulièrement importante en logique interventionniste (électrification d'ouvrages publics ou mise en place d'un réseau local, par exemple), qui nécessite une adhésion profonde des populations, aux niveaux individuel et collectif.

Néanmoins, même dans une approche libérale (davantage guidée par le pragmatisme économique que par la recherche d'impact social), l'analyse de risques a tout intérêt à inclure la dimension socio-culturelle : des risques mal anticipés ou mal maîtrisés fragilisent le modèle économique. Cette dimension de pédagogie et d'accompagnement

des populations locales se retrouve d'ailleurs dans de nombreuses offres de service portées par des acteurs privés (cf. partie 3).

S'ils ne sont pas exhaustifs, les constats et suggestions qui suivent, tous issus de l'expérience de terrain, soulignent :

- **l'importance de « l'ingénierie sociale »** à tous les stades de déploiement d'un projet ; et
- **la nécessité de disposer pour cela d'une équipe pluridisciplinaire**, dont plusieurs des membres ont acquis la confiance des populations locales. Les actions d'accompagnement de la population et de ses représentants ne peuvent être menées par les seuls ingénieurs techniques.



© Fondation Énergies pour le Monde

Palabres, Guinée.

Pendant la phase d'élaboration du projet d'électrification, l'écoute et la coconstruction permettent d'assurer la pertinence du projet et son acceptation.

Différentes bonnes pratiques sont à observer pendant la phase amont de l'électrification d'un territoire rural afin d'assurer l'acceptation du projet par les communautés concernées.

Choix de la localité, entretiens collectifs et individuels, définition du périmètre d'électrification... chaque étape de l'élaboration d'un projet d'électrification rurale doit prendre en considération la dimension « non technique » de l'opération, à savoir un ensemble de faits sociologiques, culturels et politiques qui caractérisent la zone et qui varient suivant le territoire concerné.

Le choix de la localité : la « neutralité politique » du territoire est un facteur de pérennité du service.

Dans le cadre d'une logique interventionniste, notamment l'installation d'un réseau local, le choix d'une localité à électrifier procède d'un double processus objectif :

- **la vérification que la localité n'est pas inscrite dans une programmation d'électrification par extension de réseau** auprès du ministère de l'Energie et de la société d'électricité ;
- **sa place dans la hiérarchie des localités à électrifier, établie en fonction de critères objectifs préalablement établis** (cf. chapitre 3.5.3. sur les retours d'expérience relatifs à la planification dans le cas des miniréseaux).



Réunion villageoise en Guinée dans le cadre de l'élaboration d'un projet d'ERD.



Planification : quelques exemples d'outils

Alors que la demande d'un accès à l'électricité est forte mais que les moyens financiers pour y répondre sont faibles, une planification de l'électrification rurale décentralisée est nécessaire.

Fournissant des informations sur la ou les communes visées et leur environnement, elle permet de **hiérarchiser les communes à électrifier selon plusieurs critères**, avec l'objectif de maximiser les impacts de l'électrification en termes de développements humain et économique, de **limiter les risques d'échec**, mais aussi de **définir les modalités de réalisation** des projets, qu'elles soient techniques, financières ou organisationnelles.

Aux côtés de logiciels d'électrification rurale intégrant une composante décentralisée (Laper et Elvira par EDF et Géosim par IED), plusieurs outils de planification d'électrification rurale décentralisée ont été développés. La Fondem a ainsi conçu le logiciel Noria. Le nombre de communes à étudier allant croissant, **il devient nécessaire d'automatiser les traitements d'enquêtes**, comme le permet l'outil Octave, développé par la Fondem.

Cette démarche contribue à éviter les projets guidés par des considérations strictement politiques, dont l'expérience montre qu'ils sont rarement viables. Dans la plupart des cas, le personnage politique originaire de la localité (et par extension ses proches) est tenté de s'arroger des passe-droits une fois le service installé, mettant à mal les principes de maîtrise des consommations électriques et de paiement de l'électricité. Aucune règle ni contrainte ne peut alors s'appliquer, ce qui provoque des tensions et conduit in fine à un arrêt du service.

Les entretiens, une étape-clé qui détermine la composition de l'équipe réunie par le concepteur du projet.

Une fois la localité retenue, s'ouvre une période plus ou moins longue d'enquêtes initiales déterminantes pour la réussite des phases ultérieures

du projet. Autorités locales, chefferies traditionnelles, usagers... Pour mener à bien les entretiens avec l'ensemble des interlocuteurs sur le terrain, il faut disposer au sein de l'équipe du projet sur le terrain :

- **de personnes connaissant bien le territoire** : maîtrisant le dialecte local, connaissant les règles de bienséance, le sens des positionnements, des silences...
- **d'enquêtrices** : elles seront plus aptes à dialoguer avec des femmes, qui jouent un rôle majeur dans la maîtrise de l'usage d'un système électrique domestique, dans sa valorisation au sein du foyer et dans la gestion du budget nécessaire au paiement régulier de l'électricité (cf. encadré).

MINIDOSSIER

L'approche de genre* dans les projets d'électrification rurale

La conférence de Pékin en 1995, suivie par les Objectifs du millénaire pour le développement et les Objectifs de développement durable, marque une rupture dans l'agenda international en qualifiant l'égalité femmes-hommes de fondamentale pour réduire la pauvreté. Parallèlement, les forums successifs de Paris (2005), Accra (2008) et Busan (2011) l'ont également identifiée comme un enjeu prioritaire de l'efficacité de l'aide.

Partant de cette prise de conscience grandissante, s'est opérée une évolution majeure des pratiques du développement. A l'approche « femmes et développement » initiée dans les années 70-80, ciblant les femmes par des actions isolées dans les projets ou programmes, a succédé **l'approche « genre et développement¹ »**, qui, dans l'objectif d'atteindre l'égalité des droits et son application, suppose de **considérer distinctement les opportunités offertes aux femmes et aux hommes, leurs rôles dans la société, afin d'agir sur des situations d'inégalités.**

Pourquoi adopter une approche de genre dans les projets d'accès à l'électricité en milieu rural ?

L'accès à l'énergie est un enjeu fondamental pour le développement des femmes et des hommes. Néanmoins, femmes et hommes n'expérimentent pas de la même manière le manque d'accès à l'énergie ou la situation de pauvreté énergétique. Leurs attentes et leurs besoins diffèrent :

- étant en charge de la plupart des activités domestiques nécessitant de l'énergie, les femmes sont ainsi les premières affectées par le manque d'énergie, et peuvent suppléer à ce manque en augmentant leur temps de travail ;



© Fondation Energies pour le Monde

Une commerçante à Ambondro, Madagascar, qui bénéficie d'un frigo.

- l'accès aux crédits ou aux activités de formation professionnelles est généralement plus difficile pour les femmes. Par ailleurs, les décisions familiales (investissements, etc.) sont le plus souvent prises par les hommes ;
- d'autres inégalités structurelles, comme l'analphabétisme, les privent parfois d'être bénéficiaires de certains projets.

Ainsi, les choix techniques liés à un projet d'ERD ne sont pas neutres en matière de genre. Préférer une source de production d'énergie particulière peut par exemple favoriser les activités des hommes plutôt que celles des femmes et induire un renforcement des inégalités.

Certaines études soulignent que la prise en compte du genre permet, entre autres, i) de réduire la pauvreté plus efficacement, ii) d'améliorer les raccordements au réseau par le rôle actif de prescriptrices que jouent les femmes, iii) de favoriser l'égalité professionnelle et d'améliorer la gestion de la chaîne d'approvisionnement de l'énergie (Dutta et al., 2018).

Le nexus genre, énergie, développement

L'accès à l'énergie a de multiples impacts positifs, en particulier pour les femmes et les enfants. Des études d'impacts et des retours d'expérience de projets de terrain montrent que l'accès à l'énergie et aux services

.....

« Les femmes doivent être incluses dans les structures de gouvernance et de prise de décision. Une sensibilisation doit également être effectuée à tous les niveaux. La plupart du temps, quand les gens vont sensibiliser les communautés, ils se concentrent uniquement sur les hommes. Ce que nous disons c'est, concentrez-vous également sur les femmes – elles sont les utilisatrices finales. Lorsque vous donnez le pouvoir à une femme, vous le donnez à toute une nation. »

Rhoda Mando, directrice adjointe du développement des entreprises et de l'intégration du genre à l'Agence nigériane d'électrification rurale.

Source : Charlie Zajicek, « How solar mini-grids can bring cheap, green electricity to rural Africa », Overseas Development Institute, 2019, <https://www.odi.org/blogs/10730-how-solar-mini-grids-can-bring-cheap-green-electricity-rural-africa>.

.....

1. Le concept de genre désigne les rapports, les devoirs, les rôles socialement et culturellement construits des femmes et des hommes. Il s'agit d'une construction politique et sociale qui se différencie de la notion de sexe, recouvrant les caractéristiques biologiques des individus.

énergétiques permet de :

- **diminuer le temps et l'énergie consacrés aux travaux domestiques.** Au Burkina Faso, la mise en place de plateformes multifonctionnelles a permis un gain de temps d'environ six heures par semaine pour les femmes (Beguerie, 2015) ;
- **réduire l'utilisation de sources d'énergie polluantes (le kérosène, par exemple) ;**
- **ouvrir des opportunités d'emplois ou de création d'activités génératrices de revenus (AGR).** Dans des localités d'Afrique du Sud, l'emploi des femmes a augmenté de 13,5 M après électrification (Dinkelman, 2011).

Les revenus supplémentaires issus de ces activités permettent une modification des rapports dans le foyer, augmentant le pouvoir de décision et de négociation des femmes (Haves, 2012). Cela nécessite :

- **d'améliorer l'éducation et la santé des femmes et des filles, tout en contribuant à leur autonomisation progressive ;**
- **de favoriser l'accès à des sources d'information et de divertissement.**

Quelques bonnes pratiques méthodologiques¹ :

- **analyse du contexte intégrant l'approche genre :**
 - analyse distincte des impacts négatifs subis par les femmes et de ceux subis par les hommes, définition de mesures d'atténuation,
 - prise en compte des différences de besoins et d'intérêts des femmes et des hommes relatifs à l'accès à l'énergie ;

- **recours à des données et indicateurs sexo-spécifiques et analyse de résultats :**

- analyse de la demande en énergie, de la volonté et de la capacité à payer et des usages de l'électricité des femmes ;

- **partenariats et actions avec des impacts positifs dans la réduction des inégalités entre hommes et femmes :**

- mise en place de subventions ou d'un accès facilité aux crédits ciblant les ménages dirigés par des femmes (Energy 4 Impact Sénégal),
- appui au développement de l'entrepreneuriat féminin (wPower),
- création d'AGR dans les secteurs formels, plus lucratifs,
- promotion de l'emploi des femmes dans la chaîne d'approvisionnement de l'énergie (Programme WE d'énergie, 2014-2017),
- sensibilisation des ménages pour veiller à ce que la libération du temps domestique ne se matérialise pas par une augmentation conséquente du temps de travail des femmes dans leurs activités productives (Cecelski, 2004),
- amélioration de l'éducation des jeunes filles, en sensibilisant les ménages pour leur permettre d'étudier le soir ;

- **participation des bénéficiaires directs et indirects, femmes et hommes :**

- organisation de consultations séparées si les femmes sont généralement absentes des prises de décisions,
- intégration des femmes dans les formations techniques aux métiers de l'énergie.

1. Issues des outils méthodologiques AFD, Coordination Sud, ainsi que des documents Energia (2017).

Pour approfondir :

Genre et énergie

Agence internationale pour les énergies renouvelables. « Renewable Energy: A Gender Perspective ». Abu Dhabi: Agence internationale pour les énergies renouvelables, 2019.

Cecelski, Elizabeth. « Enabling equitable access to rural electrification: Current thinking and major activities in energy, poverty and gender ». Breilbacher: Energy, Environment & Development (EED), 2000.

Cecelski, Elizabeth. « Energy and Poverty Reduction: The role of women as a target group ». La Haye : Réseau International sur le Genre et l'Énergie Durable (ENERGIA), 2000.

Cecelski, Elizabeth. « Re-thinking gender and energy: Old and new directions ». La Haye : Réseau International sur le Genre et l'Énergie Durable (ENERGIA) et Enabling Access to Sustainable Energy (EASE), 2004.

Cecelski, Elizabeth, Soma Dutta, et Annemarije Kooijman. « Energy access and gender : getting the right balance ». Washington, D.C: Banque mondiale, 2017.

Clancy, Joy S., Margaret Skutsch, et Simon Batchelor. « The gender – energy – poverty nexus. Finding the energy to address gender concerns in development. » Londres : Département du Développement international, 2002.

Clancy, Joy S., Tanja Winther, Margaret Njirambo Matinga, et Sheila Oparaocha. « Gender equity in access to and benefits from modern energy and improved energy technologies : world development report background paper ». La Haye : Réseau International sur le Genre et l'Énergie Durable (ENERGIA) et Nord/Sor-konsulentene, 2012.

Dutta, Soma, et Sheila Oparaocha. « Gender and energy for sustainable development ». Current Opinion in Environmental Sustainability 3, no 4 (2011): 265-71.

Habtezion, Senay. « Gender and energy. Gender and climate change Africa ». New York: Programme des Nations unies pour le développement, 2012.

Havey, Emily. « Does energy access help women? Beyond anecdotes: a review of the evidence ». Londres : Ashden, 2012.

Kohlin, Gunnar, Erin O. Sills, Subhrendu K. Pattanayak, et Christopher Wilfong. « Energy, Gender and Development: What are the Linkages? Where is the Evidence? » Washington, DC : Banque mondiale, 2011.

O'Dell, Kathleen, Sophia Peters, et Kate Wharton. « Women, energy, and economic empowerment ». New York: Deloitte University Press, 2014.

Orlando, Maria Beatriz, Vanessa Lopes Janik, Pranav Vaidya, Nicolina Angelou, Ieva Zumblyte, et Norma Adams. « Getting to Gender Equality in Energy Infrastructure: Lessons from Electricity Generation, Transmission, and Distribution Projects ». Washington, D.C : Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP) et Banque mondiale, 2018.

Rao, Narasimha D, et Shonali Pachauri. « Gender impacts and determinants of energy poverty: are we asking the right questions? » Current Opinion in Environmental Sustainability 5, no 2 (2013) : 205-15.

Johnson, Oliver, Vanessa Gerber, et Cassilde Muhoza. « Gender, culture and energy transitions in rural Africa ». (2018). Energy Research and Social Science 49 (2019) : 169-179.

Wamukonya, Njeri. « A critical look at gender and energy mainstreaming in Africa ». 2002.

Impact des projets d'électrification rurale décentralisée

Begueyrie, Victor. « Impact de l'accès à l'énergie sur les conditions de vie des femmes et des enfants en milieu rural : Analyse d'impact du Programme des Plate-Formes Multifonctionnelles au Burkina Faso ». Université d'Auvergne - Clermont-Ferrand I, 2015.

Burney, Jennifer, Halimatou Alaofé, Rosamond Naylor, et Douglas L. Taren. « Impact of a rural solar electrification project on the level and structure of women's empowerment ». Environmental Research Letters 12 de IOP Science, n°9 (2017).

Raub, Viviane. « Rural Electrification in Senegal: Access to Electricity and its Impacts on Women's Needs ». Lund : Lund University Master of Science in International Development and Management, 2013.

Torero, Maximo. « L'impact de l'électrification rurale: enjeux et perspectives ». Revue d'économie du développement 23, no 3 (2015) : 55-83.

Outils méthodologiques

Repussard, Clément. « Boîte à outils Genre. Énergie ». Paris : Agence française de développement, 2015.

Agence française de développement. « Profil Genre : Afrique » (Accessible en ligne). Paris : Agence française de développement, 2016.

Documents de capitalisation

Alliance pour l'Électrification Rurale, et Réseau International sur le Genre et l'Énergie Durable (ENERGIA). « ARE-ENERGIA Position Paper : Women and Sustainable Energy ». Bruxelles : Alliance pour l'Électrification Rurale, et Réseau International sur le Genre et l'Énergie Durable (ENERGIA), 2017.

Mizrahi, Simon, et Geraldine Fraser-Moleketi. « Autonomiser les femmes africaines : Plan d'action. Indice de l'égalité du genre en Afrique » Abidjan : Banque africaine de développement, 2015.

Clancy, Joy S., Nthabiseng Mohlakoana, Yacine Diagne Gueye, Lydia Muchiri, et Indira Shakya. « Mainstreaming gender in energy sector practice and policy: lessons from the Energia International Network » La Haye : Réseau International sur le Genre et l'Énergie Durable (ENERGIA), 2016.

Rojas, Jackeline. « État des lieux de l'intégration du Genre dans les organisations françaises de solidarité internationale » Paris : Coordination Sud, 2016.

Dutta, Soma. « Supporting last-mile women energy entrepreneurs: What works and what does not ». La Haye : Réseau International sur le Genre et l'Énergie Durable (ENERGIA), 2018.

L'entretien préliminaire avec les autorités locales

Le concepteur du projet commence par la tenue, dans le respect des coutumes locales, de réunions avec ceux qui auront ensuite à porter le message auprès des populations et dont le soutien est donc essentiel, à savoir :

- les élus de la localité ;
- les chefs traditionnels et/ou religieux réunis dans le conseil des sages.

C'est une étape préalable nécessaire avant d'aller à la rencontre de l'ensemble de la population, au-delà des seules personnes à l'aise avec la parole devant des étrangers. Ces entretiens préliminaires avec les autorités publiques et morales locales visent à clarifier et partager des informations fondamentales :

- **fixer le cadre général et les grandes étapes** de réalisation du projet ;
- **préciser les conditions de sa réalisation** (incertaine tant que le montage financier n'est pas bouclé) ;
- **définir l'implication requise des autorités** au cours des différentes étapes du projet.

Il est impératif de s'assurer de la bonne compréhension de ces informations par chacun des participants, afin de réduire les risques d'une transmission déformée auprès de la population (qui ne peuvent cependant pas être totalement circonscrits). Au sein de communautés où l'engagement oral prime sur l'écrit, les paroles prononcées lors d'un premier rendez-vous revêtent une importance capitale. Toute modification ultérieure des modalités énoncées oralement nécessitera de longues explications avant d'être acceptée.

Si la présence naturelle de femmes est très rare, il est important de la susciter et d'en expliquer l'intérêt.

Les entretiens individuels avec les futurs usagers

Organisant un échange d'informations réciproque entre les usagers et interlocuteurs de confiance, mandatés par le concepteur du projet, les entretiens individuels se déroulent en présence des responsables et des usagers directs (parents, médecins, infirmiers, matrones, responsables et enseignants, entrepreneurs et apprentis, etc.).



« Ruchi Soni, responsable de l'accès à l'énergie à la Fondation des Nations unies, m'a expliqué pourquoi l'engagement communautaire est si important :

L'engagement communautaire est essentiel au processus [d'installation des miniréseaux]. Le secteur privé doit s'engager au quotidien avec les communautés et les locaux pour comprendre leurs besoins, les raisons pour lesquelles ils souhaitent des miniréseaux, dans un premier temps, et comment ils entendent utiliser leurs applications, dans un second. »

Charlie Zajicek, « How solar mini-grids can bring cheap, green electricity to rural Africa », Overseas Development Institute, 2019, <https://www.odi.org/blogs/10730-how-solar-mini-grids-can-bring-cheap-green-electricity-rural-africa>.



D'une durée suffisamment longue (une à deux heures) pour établir un climat de confiance, ils visent à :

- **préciser les besoins en électricité** tels qu'ils sont exprimés par les usagers potentiels ;
- **expliquer** le fonctionnement du service électrique envisagé, ses bénéfices et ses limites.

Et par là, à :

- **mesurer l'écart entre les attentes et les contraintes**, entre la représentation de l'usage de l'électricité (souvent forgée par les expériences vécues dans des localités déjà électrifiées) et les facteurs de réalité qui viendront limiter cet usage (limitation de la puissance ou de la disponibilité, coût pour l'usager...);
- **identifier les risques liés à l'arrivée de l'électricité** et les impacts négatifs possibles, comme le creusement de certaines fractures sociales (cf. encadré).

S'ils sont bien menés, les entretiens permettent d'emporter l'adhésion au projet et de créer les conditions d'une appropriation du service avec la mise en service. Leur rôle est crucial. Dans certains cas, comme celui de l'installation d'un miniréseau, l'exercice est délicat. Les questions touchant à la tarification, au paiement de l'électricité et au budget à y consacrer doivent être abordées ; or, le projet n'étant pas encore validé par l'organisme de régulation du secteur électrique, le *business plan* n'est pas finalisé et aucune information précise ne peut être délivrée à ce stade.

L'ensemble des équipes impliquées dans le processus d'enquêtes et de visites de terrain doit veiller à porter un message cohérent. En effet, la parole circule et se déforme vite sur un projet innovant comme l'électrification, quel que soit le type de solution retenue ; l'inconnu provoque des sentiments forts et mêlés, entre enthousiasme, scepticisme et inquiétude, selon la personnalité et le positionnement social ou les aléas qui entourent la réalisation du projet.



« L'électricité incite très vite les familles à s'équiper en télévision. Celle-ci vient en concurrence avec la possibilité de lire ou écrire à des fins scolaires. Cela est d'autant plus vrai lorsque les familles vivent dans une seule et même pièce. Ainsi, les familles disposant de plusieurs pièces ou espaces dans leur habitation ont plus de chance de voir leurs enfants se consacrer à leurs activités scolaires que celles qui vivent dans plus de promiscuité. »

Marie-Christine Zélem est professeur de sociologie à l'université de Toulouse-Jean-Jaurès et coresponsable du pôle politiques environnementales et pratiques sociales au CERTOP-CNRS.

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



La définition du périmètre d'électrification

Dans le cadre de l'installation d'un réseau local, la détermination du périmètre à électrifier est une autre étape importante ; elle requiert la compréhension et l'adhésion des édiles de la localité. Le tracé du réseau est établi grâce notamment à deux types de contraintes :

- les pré-inscriptions des futurs abonnés ;
- la localisation des principales zones d'activité économique.

Ces dernières sont privilégiées car susceptibles d'être de plus fortes consommatrices d'électricité que les ménages ; leur bonne prise en compte permet de favoriser leur développement grâce à l'usage d'appareils électriques (meilleure productivité, augmentation de leur zone de chalandise).



© Fondation Énergies pour le Monde

Couturier burkinabais bénéficiant de l'électricité.

Ce tracé exclut de facto une partie plus ou moins importante de la population :

- les foyers situés en périphérie de la localité dont le raccordement n'est pas économiquement viable ;
- les familles plus indigentes, dont les ressources sont insuffisantes pour assumer le coût du raccordement et des consommations.

Ne pas être raccordé exacerbe le sentiment d'exclusion et d'injustice. Des solutions alternatives adaptées à chaque contexte et pouvoir d'achat peuvent être proposées à ceux qui se retrouvent hors du périmètre du réseau : lampes portables, systèmes solaires individuels, voire kiosque énergie. A condition d'être bien expliquées, elles permettent d'éviter que l'électrification n'aggrave une fracture sociale préexistante ou ne crée une discrimination nouvelle. La validation du périmètre fait en effet souvent l'objet de tensions, voire de confrontations entre le promoteur du projet et l'« exclu du réseau ».

Le soutien du maire, de ses adjoints et des chefs traditionnels est majeur pour :

- valider le tracé retenu ;
- expliquer les raisons de ses limites ; et
- faciliter l'acceptation des solutions alternatives par les foyers qui se trouvent hors de son périmètre.

La sensibilisation des populations aux avantages et aux contraintes du service électrique.

Il est nécessaire de conduire des actions de sensibilisation auprès des parties prenantes locales, et de leur donner une information régulière tout au long des différentes étapes du projet ; cela permet d'assurer l'adhésion au projet, préalable à l'appropriation du service électrique, elle-même condition de la pérennité des équipements et donc des bénéfices de l'électrification.



© Fondation Énergies pour le Monde

Madagascar, projet Boréale.

.....

« Aujourd'hui, il faut se déplacer à 40 km pour avoir accès aux machines nécessaires pour travailler le bois. Une fois que l'électricité sera là, il n'y aura plus besoin de faire ce trajet, ce sera un gros gain de temps. On pourra travailler en collaboration avec les autres menuisiers, acheter les machines en commun. »

Le menuisier de Kouramangui
(localité de Guinée électrifiée en 2019 par la Fondation Énergies pour le Monde).

.....

Plus le projet est complexe, plus ce travail pédagogique de renforcement des capacités des usagers et de leurs représentants est essentiel et ardu. Devenir usager d'un miniréseau, dont l'installation est pourtant attendue, voire fantasmée, n'est pas un choix simple pour une famille rurale. L'équipe portant le projet doit expliquer et convaincre. Faire œuvre de conviction est d'autant plus important que la décision de se raccorder ou non au réseau électrique exerce une influence importante sur la décision d'un ménage voisin de faire de même.

Les actions de sensibilisation visent avant tout à s'assurer de la bonne compréhension par les futurs usagers des atouts et limites d'une électrification décentralisée par énergies renouvelables ; elles portent notamment sur deux contraintes élémentaires :



Le primat des activités économiques dans la définition du tracé du réseau local : un accès discriminant à l'électricité ?

Alors que les premières réalisations de l'ERD, inscrites dans la dynamique de l'aide au développement des années 1980 à 2000, s'étaient focalisées sur les usages d'abord collectifs, puis domestiques, les usages économiques font aujourd'hui l'objet d'une attention accrue des partenaires financiers et des investisseurs. Ces acteurs économiques sont créateurs de valeur et d'emploi, ils consomment de l'électricité, principalement en journée, au moment où, ne nécessitant pas de stockage, elle est la moins chère.

Pourtant, les cibler exclusivement, c'est créer les conditions d'une nouvelle fracture sociale, alors que la majorité de la population rurale vit de l'agriculture de subsistance, au rythme des saisons.

- **la nécessité d'un usage rationnel de l'énergie** selon les principes d'efficacité énergétique* ;
- **la nécessité d'un paiement de l'électricité** même si sa source est gratuite et inépuisable.

Concrètement, ces sessions de sensibilisation et ces actions d'information peuvent se décliner sous différentes formes :

- oralement, en groupe et individuellement, pour s'assurer que des instructions identiques sont communiquées à tous, puis expliquées à chacun si nécessaire ;
- par un support imagé, afin de garder une trace des échanges oraux et un éventuel support en cas de doute ;
- enfin, des campagnes de communication par une radio locale permettent de rappeler, régulièrement et uniformément, les messages les plus importants.

Par ailleurs, le tracé du réseau comporte une dimension à ne pas sous-estimer : les questions relatives au foncier. Elles revêtent, quels que soient le pays ou la culture, une importance particulière. La problématique de l'emplacement des infrastructures de production, et principalement des modules solaires (qui requièrent des superficies significatives à proximité des localités), doit être abordée rapidement afin de connaître la disponibilité des terrains pour l'obtention de droits d'usage ou de bail.

Créer, dès la phase de conception d'un miniréseau, une association d'usagers faisant une place de choix aux femmes peut être initialement perçu comme la création d'un contre-pouvoir par les élus et les anciens, mais présente plusieurs avantages pour garantir la bonne gestion du système :

- **la transmission des informations pertinentes** sur les usages de l'électricité, leurs bénéfices et leurs risques ;

- **l'appréhension des questions ou des inquiétudes** manifestées et la possession d'un canal pour y répondre ;
- **le cas échéant, la limitation du clientélisme politique** que crée fréquemment la mise en place d'un service de l'électricité.

Enfin, l'expérience montre que la diaspora vivant en milieu urbain électrifié doit être également ciblée. Lui diffuser des messages clairs sur les modalités d'électrification de leur localité d'origine, et particulièrement sur l'usage rationnel de l'énergie, permet d'éviter qu'elle n'envoie des appareils de seconde main énergivores aux familles restées au village.

Pendant et après la phase de mise en service, il est indispensable de poursuivre la coopération pour garantir la bonne appropriation du service par les usagers, et sa pérennité.

Avant la mise en service, le travail réalisé avec les acteurs locaux vise à créer une acceptation du projet et à favoriser l'adhésion à sa mise en œuvre. Une fois les travaux lancés, le défi consiste à créer l'appropriation, ce sentiment de responsabilité vis-à-vis du service et des équipements, d'adhésion aux logiques associées à la présence de l'électricité. Le susciter et le faire perdurer est loin d'être une évidence (cf. encadré).



Coconstruction des outils de sensibilisation et d'information

« Sur le plan de la communication, un acteur local est le mieux placé pour savoir quels mots utiliser auprès des populations et des usagers pour désigner tel concept (la mise aux normes, par exemple...), tel mot (kilowatt) ou telle expression (économiser l'énergie), comment expliquer les risques d'électrocution, les possibilités de surconsommer ou d'être en impayés d'énergie... »

De même, lorsqu'il s'agit de concevoir des supports d'information sur le fonctionnement d'un réfrigérateur, sur les intérêts et particularités des systèmes d'éclairage, ou bien sur les dangers de l'électricité, un travail de co-élaboration apparaît essentiel (traduction dans la ou les langues locales, conception de dessins figuratifs...). »

Marie-Christine Zélem est professeur de sociologie à l'université de Toulouse-Jean-Jaurès et coresponsable du pôle politiques environnementales et pratiques sociales au CERTOP-CNRS. Retrouvez l'intégralité des articles sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>

Pendant les travaux, jusqu'à la mise sous tension.

L'installation d'une infrastructure électrique au sein d'une localité est toujours un événement majeur, une révolution annoncée... et une source de tentation. Dans le cas d'un miniréseau, les équipements viennent généralement de la capitale, au même titre que l'équipe de monteurs. Ils représentent un investissement dont le montant, même inconnu des habitants, est perçu par eux, à juste titre, comme très supérieur au revenu d'une vie, même pour le plus chanceux d'entre eux.

S'assurer de l'adhésion de la population pour réduire les risques de vol et créer le sentiment d'appropriation implique d'aller au-delà des sensibilisations et des informations préalables déjà

évoquées :

- **en faisant participer la communauté à la réalisation des travaux d'installation** : solliciter une main-d'œuvre locale pour la réalisation des travaux de génie civil (creusement de tranchées, déchargement ou transport de matériel au sein de la localité) permet également, dans le meilleur des cas, d'identifier un possible technicien pour la gestion des équipements ;
- **au moment de la mise en service, en ouvrant aux habitants les portes de l'installation** : une visite guidée des locaux techniques permet de faire comprendre aux usagers comment on passe de la radiation naturelle offerte par le soleil au courant délivré jusqu'à une habitation ou un ouvrage, d'expliquer la fonction de chaque composant,



Appropriation des installations : les biais des approches du développement

Au-delà de la propriété des infrastructures et des équipements, l'appropriation dépend du paradigme de développement qui a prévalu lors de la conception et du portage du projet d'électrification.

Les limites du don et de la gratuité

Les modèles de développement reposent sur ce qui est souvent perçu comme une forme de don : les « experts » installent gracieusement des technologies, ce qui ne permet pas d'en connaître la valeur et moins encore d'y accorder de la valeur. Cette perception, quelle que soit la technologie, se traduit par des difficultés à se l'approprier. La gratuité du service rendu renforce cette notion de « dû ». Chaque problème, chaque panne, donne lieu à un sentiment d'attentisme ou d'exaspération, sans que l'on sache non plus ce qu'il fallait faire ni vers qui se tourner.

Par exemple, lors de l'installation de puits hydrauliques à Madagascar, les villageois d'Amberiveri, qui n'avaient pas été associés au projet, ne s'autorisaient pas à gérer les puits, qu'ils ne désignaient pas par un pronom possessif : « nos puits », mais par un simple article : « les puits ». Cela traduit l'absence d'appropriation, conduisant à une absence de gestion et de maintenance, à des formes de sabotage et à de rapides dysfonctionnements jamais résolus.

Le modèle participatif et ses ambiguïtés

Privilégiant les individus, plus anthropocentré, ce modèle fait également face à des résistances locales. Consistant à prendre en compte les cultures et les aspects sociopolitiques pour gérer des identités territoriales, il propose un schéma d'organisation issu d'une pensée occidentale et « *met les individus "sous contrat", distribuant les droits et les devoirs de chacun, y compris celui de la sanction* » (Winter, 2011), à travers une sorte de gouvernance universelle, décrétée en lieu et place des modes de gouvernance coutumiers. Cette « démocratisation », incarnée par les « comités d'usagers » décidés ad hoc, est susceptible de générer des conflits dans les villages, entre les clans, entre les familles, entre les villageois et les représentants habituels de l'autorité.

Dans le cadre du projet Alizés électriques en Mauritanie, les comités de gestion doublaient les organisations sociales et politiques existantes, sans tenir compte des clivages qui les traversaient, créant un second lieu décisionnel, qui ne recouvrait pas toujours exactement le premier, généralement plus étroit et de surcroît hiérarchisé (Caratini, 2005).

La « tragédie des biens communs »

Cette notion, utilisée pour décrire les effets négatifs de la mise à disposition d'un collectif de personnes (quartier, village, communauté...) d'une ressource, d'un bien ou d'un équipement à partager (eau, air, foncier...), n'est pas étrangère à l'ERD. Même si, à l'origine, elle concernait les biens gratuits, elle s'applique dans le cas d'un système commun de production d'énergie aux usages individualisés. Dès lors que les usagers disposent d'un compteur individuel, même s'ils paient à hauteur de ce qu'ils consomment (carte prépayée, facture...), les surconsommations de quelques-uns peuvent impacter le système et le détériorer (multiplication de pannes).

L'expérience des Amérindiens Palikurs sur l'Oyapock est similaire à beaucoup d'autres en Afrique subsaharienne. Ceux qui disposent d'un compteur individuel vendent parfois de l'électricité aux voisins qui n'ont pas eu les moyens financiers de bénéficier de l'installation électrique. On observe parfois plus de quinze branchements « irréguliers » sur un même compteur. Cela se traduit régulièrement par des arrêts des centrales sollicitées au-delà de leurs capacités de production. Ces dysfonctionnements résultent à la fois d'un sous-dimensionnement des infrastructures électriques, dont les causes peuvent être multiples (contraintes financières, étude des besoins trop succincte, tarification inadaptée), et d'une méconnaissance générale du fonctionnement de ces technologies. Dès qu'ils disposent d'un branchement fonctionnel, certains utilisateurs se comportent en *freeriders* et s'autorisent des pratiques (revente pour les uns, vols pour les autres) logiques, mais inadaptées, exclues des scénarios des promoteurs du projet d'électrification.

Marie-Christine Zélem est professeur de sociologie à l'université de Toulouse-Jean-Jaurès et coresponsable du pôle politiques environnementales et pratiques sociales au CERTOP-CNRS. Retrouvez l'intégralité des articles sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>

schémas illustrés à l'appui, de montrer le dispositif de stockage pour la nuit ou les jours sans soleil, les actions de maintenance à réaliser, etc.

Après la mise sous tension du réseau.

Les premiers moments d'accès à l'électricité sont particulièrement importants. Il est nécessaire de veiller à ce que les habitudes des usages de l'électricité qui s'installent ne créent pas d'effets pervers qui soit décevant.

Servante de la société moderne et de ses manifestations tangibles (télévision, Internet), l'arrivée de l'électricité s'accompagne souvent de la multiplication des récepteurs électriques dans les foyers. Or, cette situation comporte deux risques :

- **les récepteurs, basse consommation ou non, sont mal utilisés et leur usage inadapté induit**

des surconsommations énergétiques : réfrigérateur laissé ouvert grâce à un morceau de bois, conservateur à vaccins accueillant aussi des denrées alimentaires, lumière laissée allumée toute la nuit pour protéger la maison des mauvais esprits...

Ces usages détournés de leur fonction initiale montrent combien les notions de maîtrise de l'énergie et d'usage rationnel de l'énergie, intimement liées à tout recours aux énergies renouvelables, demandent sensibilisation et formation, alors même que l'utilisation de l'électricité est innovante :

- **les récepteurs utilisés, même correctement, sont de qualité médiocre et très énergivores :** hormis les ampoules LED, largement répandues, les appareils électriques à basse consommation



© Fondation Énergies pour le Monde

Branchements multiples.

ne sont pas nécessairement disponibles, le coût de transport et la faiblesse du pouvoir d'achat des clients potentiels ne favorisant pas la mise en place d'un marché pour ce type de produits.

Même dans le périmètre du réseau national, où les tarifs sociaux de l'électricité issue du réseau ne pénalisent pas l'utilisation d'appareils bas de gamme, ces récepteurs restent chers.

Le consommateur se contente souvent de matériel de seconde main ou dont le prix attractif s'explique par des défauts de conception (interrupteurs mal placés, fil cassé...).

Or, en mode décentralisé, imposer des récepteurs à haute efficacité énergétique ou inciter à leur utilisation est indispensable. Les usages détournés ou l'utilisation de récepteurs inadaptés se traduisent par une facture d'électricité très supérieure aux prévisions et par une insatisfaction communicative des usagers. Premiers affectés, les plus gros consommateurs sont souvent des notables écoutés et respectés ; leurs griefs sont connus et répétés, parfois jusqu'à créer un conflit avec l'opérateur local (même si la grille tarifaire a été validée par l'organe national de régulation du secteur électrique). Les pouvoirs publics régionaux ou nationaux, trop distants, ne peuvent rappeler leurs engagements aux parties prenantes.

Tout projet peut et doit donc se préoccuper de la maîtrise de la demande en électricité et de la bonne compréhension par les usagers de ses contraintes. Plusieurs leviers peuvent être activés :

- **fournir du matériel répondant aux besoins des populations, accompagné de modes d'emploi compréhensibles par les utilisateurs** : les nouvelles modalités d'électrification individuelles (par exemple le PAYG ; cf. chapitre 3.2.2.) comportent souvent des récepteurs exclusifs de tout autre matériel ;
- **prévoir une incitation tarifaire à l'utilisation de récepteurs basse consommation** : chaque

opérateur est libre de la tarification, à la condition d'une validation par l'organisme de régulation du secteur électrique ;

- **prévoir le service après-vente (SAV)**, c'est-à-dire un dispositif d'entretien/réparation des récepteurs basse consommation.

Au-delà de ces mécanismes incitatifs, le dialogue doit se poursuivre avec l'ensemble des usagers et de leurs représentants :

- **des réunions régulières** regroupant représentants des abonnés, opérateur, maire, chefs traditionnels, sont des occasions d'échanges et de discussions ;
- **l'association d'usagers** est le canal privilégié pour la diffusion d'informations, la connaissance des insatisfactions et le dialogue ;
- **Des médiateurs** bien choisis peuvent être des alliés efficaces pour régler certains conflits qui, tôt ou tard, surgiront sur la qualité du service électrique (principalement en période de très faible gisement), la grille tarifaire et son évolution, les nouveaux raccordements... ○



« Toute ressource "commune" tend à être surexploitée, car nul n'a le pouvoir d'en limiter l'usage et chacun s'efforce d'en bénéficier le plus possible. »

Hardin, 1968, cité par Marie-Christine Zélem.



Un étiage bien négocié à Madagascar

La microcentrale hydraulique de 42 kW installée à Antetetzambato, au centre de Madagascar, fonctionne depuis décembre 2002. L'étiage du cours d'eau qui l'alimente dure de quinze jours à trois semaines par an, période pendant laquelle la production électrique est interrompue. Cette problématique a été anticipée et, avant même la mise en eau de la centrale, **un accord a été négocié entre l'exploitant, les abonnés et les agriculteurs proches : l'eau, durant cette période, est entièrement affectée à l'agriculture.**

Depuis dix sept ans, pendant les périodes d'étiage, les usagers de la centrale reviennent à leurs anciennes habitudes énergétiques, sans que cela ne génère le moindre conflit.



© Fondation Énergies pour le Monde

Microcentrale hydraulique d'Antetetzambato (Madagascar) - 42 kW.

2.4.3.

Un des principaux défis consiste à assurer la présence durable du service de l'électricité alors que le secteur local est encore balbutiant.

Afin de garantir à leurs usagers un accès durable à l'électricité, les infrastructures et les équipements, quelles que soient les technologies mises en œuvre, doivent idéalement répondre aux quatre conditions suivantes :

- **reposer sur des matériels à la fois de bonne qualité et à durée de vie longue ;**
- **bénéficier d'un service après-vente efficace et d'un réapprovisionnement fiable en pièces détachées ;**
- **faire l'objet d'une collecte et d'un recyclage des composants en fin de vie ;**
- **faire l'objet d'une réelle appropriation par leurs exploitants et leurs utilisateurs.**

Cette dernière condition repose en partie dans les mains des acteurs locaux, sous l'égide du porteur de projet et de l'équipe qui assure l'information et la sensibilisation locales. Pour ce qui est des trois autres conditions, qui dépendent de la structuration du marché régional ou national, malgré quelques progrès significatifs, elles sont, en pratique, rarement réunies.

La qualité et la durée de vie des équipements ne sont plus un obstacle à la diffusion de l'ERD, mais l'absence de normes empêche l'apurement du marché.

En principe, la durée de vie des principaux composants d'un système électrique par énergies renouvelables est élevée : plus de trente ans pour les unités de production hydroélectriques, les

modules solaires photovoltaïques, les structures associées ou les câbles.

Pourtant, la qualité médiocre et la faible longévité de certains équipements disponibles sur le marché sont une préoccupation récurrente, particulièrement en Afrique subsaharienne, où normes et contrôles de qualité sont inexistants ou défaillants.

Le sujet se pose avant tout dans le cadre des petits équipements domestiques diffusés en vente directe.

Il est possible de se procurer des lampes solaires portables ou des systèmes individuels (de 30 à plus de 200 Wc) sur les marchés ou dans les magasins d'électroménager. Les composants, vendus sans attention à leur assemblage, ne répondent souvent à aucune norme et ne sont soumis à aucun contrôle, ni en douane ni sur les lieux de leur commercialisation. De plus, les revendeurs manquent de personnel qualifié capable d'effectuer un minimum d'autocontrôle.

Concernant les lampes solaires portables :

- sur un même marché, des dizaines de modèles différents sont disponibles, pour des prix allant du simple au quintuple ; si le service rendu s'affiche comme équivalent, la différence de prix traduit une différence de robustesse, considération que l'économie d'un ménage rural permet rarement ;
- beaucoup de ces lampes, produites massivement, souvent en Asie, sont « jetables » car non réparables, et sont sources d'importantes

pollutions nouvelles (plastique, électronique, piles et batteries).

Concernant les systèmes solaires individuels :

- les plaques signalétiques des modules indiquent souvent de fausses informations sur le nom du fabricant et les caractéristiques techniques (cf. encadré), tandis qu'aucune indication ne permet de référencer les régulateurs, les onduleurs ou les batteries ;
- ces systèmes résultant de l'assemblage disparate de composants mal adaptés affichent des durées de vie de six mois à trois ans, contre cinq à dix ans pour des équipements similaires mieux conçus et mieux installés ;
- à ces composants peu performants, de marque inconnue, s'ajoute parfois le manque de compétences des installateurs ;
- selon les estimations d'experts, 80 % à 90 % des installations de ce type sont hors service en Afrique.

Voilà pour les constats. La bonne nouvelle, c'est que la situation observée n'est pas irréversible.

Les logiques de projet ou de location-vente tirent la qualité des produits vers le haut.

Le caractère capitalistique des énergies renouvelables, qui pose problème pour le financement des installations par les usagers eux-mêmes, devrait à terme favoriser l'amélioration de la qualité des produits. En effet, que le service électrique procède d'une approche interventionniste ou libérale (cf. chapitre 2.4.1), financeurs et investisseurs requièrent des produits robustes et fiables :

- les projets mis en œuvre dans le cadre de programmes d'électrification validés par les institutions publiques doivent **se conformer à la réglementation et aux normes techniques** destinées à garantir la qualité, la performance, la



La non-fiabilité des valeurs annoncées sur les modules PV

Lors d'une formation sur le photovoltaïque, au Bénin en 2018, à destination des professionnels de l'énergie, le formateur a demandé aux participants, eux-mêmes revendeurs et installateurs d'équipements PV, d'apporter un ou plusieurs modules pour des travaux pratiques.

Pendant l'exercice, les participants ont réalisé des mesures en conditions réelles sur huit modules PV neufs disponibles sur le marché local à prix attractif.

Le résultat des mesures est sans appel : les performances réelles sont inférieures de 15 à 30 % à celles annoncées sur la fiche signalétique du produit, et aucun des modules n'est conforme au minimum d'exigence normative des produits disponibles en Europe.

Source : Étienne Sauvage, HACSE.

sécurité et la longévité des installations ;

- pour **rentabiliser leurs propres investissements et satisfaire leurs investisseurs**, les exploitants d'un service de location-vente de type *pay as you go* (cf. chapitre 3.3.), qui visent une large diffusion de leurs solutions, ont tout intérêt à utiliser des composants fiables et durables, qui respectent les normes en vigueur quand elles existent.

Dans les deux cas, l'approvisionnement en produits de qualité est un des piliers du modèle économique et bénéficie des récents progrès réalisés par les industriels :

- les contrôles systématiques et certifications associées à la production en grande série des équipements de régulation et de conversion d'énergie ont permis de lever les obstacles initialement rencontrés ;
- les batteries, pourvu qu'elles soient bien sélectionnées selon l'usage prévu, apportent les garanties suffisantes pour un service de deux à dix ans selon les technologies aujourd'hui disponibles.

Si, dans le cadre de programmes structurés ou de location-vente, la qualité des composants d'un système décentralisé n'est plus un obstacle à la pérennité du service électrique, il n'en est pas encore de même de la capacité de réparation in situ.

En milieu rural, le service après-vente et l'approvisionnement en pièces détachées souffrent encore de nombreuses défaillances.

Les premières pannes, dès qu'elles durent plus de quelques heures, sont souvent marquées par des signes de désaffectation, voire par des refus de payer l'électricité. L'efficacité du service après-vente et la disponibilité des pièces de rechange dans des délais raisonnables sont donc deux conditions sine qua non du fonctionnement pérenne des systèmes d'électrification et de leur viabilité économique.

Concrètement, cela nécessite un suivi préventif régulier des installations pour en vérifier le bon

fonctionnement et identifier les éventuels risques de panne, mais il faut aussi et surtout des prestataires de services après-vente disponibles et compétents, ainsi que la présence de filières d'approvisionnement et de distribution des pièces détachées.

Le suivi préventif requiert des personnes référentes formées et disponibles à proximité des systèmes d'électrification pour appliquer des protocoles appropriés permettant d'identifier les anomalies de fonctionnement et les risques de panne. Ce suivi préventif réduit les déplacements de techniciens spécialisés et les besoins en pièces détachées, et donc le coût d'exploitation.

Ce n'est ni l'identification ni la formation de ces personnes référentes qui pose le plus souvent problème, mais leur *turn-over*, une fois formées, particulièrement lorsqu'il s'agit de territoires reculés. La sélection d'une personne d'âge mûr, faisant autorité et vivant dans la localité, est une des parades.

Par ailleurs, en milieu rural, **les prestataires de services après-vente** sont en nombre insuffisant. Ils manquent de personnel qualifié (techniciens spécialisés) et ne disposent pas de réseaux déployés sur l'ensemble des territoires ruraux électrifiés. Il en est de même pour les filières d'approvisionnement et de distribution des pièces détachées.

Souvent, ces insuffisances ne permettent pas d'effectuer correctement la maintenance préventive ni d'intervenir rapidement pour le dépannage des systèmes d'électrification, nuisant à l'adhésion des usagers et donc à la pérennité du service.

En conséquence, pour la réussite d'un projet, un effort important doit être porté sur les deux points suivants :

- **la facilitation de l'importation et de la livraison sur site de pièces de rechange**, dans une logique d'anticipation et d'approvisionnement au coût minimum ;

• **l'élaboration des mécanismes de mutualisation** assurant de mettre à disposition des exploitants, à partir de lieux de stockage sécurisés, des composants susceptibles de faire défaut. Des questions similaires sont à résoudre pour l'entretien et la maintenance des récepteurs électriques pour lesquels les vendeurs ne peuvent aujourd'hui apporter une assistance après-vente.

La prise en charge des équipements en fin de vie reste le maillon faible de la chaîne logistique.

Quelles que soient les précautions prises pour assurer leur fonctionnement (suivi préventif, entretien et maintenance, disponibilité de pièces détachées), les composants des systèmes d'électrification ont des durées de vie plus ou moins longues mais, dans tous les cas, limitées. Si rien n'est fait pour les prendre en charge en fin de vie, ils représentent une nouvelle source de pollution (plastique, électronique, piles et batteries). C'est aussi le cas d'équipements d'électrification encore réparables mais abandonnés par leurs utilisateurs.

.....

« Les produits solaires Lagazel sont fabriqués localement en Afrique par des techniciens formés à cet effet. Le premier atelier, opérationnel depuis septembre 2016 au Burkina Faso, a fabriqué près de 60 000 lampes solaires en deux ans. Cette approche innovante permet à Lagazel de garantir la durabilité sociale et environnementale de la chaîne de valeur, comme un SAV de proximité dans les pays où nous avons des ateliers. D'une part, cela donne confiance au client qui investit dans un équipement solaire ; d'autre part, la possibilité de réparer un composant d'une lampe plutôt que de remplacer la lampe à l'identique allonge la durée de vie du produit et réduit le volume de déchets.

Lagazel est accompagné par le Fonds français pour l'environnement mondial de l'Agence française de développement pour accélérer la réplique des ateliers de fabrication sur le continent africain. L'objectif : cinq ateliers de fabrication actifs d'ici 2025, permettant la création d'une centaine d'emplois locaux. »

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 ; il a fondé Lagazel en 2015 avec son frère Maxence, avec pour objectif d'industrialiser la fabrication de lampes solaires de qualité sur le continent Africain.

Retrouvez l'intégralité de l'interview sur la page web de l'ouvrage :

<http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>

.....

Au problème des composants des systèmes de production d'électricité, s'ajoute celui des récepteurs électriques, notamment les déchets électroménagers. Ils posent des questions spécifiques de gestion des déchets, en raison des effets induits par les fluides (pollution des eaux, des sols, points noirs paysagers, décharges sauvages, largage de puissants gaz à effet de serre, etc.).

Prendre en charge les composants et les récepteurs en fin de vie ou abandonnés requiert l'existence de filières de récupération et de recyclage, ainsi que de stockage pour des produits dangereux. Si de telles filières sont encore balbutiantes en Afrique subsaharienne, l'expérience en la matière est grandissante. L'exemple de la société burkinabé Beta fait la preuve de cette prise de conscience (cf. encadré).

L'appropriation des infrastructures et des équipements reste la meilleure garantie de leur pérennité.

La bonne compréhension du fonctionnement des infrastructures et des équipements par leurs utilisateurs (maître d'ouvrage, exploitant, usagers) et l'adhésion au service rendu de ces derniers sont des conditions nécessaires à la pérennité du service. Réussir à faire naître le sentiment de responsabilité vis-à-vis du service et des outils le délivrant est une des phases les plus délicates des opérations d'électrification rurale décentralisée (cf. chapitre 2.4.2.).

Cette appropriation est d'autant plus nécessaire qu'il y a de parties prenantes différentes et interdépendantes. Elle est ainsi primordiale en logique interventionniste, dans le cas d'un projet d'électrification par miniréseau par exemple (cf. chapitre 3.5.3.). Les constats de terrain montrent l'importance d'une implication d'acteurs



Un exemple d'initiative de recyclage de batteries

Attentif à la préservation de l'environnement, M. Kabré, directeur de la société Beta, installée à Koupéla, à l'est de Ouagadougou, a fait de la collecte des composants photovoltaïques son principal combat. Chaque année, il vend environ 5 000 lampes et systèmes solaires individuels par des canaux de distribution informelle.

Les accumulateurs rechargeables des lampes solaires et les batteries étanches qui sont remplacés sont collectés et stockés. Dès que la capacité de transport du véhicule utilitaire est atteinte, ils sont livrés à la société Bedaya, basée dans la capitale. Contre une somme de 8 000 à 12 000 FCFA (12 à 18 €) par batterie de 100 Ah/12 V, Beta les vend à Bedaya, qui les intègre dans son circuit de collecte des batteries de voiture. Livrés finalement à Accra, au Ghana, accumulateurs et batteries sont expédiés en Inde pour leur recyclage.

rodés au montage de programmes d'accès à l'électricité, associant maîtrise de la méthodologie, connaissance du terrain et capacité de dialogue entre les différentes parties prenantes, qu'elles soient étrangères ou locales, financières ou techniques (cf. chapitre 2.4.1.). ●

2.4.4.

Les enjeux liés à la tarification et au paiement de l'électricité doivent être soigneusement anticipés pour assurer la viabilité et la pérennité du service.

La pérennité d'un système d'électrification dépend en grande partie de la viabilité de son exploitation, et donc de la politique tarifaire adoptée pour la vente du service, ainsi que des modalités de paiement associées.

Quelle que soit la logique sous-jacente, interventionniste ou libérale, définir un tarif pour un service relève d'un arbitrage de faisabilité entre contraintes d'exploitation et opportunités commerciales. La grille tarifaire et le dispositif de recouvrement mis en place doivent ainsi relever un double défi :

- générer des recettes suffisantes pour dégager des résultats d'exploitation compatibles avec l'impératif de viabilité économique, voire de rentabilité du service, si possible excédentaires (l'excédent permettant notamment d'investir dans de nouveaux raccordements ou d'anticiper le renouvellement de matériel) ;
- être compatibles avec la volonté et la capacité réelle de paiement des usagers, ce qui, en milieu rural, est complexe étant donné la faiblesse et la saisonnalité des revenus.

La tarification répond à trois grandes fonctions.

Pour un miniréseau, définir la tarification relève d'une triple équation ; en effet, dans ce cas, trois types d'intérêts, parfois contradictoires, se juxtaposent :

- **les entreprises exploitantes** cherchent à accroître leurs recettes ;
- **les pouvoirs publics**, notamment l'Etat, cherchent à étendre le service de l'électricité au plus

grand nombre à un prix acceptable ;

- **les usagers** cherchent à réduire autant que possible leur budget énergétique.

A ces trois intérêts, dont la convergence ressemble à la quadrature du cercle, correspondent les trois grandes fonctions d'une tarification : couvrir les coûts, assurer une redistribution équitable et influencer les usages.

La fonction de couverture des coûts.

Couvrir les coûts engendrés par le système mis en place pour assurer l'offre du service en question est déterminant pour l'équilibre durable des comptes d'exploitation du système, et donc la viabilité de ce dernier.

Dans le cas idéal, les tarifs du service doivent permettre de couvrir tous les coûts liés à l'exploitation :

- l'amortissement des infrastructures ;
- le maintien des infrastructures (maintenance préventive et remplacement des composants) ;
- les frais de fonctionnement et les frais généraux de gestion du service ;
- les risques d'exploitation (assurances) ;
- le développement des infrastructures ;
- la rémunération des investisseurs ;
- la marge bénéficiaire de l'opérateur.

La réalisation de cet objectif de couverture des coûts est parfois entravée par des choix économiques et sociaux qui échappent au concepteur ou, après lui, à l'exploitant du système.

La fonction redistributive.

Les pouvoirs publics peuvent décider de mettre en place des mécanismes de transfert de revenus entre différentes catégories d'usagers, notamment dans un souci d'accessibilité au service aux familles ou de développement de certains secteurs d'activité économique.

L'instauration de tarifs dits « sociaux », qui ne reflètent pas la réalité des coûts, repose le plus souvent sur l'existence d'un mécanisme de péréquation tarifaire : un seul et même tarif s'applique à deux usagers présentant le même profil de consommation, quelle que soit leur localisation sur le territoire. Cette solidarité entre population urbaine et population rurale est mise en œuvre dans la quasi-totalité des services publics dont la desserte est organisée en réseau. Lorsqu'elle n'affecte pas la faisabilité d'un projet d'ERD, la péréquation favorise l'accessibilité du service au plus grand nombre ; en ce sens, elle est souhaitable, à condition de reposer sur un périmètre territorial adapté (cf. les préconisations formulées en partie 4).

L'Etat peut chercher à favoriser certains secteurs ou certaines activités économiques afin de stimuler leur développement, en les faisant bénéficier de tarifs particulièrement bas. Ces derniers renforcent les externalités positives engendrées par l'usage de l'électricité mais ne permettent pas de couvrir la totalité des coûts : une sous-tarification du service est donc nécessairement corrélée à un mécanisme de subvention (directe ou indirecte) à l'opérateur.

Dans la majorité des pays en développement, les systèmes de tarification des sociétés électriques font apparaître cette redistribution et distinguent généralement plusieurs catégories de tarifs : social, petit artisanat, industrie, éclairage public, pompage, etc. Dans la mesure du possible, un projet d'ERD met également en place ce type de segmentation.

En approche libérale, au contraire, la tarification est libre : le promoteur peut optimiser sa politique

tarifaire selon sa stratégie commerciale. Si la politique du nombre est nécessaire pour attirer de nouveaux investisseurs, celle de la sécurité d'un paiement régulier est tout aussi pertinente pour confirmer les prévisions d'un plan d'affaires.

La fonction de signal.

Outre les fonctions d'équilibre économique et de redistribution, la tarification constitue un mécanisme déterminant d'orientation des choix économiques de l'utilisateur d'un service électrique. Le tarif est en effet l'une des principales informations considérées par l'utilisateur pour choisir ou non d'adopter le service, ou pour choisir entre différents niveaux de service.

Le « signal tarifaire » est ainsi utilisé pour influencer le comportement des usagers, dans le but de faire coïncider leur choix avec l'optimum économique du service. Par exemple, on distingue l'usage nocturne, faisant appel au stockage sur batteries, de l'usage diurne, faisant appel à la seule production solaire¹ : le tarif, variable, va inciter les usagers à consommer l'électricité en dehors des heures nocturnes, qui correspondent à des coûts de production plus élevés.

Ce qui est vrai pour l'utilisateur l'est symétriquement pour un opérateur développant ses ventes dans un contexte de tarifs régulés : si le tarif associé à un usage (domestique, par exemple) lui garantit une marge moindre que celui associé à un autre type d'usage (productif, par exemple), il axera ses efforts de promotion vers le second. La tarification permet ainsi d'orienter les décisions d'investissement vers des zones ou des secteurs particuliers.

1. De nombreux usages peuvent être concentrés durant les périodes de production (milieu de journée pour le solaire, hautes eaux pour l'hydraulique) : les activités industrielles et artisanales, les usages thermiques pour le froid et le chaud fortement stockables, les usages agricoles liés aux dates de récoltes ou de transformation.

Prendre en compte l'équité est un défi difficile à relever.

La viabilité économique de l'électrification rurale est pénalisée par des investissements et des charges d'exploitation (notamment de personnel) par usager qui sont plus élevés qu'en zone urbaine. En conséquence, alors même que les populations rurales subsahariennes sont économiquement plus fragiles, le coût d'accès à l'électricité pour elles est plus élevé.

A priori, l'iniquité tarifaire devrait être la règle.

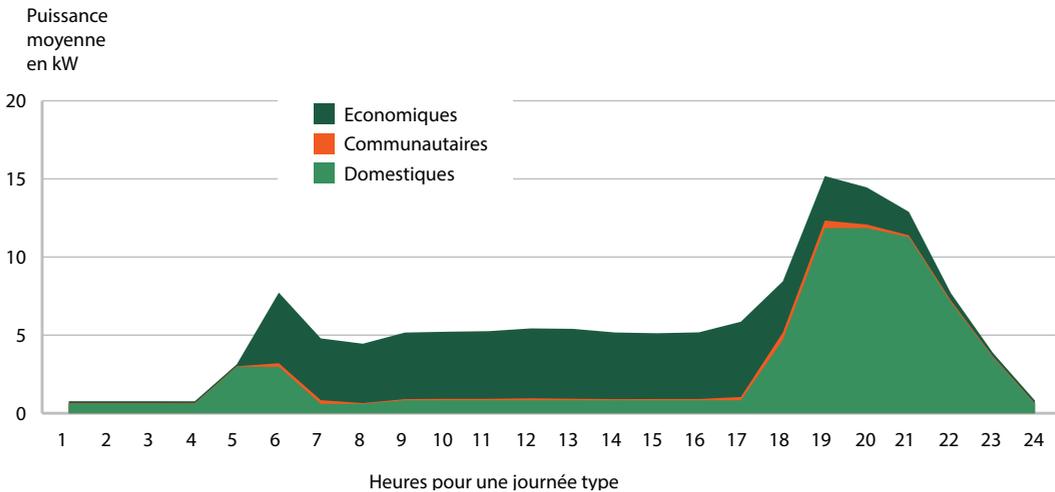
Trois facteurs, déjà évoqués (cf. chapitre 2.1.2.), se cumulent pour expliquer la différence de coûts qui s'opère au détriment du milieu rural : un nombre d'abonnés plus réduit, une grande dispersion de la clientèle, et un facteur de charge* nettement plus faible, de l'ordre de 25-30 % en milieu rural contre 60-70 % en milieu urbain.

Ce facteur de charge plus faible s'explique par deux phénomènes (cf. graphe) :

- une consommation domestique faible, concentrée aux périodes de pointe sur des usages très limités (éclairage, audiovisuel) ;
- le fait que cette faiblesse n'est pas compensée par la consommation des activités économiques, communautaires et administratives, plutôt concentrée en dehors des périodes de pointe.

A cela, s'ajoute un facteur supplémentaire de variabilité du tarif pour les populations rurales : le contexte géographique. Le tarif, pour une même catégorie d'usagers, diffère d'une zone rurale à l'autre en fonction du type d'activités possibles sur le territoire, de son niveau d'enclavement, etc. Avec cet effet paradoxal du point de vue du développement humain, et éthiquement inacceptable : plus le territoire est enclavé et pauvre, plus l'électricité y est chère.

Appel de puissance* : la consommation se concentre en soirée. (Courbe prévisionnelle pour le village de Sambailo en Guinée)



Source : Fondation Energies pour le Monde.

Dans le cadre d'un miniréseau rural, la prise en compte de la variabilité des coûts peut conduire à adopter deux types de démarche de tarification opposés :

- **une tarification ad hoc, définie en fonction du contexte local** : ce fut longtemps le cas en France, et c'est l'approche retenue par les organes de régulation du secteur électrique dans les pays d'Afrique subsaharienne ;
- **un mécanisme de péréquation tarifaire** : il garantit aux usagers un approvisionnement en électricité à des tarifs de vente réglementés aux mêmes conditions économiques pour tous, au titre du « service public de l'énergie ».

La péréquation tarifaire locale est une solution intéressante mais complexe à mettre en œuvre.

Le principe de péréquation tarifaire signifie que **deux consommateurs ayant le même profil de consommation se voient facturer le même tarif, quelle que soit leur localisation géographique sur le territoire**. Il peut être opéré au niveau national ou local, à l'échelle d'une portion de territoire (région par exemple).

Souhaitée par les populations rurales, promise par les leaders politiques, la péréquation nationale, étudiée au Sénégal dans le cadre d'une harmonisation des tarifs de l'électricité, se heurte à des obstacles tels que sa mise en place est reportée.

Un tel mécanisme ne peut fonctionner qu'à deux conditions :

- le pourcentage d'abonnés urbains est nettement supérieur à celui d'abonnés ruraux ;
- les consommations des abonnés urbains et les ressources financières issues de leurs redevances sont élevées.

Or, dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne, la population est encore majoritairement rurale, les consommations électriques en milieu

urbain sont faibles, et le montant des redevances est aléatoire.

Par ailleurs, la mise en place d'un mécanisme de péréquation tarifaire efficace se heurte à la diversité des projets et des situations en milieu rural. Cette hétérogénéité accentue la difficulté : comment choisir une échelle territoriale pertinente et concevoir un mécanisme unique adapté ?

La péréquation locale, fondée sur la solidarité entre classes d'abonnés, est une solution pour faciliter l'accès à l'électricité de la partie de la population la plus défavorisée. Plus simple à mettre en œuvre que la péréquation nationale, son instauration fait face à deux obstacles :

- **la redistribution qu'elle organise au bénéfice des plus vulnérables peut susciter de fortes réticences** des familles influentes sur un territoire ;
- **les compétences et capacités financières des entreprises d'ERD sont rarement compatibles** avec la gestion d'un mécanisme de péréquation, même simple et localisé.

Ainsi, le sujet de la tarification électrique est polémique par nature, sur deux aspects au moins : le niveau des tarifs et le choix entre tarification unique et tarification différenciée. Tout dépend de la position qu'adoptent les différents intervenants (usagers, entreprises d'électrification et acteurs publics nationaux et régionaux).

Le choix de la tarification : des positions difficilement conciliables.

Dans le cas d'un système électrique individuel distribué selon une logique purement marchande (cf. chapitre 3.2.), la difficulté de la tarification est de facto réduite : de nombreux facteurs externes entrent en ligne de compte (attentes des consommateurs, offres concurrentes, taille du marché, normes à respecter...), mais le prestataire fixe le prix de son service de manière autonome, à l'issue d'un arbitrage essentiellement guidé par l'objectif de rentabilité. Par ailleurs, en l'absence

d'interdépendance entre usagers, la défaillance de paiement de l'un d'entre eux ne pénalise pas l'accès au service du reste de la communauté.

En revanche, dès lors que le projet relève d'une logique institutionnelle et pluriacteurs (approche interventionniste) et que l'accès au service est conditionné par une discipline collective des usagers, l'instauration d'une juste tarification acceptée et respectée par tous est nécessaire. Ce qui n'est pas évident. Le concepteur d'un miniréseau doit en effet prendre en considération les points de vue parfois divergents des différentes parties prenantes.

Le point de vue des abonnés : le juste prix.

Les abonnés urbains, sensibles à leur pouvoir d'achat, souhaitent des tarifs les plus modérés possible ; toute hausse est mal vécue et susceptible de provoquer des réactions violentes (protestations, manifestations).

Les ruraux qui n'ont pas encore accès à l'électricité sont, eux, généralement disposés à payer nettement plus que le tarif urbain, compte tenu des économies réalisées grâce à l'électricité et de sa valeur d'usage (télécommunications et éclairage notamment). De nombreuses enquêtes l'ont montré (cf. encadré).



Des tarifs élevés et pourtant sous-évalués

En zone urbaine...

Les tarifs de nombreux pays d'Afrique subsaharienne sont parmi les plus élevés des pays en voie de développement. Une augmentation des tarifs est impopulaire d'un point de vue politique, y compris lorsque les ménages consentent à payer pour des services d'électricité de meilleure qualité. Par exemple, Twerefou, professeur d'économie à l'Université du Ghana, (2014) estime que les ménages du Ghana étaient disposés à payer environ 0,27 US\$ par kWh en moyenne pour des services d'électricité de meilleure qualité, soit environ 150 % des tarifs appliqués au moment de l'étude. De même, Oseni (2017) estime que les ménages nigériens seraient prêts à payer jusqu'à 86 % de plus que le tarif actuel pour des services de meilleure qualité. Pourtant, la sous-tarifcation persiste dans les deux pays.

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

... comme en zone rurale.

L'enquête menée en 2001 dans le cadre de la préparation du plan directeur de l'électrification rurale au Cameroun auprès de 1450 usagers potentiels (représentant chacun une unité familiale de l'ordre de 10 personnes en moyenne) montre que les consommateurs ruraux, petits et moyens, sont **prêts à payer deux à trois fois plus que les usagers urbains.**

Source : Plan directeur d'électrification rurale du Cameroun, 2001



Chiffres-clé

Selon les catégories sociales, 5 à 15 € sont consacrés à l'achat de bougies, de pétrole lampant ou de piles électriques, représentant de **10 à 15 % du budget mensuel familial**.

Sources : Etudes Noria, Fondation Energies pour le Monde.

Néanmoins, si les ménages ruraux sont disposés à payer cher l'électricité (plutôt que de ne pas y avoir accès), ils connaissent le prix payé par les familles raccordées au réseau électrique dans d'autres localités. S'ils doivent payer nettement plus cher qu'elles pour un même service, il faudra leur expliquer pourquoi. Pour que le niveau de tarif soit accepté et que le service soit respecté, la transparence des coûts est de rigueur et suppose, de la part du concepteur, avec le soutien des autorités locales, une argumentation étayée et compréhensible par les usagers.

Le point de vue des exploitants : la rentabilité.

Pour les opérateurs, concessionnaires ou fermiers, la rentabilité guide leurs investissements. Compte tenu des autres opportunités d'investissement, ces sociétés attendent :

- un taux de rentabilité interne (TRI) financier de l'ordre de 15 % ; et/ou
- un retour sur investissement (ROI) inférieur à quinze ans, compte tenu des risques propres aux pays de l'Afrique subsaharienne.

Les entreprises sont conscientes que les tarifs ne peuvent pas dépasser ni la capacité ni

la volonté de paiement des usagers, et qu'une augmentation mal ajustée ou mal comprise augmente leur risque. L'optimisation de la tarification, jointe à l'obtention d'éventuelles subventions d'investissement (cf. paragraphe suivant), est l'une des clés de cette rentabilité.



La subvention n'est pas indispensable mais elle favorise une électrification de qualité.

Dans certaines localités africaines, des services se sont développés de façon autonome, sans aucun type de subvention. L'électricité est vendue à un noyau rapproché de consommateurs à des prix très élevés, de l'ordre de 2500 FCFA (soit 3,80 €) par point lumineux et par mois, et les usagers sont satisfaits.

Mais les installations sont très sommaires, ne répondent à aucune norme de sécurité, et le système est à la merci des premières pannes. Une électrification avec des standards professionnels ne peut guère être envisagée dans ces conditions financières.

La tarification, une affaire politique

Les autorités publiques, soucieuses de défendre les usagers, influent sur les tarifs. Par la mise en place de subventions ou d'allègements de la fiscalité, elles cherchent à favoriser les investissements privés dans l'ERD.

Le mécanisme de subvention, qui a pour autre avantage de tirer la qualité des projets vers le haut (cf. encadré), peut cependant créer des concurrences voire des conflits entre projets du fait de son hétérogénéité. En effet, les subventions peuvent couvrir de 30 à 80 % des investissements initiaux, en fonction du territoire considéré et de son potentiel de développement économique.

Par ailleurs, les pouvoirs publics veillent, avec plus ou moins d'autorité selon les pays, au respect de certains principes de tarification. Différents

tarifs sont-ils acceptables pour les distributeurs d'électricité et les abonnés en milieu rural ? Est-il admissible que les promoteurs de projets proposent leurs propres tarifs ? Comment juger que ces tarifs sont appropriés ? Pour répondre, les organismes de régulation du secteur électrique se basent sur l'analyse des *business plans* des investisseurs et exploitants privés, qui semblent les satisfaire. Mais force est de constater que la réponse de la population (peu d'abonnés, faibles consommations) est rarement à la hauteur des simulations.

Il faut souligner que l'implication, encore récente, d'acteurs privés dans un secteur traditionnellement public est dénigrée par certains leaders d'opinion, qui défendent la généralisation des grilles tarifaires en vigueur en milieu urbain et ne tiennent compte ni des situations financières des



La régulation de la tarification du service pour les miniréseaux : l'exemple du Nigeria et du Rwanda

La Commission de réglementation de l'électricité du Nigeria (NERC) réglemente les tarifs des miniréseaux construits par des compagnies indépendantes ayant une capacité de distribution supérieure à 100 kW. L'objectif est d'établir des tarifs fondés sur les coûts, compte tenu des cibles pour les pertes techniques et commerciales. En ce qui concerne les miniréseaux ayant une capacité de distribution inférieure à 100 kW, la Commission acceptera des tarifs négociés avec la communauté.

A l'instar du Nigeria, le Rwanda requiert des tarifs reflétant les coûts pour les miniréseaux. Cependant, un promoteur de miniréseaux ne doit pas obtenir l'approbation du régulateur pour ces calculs de coût avant l'entrée en vigueur de ses tarifs de détail. Les réglementations indiquent ce qu'il faut inclure dans le calcul des coûts. Le régulateur se réserve le droit d'examiner les calculs de coût du promoteur à n'importe quel moment.

Sources :

Bernard Tenenbaum, Chris Greacen, et Dipti Vaghela, « Mini-Grids and Arrival of the Main Grid : Lessons from Cambodia, Sri Lanka, and Indonesia » (Washington, D.C : Banque mondiale, 2018).

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

sociétés nationales d'électricité ni des soutiens qu'elles reçoivent de l'Etat pour leur survie. En conséquence, la plupart des responsables politiques d'envergure nationale soutiennent la mise en place de tarifs bas et la péréquation tarifaire entre zones urbaines et rurales, position reprise par leurs homologues régionaux et communaux (cf. encadré).

Cependant, la situation évolue à la faveur du mouvement de décentralisation, qui s'opère lentement mais sûrement. Le transfert progressif de compétences, l'émergence du concept de territoire et l'accès à un service électrique de qualité constituent autant d'opportunités de développement économique pour les collectivités territoriales. Dès lors, un nouveau dialogue de proximité pourrait s'engager entre maîtres d'ouvrage et exploitants, qui permettrait des aménagements tarifaires consensuels.

Le préfinancement des coûts de raccordement fait tomber la barrière à l'accès.

En ERD, les coûts initiaux de raccordement représentent un obstacle majeur à l'accès à l'électricité, quel que soit le service proposé. De 20 à 50 €/abonné¹ selon les contrats d'abonnement, ils excluent une frange importante de la population, que la variété des contextes ne permet pas d'estimer précisément.

Raccordement au miniréseau ou installation d'un système solaire individuel à l'intérieur de l'habitation de l'utilisateur peuvent être pris en charge sur le budget du promoteur du projet. Ces frais de raccordement sont ensuite fractionnés afin de les rendre « indolores » pour l'utilisateur et refacturés par le biais d'une composante tarifaire périodique qui tient compte, par exemple :



Mali : une grille tarifaire nationale qui s'impose à tous

Au cours de la première décennie des années 2000, le Mali a soutenu le développement de projets d'électrification rurale décentralisée concédés sur appel d'offres à des entreprises privées qui fixaient elles-mêmes leur grille tarifaire.

Le pays est revenu sur cette approche en sollicitant la société publique d'électricité, Electricité du Mali, pour qu'elle reprenne à son compte l'exploitation des infrastructures électriques des chefs-lieux de cercles, initialement concédées à des concessionnaires privés. Depuis lors, c'est la grille tarifaire de la société nationale qui s'applique.

Les raisons de ce changement de stratégie sont diverses. C'est avant tout un choix politique, permettant de réaliser la péréquation sur l'ensemble du territoire au titre du service public, une revendication sociale forte des Maliens. C'est aussi un choix technique : la société nationale paraît plus efficace pour faire fonctionner correctement et durablement les systèmes ERD existants que les opérateurs qui les ont créés et qui, bien souvent, sont en difficulté financière.

1. Source : Fondation Energies pour le Monde.



Parole de professionnel Mamadou Saidou Diallo

Selon vous, quelles sont les principales difficultés rencontrées par les développeurs de miniréseaux dans le contexte guinéen ?

« Il faut tout d'abord préciser que le métier d'opérateur de miniréseaux est récent et encore insuffisamment développé en Guinée. Seuls quelques opérateurs exercent actuellement, dans le sillage des projets d'ERD réalisés entre 2006 et 2013 avec l'appui du Bureau d'électrification rurale décentralisée, devenu depuis l'AGER. Le développement des miniréseaux se heurte à plusieurs difficultés.

Le prix moyen très bas de l'électricité du réseau public, qui varie entre 0,03 et 0,14 dollar/kWh en fonction du type de client, pénalise l'application des tarifs des miniréseaux (généralement 0,50 dollar/kWh min.), les usagers d'ERD ayant souvent tendance à comparer les tarifs des deux systèmes ;

Le manque de professionnalisme a conduit plusieurs opérateurs, souvent ressortissants des villages, à privilégier le caractère social du service sur celui business, plutôt que de rechercher le meilleur équilibre entre les deux.

La très faible implication actuelle du secteur bancaire ne permet souvent pas aux opérateurs d'accéder aux crédits de financement des miniréseaux d'ERD dont ils ont besoin. »

Mamadou Saidou Diallo, ingénieur électro-énergéticien de formation, travaille depuis quinze ans dans le domaine du développement de l'électrification rurale en Guinée ; il est directeur général adjoint de l'Agence guinéenne d'électrification rurale (AGER).

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

- de la distance au réseau ou du type de kit solaire pour le raccordement ; et
- du nombre de pièces, de points lumineux et de prises pour les installations intérieures.

Cette option de préfinancement des travaux suppose une avance de trésorerie et complexifie la tarification, mais, pour l'opérateur, elle présente un double avantage économique et opérationnel :

- elle élargit la base d'abonnés grâce à l'élimination de la barrière que constitue le paiement du coût de raccordement ;
- elle garantit la conformité, la sécurité et la

perennité des installations intérieures ; les travaux pris en charge par l'utilisateur conduisent souvent à des installations électriques approximatives, mettant en danger personnes et biens, et un contrôle avant mise sous tension s'avère indispensable.

Les solutions numériques facilitent le paiement des services électriques.

A l'instar des mécanismes existants en Europe, le post-paiement a longtemps été le principe de paiement des services électriques le plus répandu : les consommations sont calculées par l'opérateur et

réglées par l'usager sur la base d'une facturation mensuelle. Quoique peu coûteux matériellement car limité à un simple compteur ordinaire, le post-paiement s'avère économiquement mal adapté au contexte rural africain :

- **le collecteur doit effectuer de nombreuses visites auprès des usagers**, dont les taux d'impayés restent élevés ;
- **la mise en place d'un dispositif de paiements quotidiens ou hebdomadaires est trop onéreuse** au regard des sommes collectées.

Cette situation n'est pas une fatalité. Les nouvelles

technologies de comptage à distance et de prépaiement par téléphone portable permettent de limiter les risques précités et favorisent un équilibre, voire un excédent des comptes d'exploitation des opérateurs. Ceux du PAYG, appliquant le prépaiement aux systèmes solaires individuels, ont montré la voie. Cette solution est en train de se généraliser rapidement à l'ensemble des schémas de fourniture de services électriques (cf. chapitre 2.3.1.), qu'ils relèvent d'une approche interventionniste ou libérale. ○



Parole de professionnel Olivier Oriol

Le marché du comptage prépayé pour les miniréseaux ruraux est en pleine explosion. Comment une société comme Michaud se positionne-t-elle étant donné son expérience incontestée comme gestionnaire d'énergie ?

« Un lobbying très fort a été réalisé pour imposer le modèle du prépaiement pay as you go en Afrique. Ce système est pertinent en ville, mais pas nécessairement au primo-accédant à l'énergie en zone rurale. Dans des volontés d'équité pour les populations d'un même pays, de nombreux pays en développement imposent ce schéma quels que soient les moyens des abonnés, les modes de production de l'énergie, etc. Mais, comme nous le savons, les schémas urbains ne sont pas toujours transposables au monde rural.

Chez Michaud, notre philosophie est de se positionner à la fois du côté de l'abonné et de celui de l'opérateur, afin de garantir à ce dernier un business plan fiable et crédible. Nous avons conçu le gestionnaire d'énergie pour développer le paiement en forfait prépayé. Ce système est idéal pour les miniréseaux off-grid, car il garantit une consommation d'énergie constante toute l'année et des revenus fixes et réguliers pour l'opérateur. Côté abonné, la facture d'électricité mensuelle est établie lors de l'abonnement et elle est la même tous les mois. Il n'y a donc pas de mauvaises surprises ou de déconnexions intempestives. Ce type de facturation est didactique pour les nouveaux abonnés et simple à gérer pour les opérateurs. »

Olivier Oriol, spécialiste des pays en développement depuis dix ans, travaille actuellement sur les thématiques de l'accès à l'énergie en milieu rural en Afrique ; il est responsable Afrique chez Michaud Export.

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

[Partie 2]

Conclusion

L'électrification rurale se fera par la généralisation des solutions décentralisées, en relais de l'extension de réseau. C'est ce qui s'est passé dans de nombreux pays industrialisés au cours du xx^e siècle et c'est le sens de l'histoire en Afrique subsaharienne.

Les récentes révolutions dans les domaines du numérique et du photovoltaïque, qui ne sont pas encore terminées, jointes à l'impératif de transition écologique, permettent d'entrevoir une décentralisation énergétique accélérée, à moindre coût et inclusive. Mais cette accélération ne verra le jour qu'à plusieurs conditions cumulatives : une évolution des modalités de financement des projets, le maintien des aides à l'investissement, la mise en cohérence des stratégies des bailleurs de fonds, une coordination intelligente entre acteurs privés et publics et entre opérateurs à but lucratif et organisations du développement, et, enfin, la mise en place d'une réelle décentralisation dans chaque pays.

Pour relever le défi, les acteurs ne peuvent donc pas compter sur le seul accélérateur technologique. Ils doivent également tirer les leçons des expériences conduites depuis plus de cinquante ans par les pionniers de l'électrification rurale décentralisée, qui se rejoignent presque toutes en un commandement : ne pas négliger le facteur humain.

Gestion d'un écosystème aux multiples parties prenantes, nécessité de l'approche sociologique, tarification sur mesure, casse-tête de la fin de vie des équipements... Ces différentes contraintes, pour autant qu'on cherche à ce que le service rendu soit accessible à tous et couvre tous les usages utiles, rendent la standardisation technique très difficile.

On constate d'ailleurs une grande diversité de solutions en présence sur le sol subsaharien, véritable laboratoire de l'accès à l'électricité hors réseau. La troisième partie de cet ouvrage est consacrée à une présentation méthodique des principales solutions décentralisées rencontrées sur le terrain et à l'évaluation de leur capacité à contribuer à élargir l'accès à l'électricité en Afrique subsaharienne.

Des solutions aux contours juridiques encore flous, entre délivrance d'un service de base et fourniture de biens d'équipements. Un enjeu quasi philosophique, qui affleure nécessairement quand on s'intéresse aux atouts et aux limites de chacune de ces solutions pour réduire la fracture énergétique. La partie 3 de l'ouvrage dresse justement ce panorama.

 **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.



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.

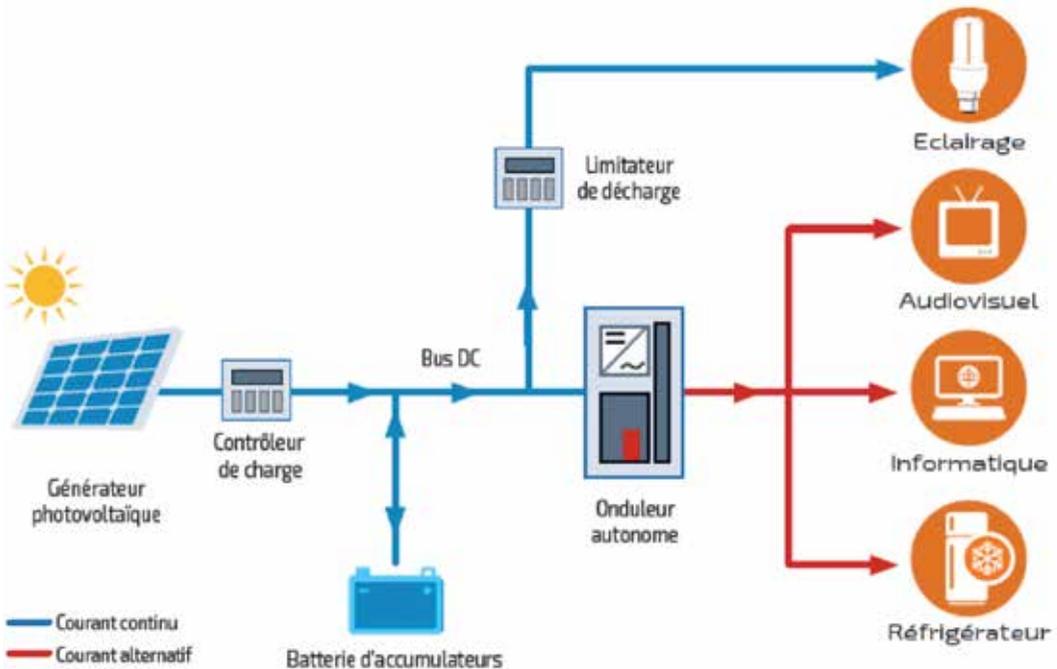
Pour les petits systèmes, l'électricité est délivrée en courant continu (cf. encadré), ce qui évite les pertes de conversion.

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.

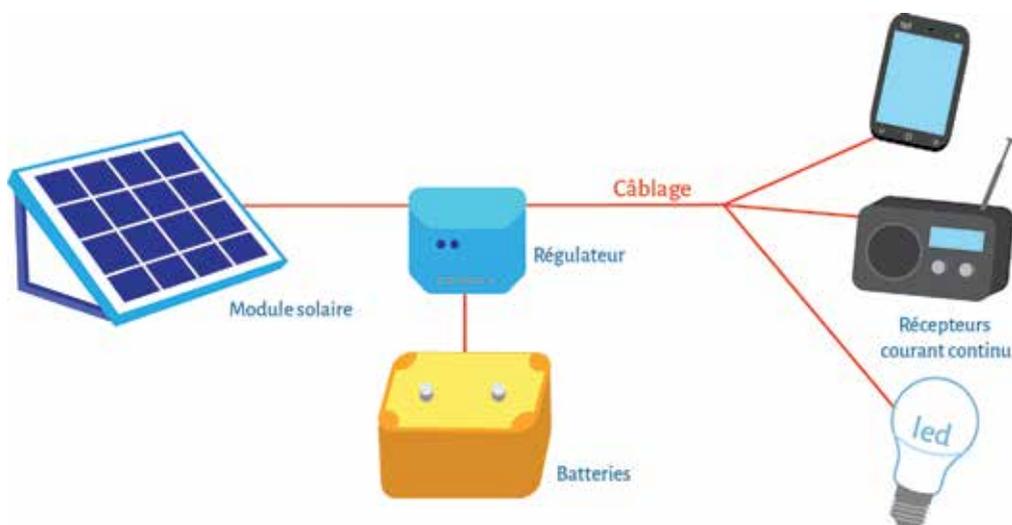
L'acquisition directe d'un système solaire individuel.

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

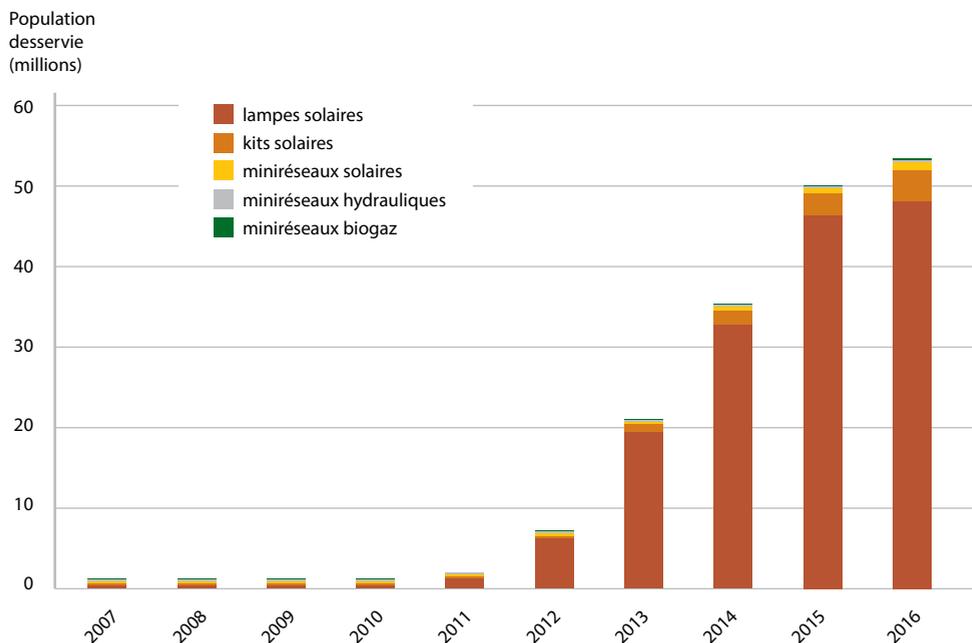


Fonctionnement d'un système solaire individuel PV



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. »

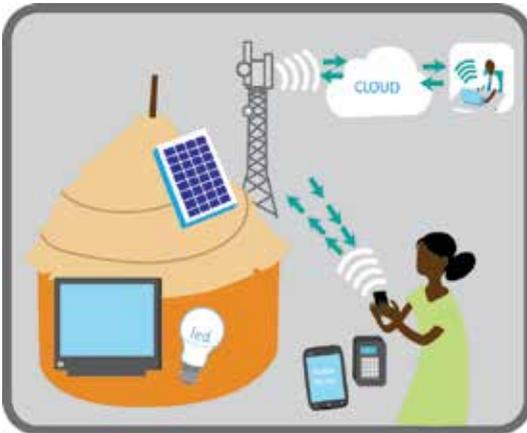
Grimm et Peters (2016) constatent que le niveau de dépense que les ménages seraient disposés à engager pour l'énergie solaire hors réseau, dans plusieurs pays d'Afrique subsaharienne, est généralement inférieur au coût de la technologie, en ce qui concerne les ménages appartenant aux strates à faible 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	<p>Kit le plus demandé :</p> <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	<p>Kit de 5 à 10 W :</p> <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	<p>Kit solaire Véenem Basic :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 batterie, • 3 ampoules LED, • 1 panneau solaire, • câbles. 	<p>Frais de souscription : 30 euros</p> <p>Prix mensuel : 4,50 euros</p> <p><i>Prix valables au Burkina Faso</i></p>

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

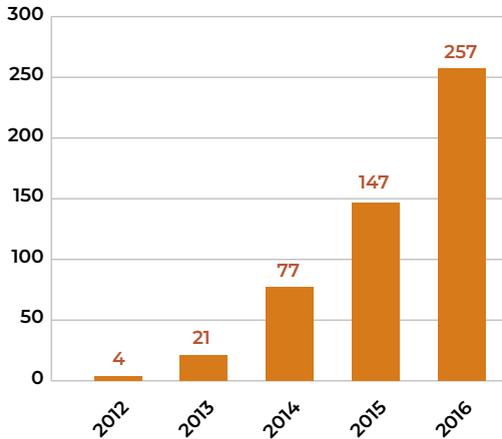


Source : « The symbiotic relationship between PAYG Solar and Mobile Money ecosystems », Climatescope, <http://2017.global-climatescope.org/en/blog/2017/06/26/GSMA/> .



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.



© Fondation Energies pour le Monde

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'acquiescer 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

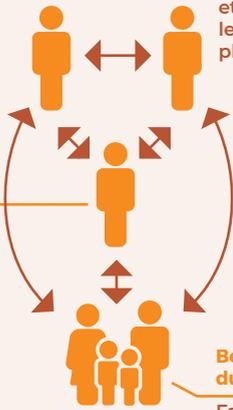
Fournit, installe et entretient les systèmes photovoltaïques

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/>



© Mycmain

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.

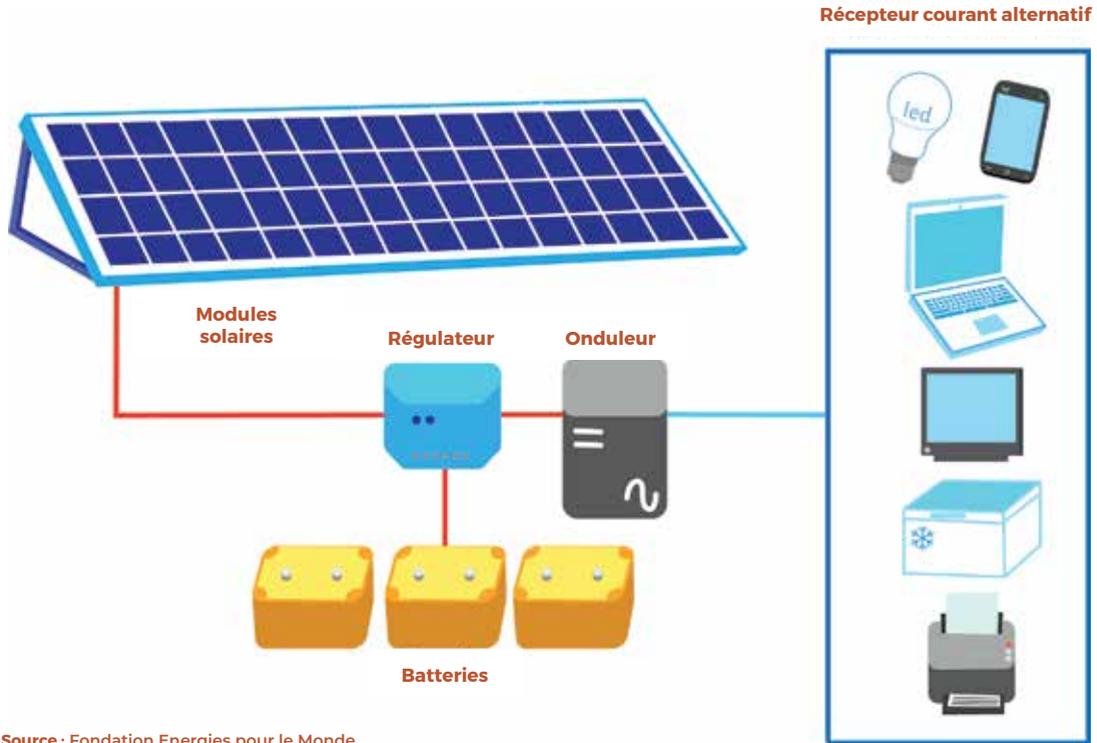
Ces lieux, indispensables à la cohésion d'une communauté rurale, ont une faible capacité contributive.

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



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. ●

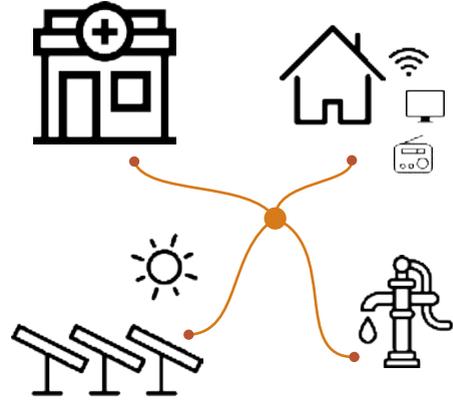
.....

« 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.

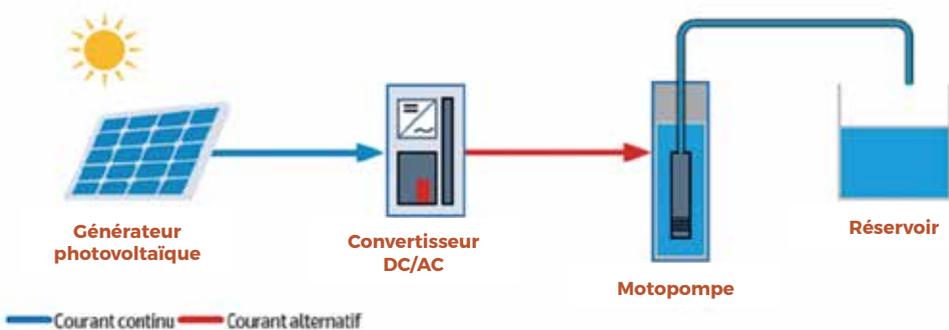
C'est par son application au pompage que l'énergie photovoltaïque est apparue en Afrique au cours des années 1970. Aujourd'hui, des dizaines

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

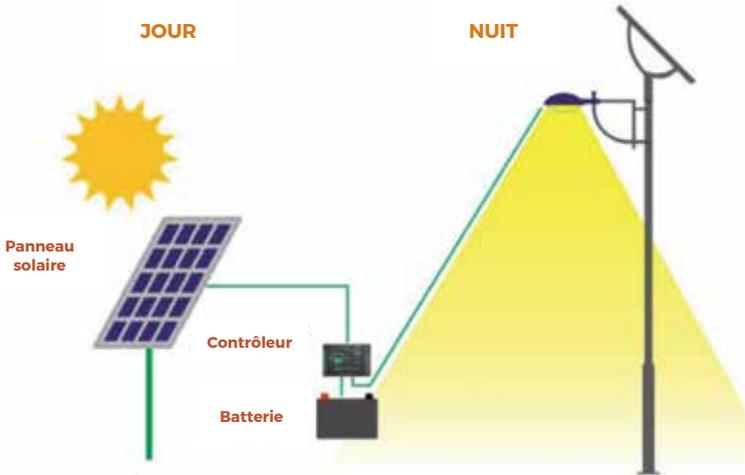
Dans le sillage des avancées technologiques dont bénéficient les secteurs de l'éclairage (technologie LED), du photovoltaïque et du stockage (cf. chapitre 2.3.1.), les lampadaires solaires autonomes simplifient l'éclairage public et connaissent depuis quelques années un développement spectaculaire.

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

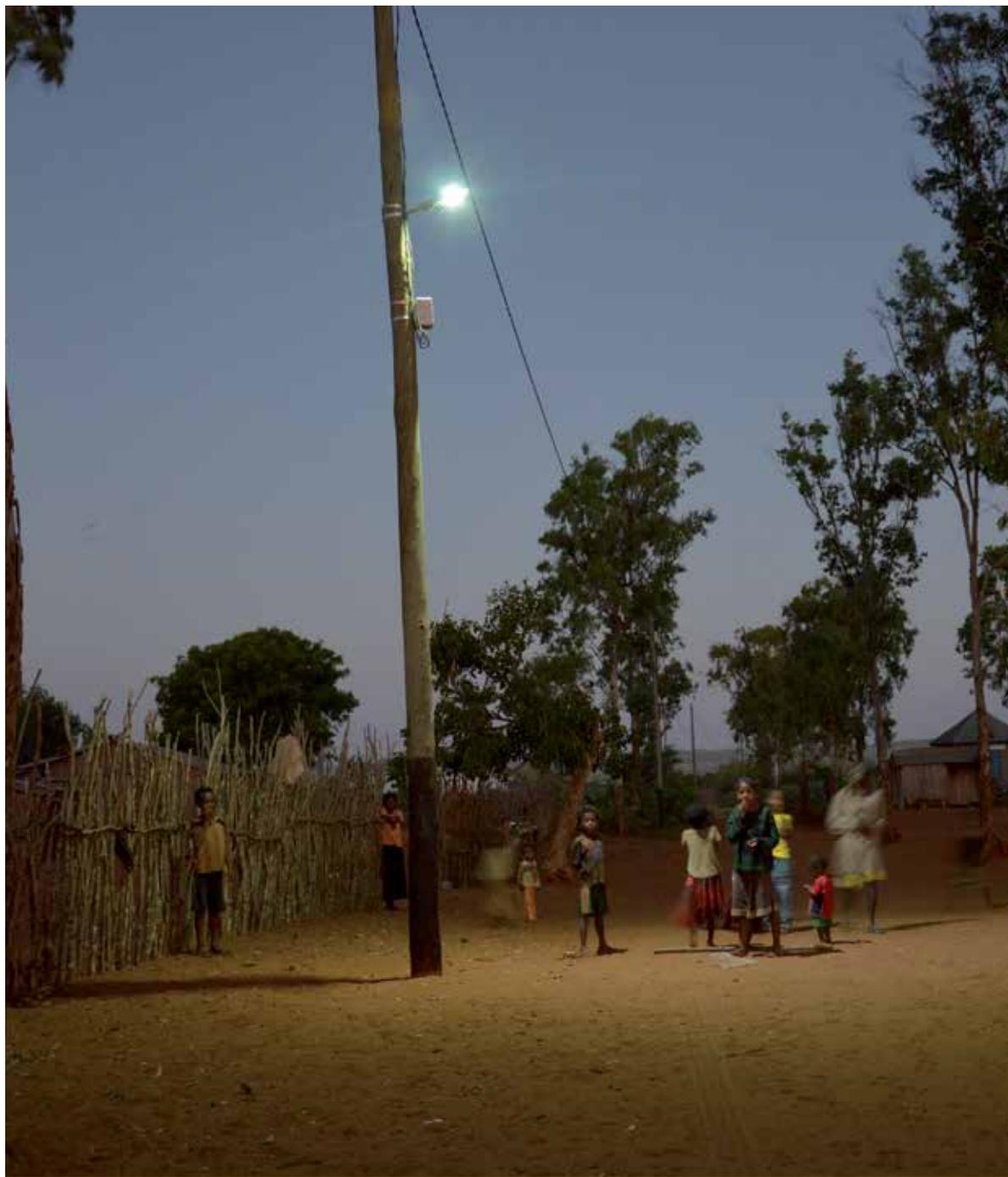
***L'éclairage public solaire se déploie massivement sur les cinq continents.
Comment distinguer un produit de qualité au sein d'une offre pléthorique ?***

« 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).

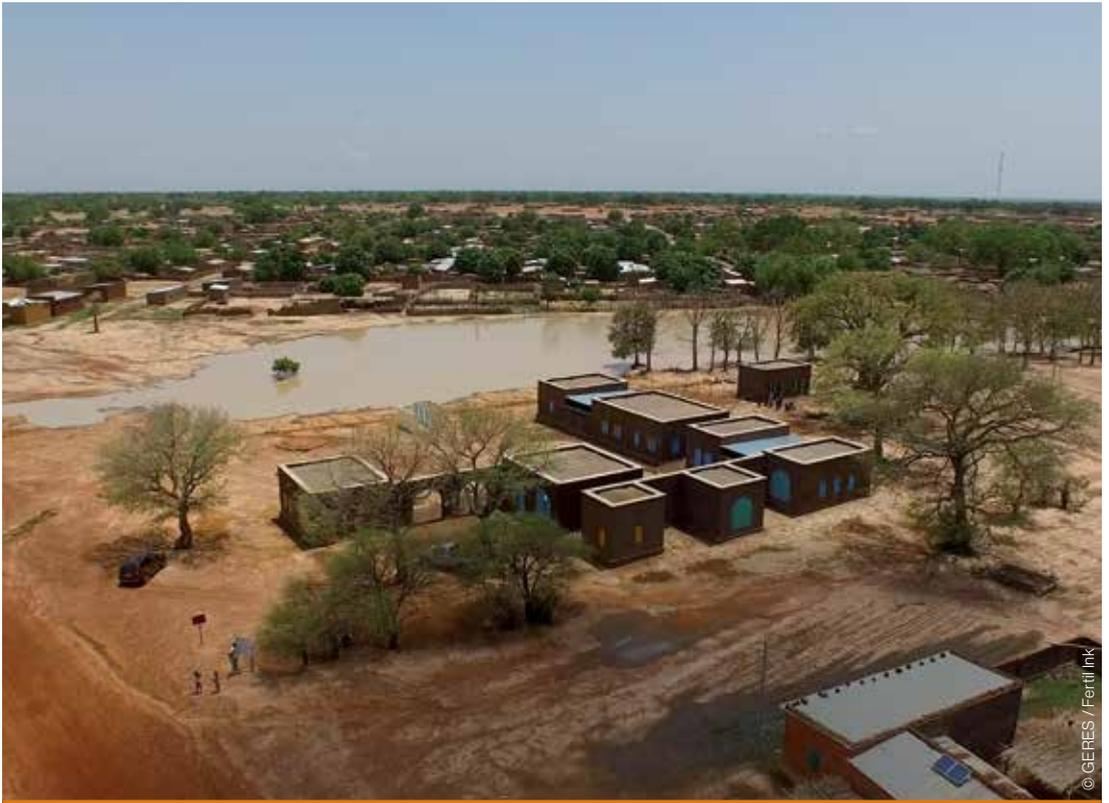
3.4.

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.

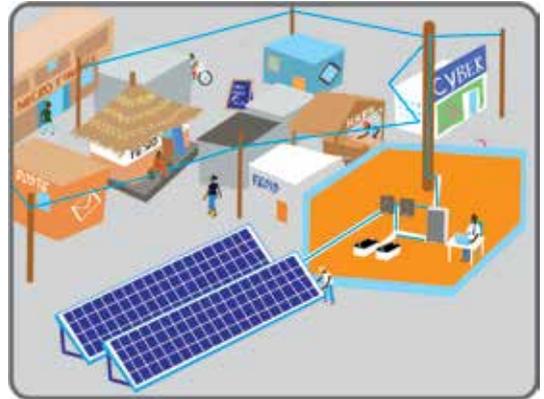
Les solutions collectives dédiées aux usages productifs : modèle pertinent ou innovation sans lendemain ?

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 pu 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

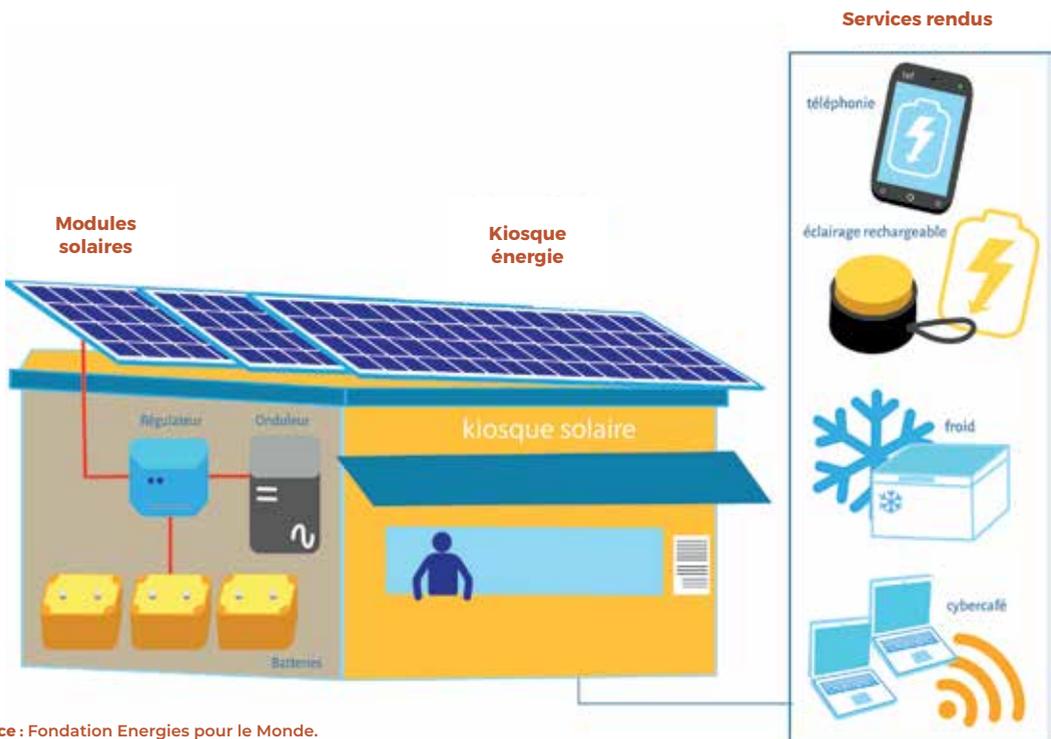
mutualisée, que l'on peut génériquement dénommer le « kiosque énergie ».

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 mécaniques 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.).

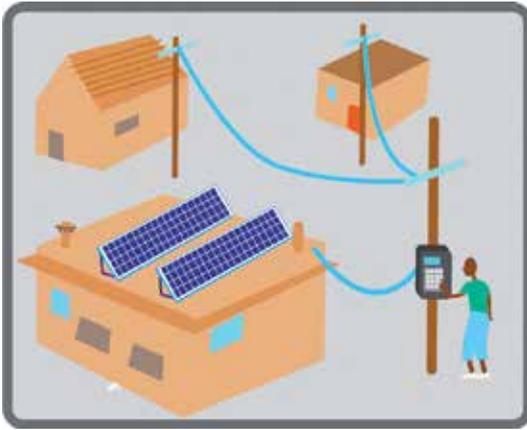
Cette solution hybride consiste à raccorder physiquement un groupement d'abonnés à

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

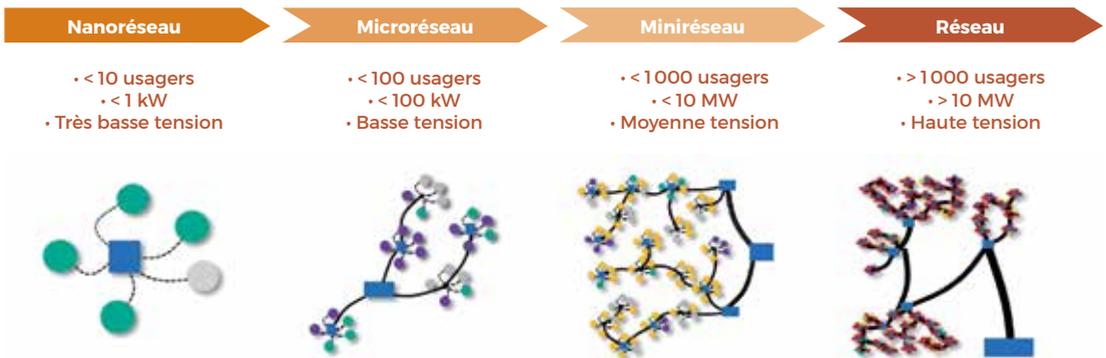
ainsi que le foisonnement des consommations permet d'atteindre un optimum technique et économique : à service équivalent, un nanoréseau distribuant par exemple cinq ménages sera moins onéreux que cinq systèmes solaires individuels.

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 réplique 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



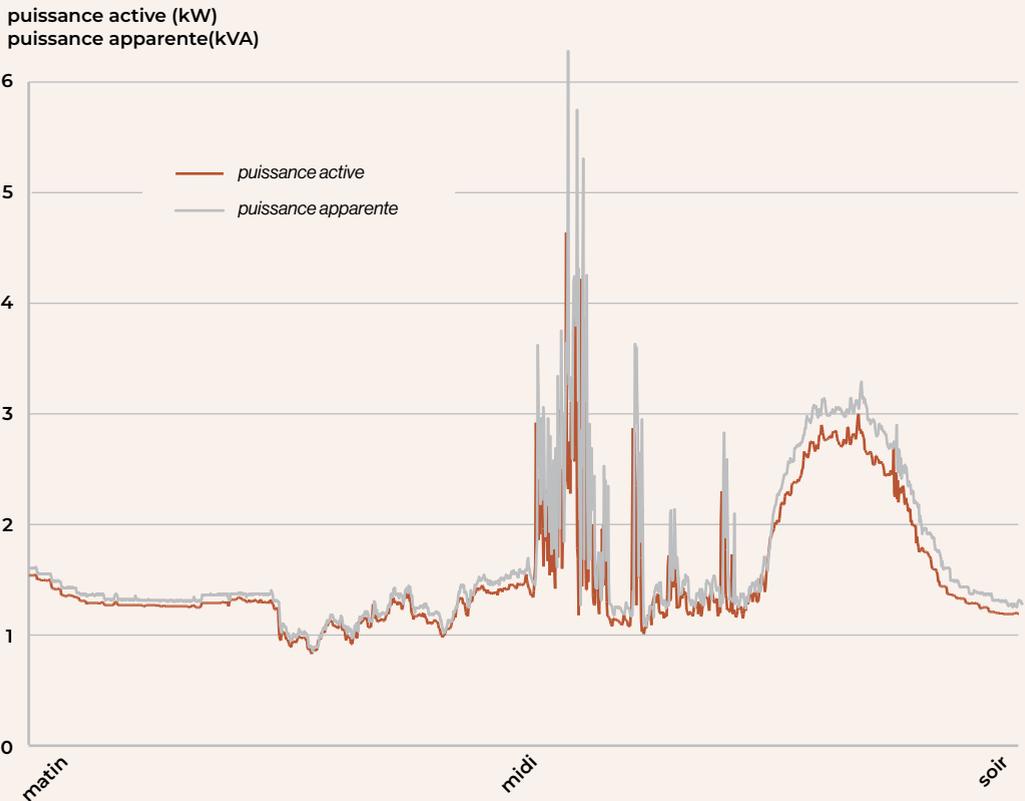
Source : Fondation Energies pour le Monde.



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

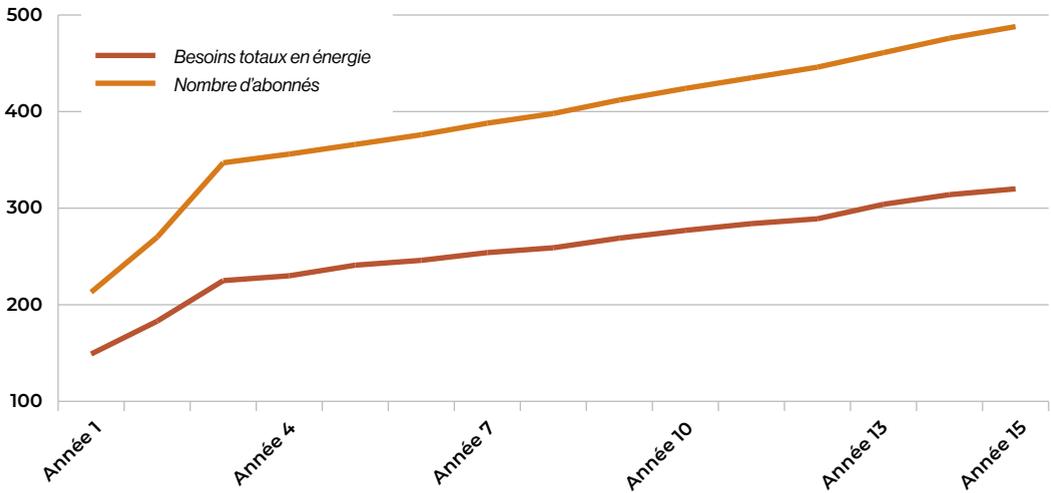
Pensez-vous qu'un travail conjoint entre secteur privé et secteur associatif peut être bénéfique à l'ensemble des parties prenantes ?

« 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.

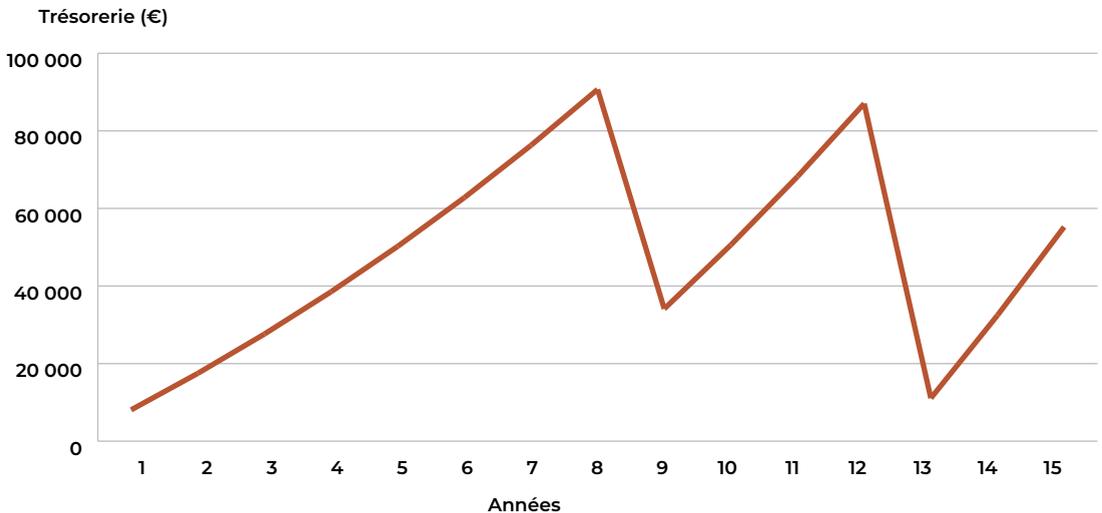
Retrouvez l'interview intégrale sur la page web de l'ouvrage : <http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>

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.



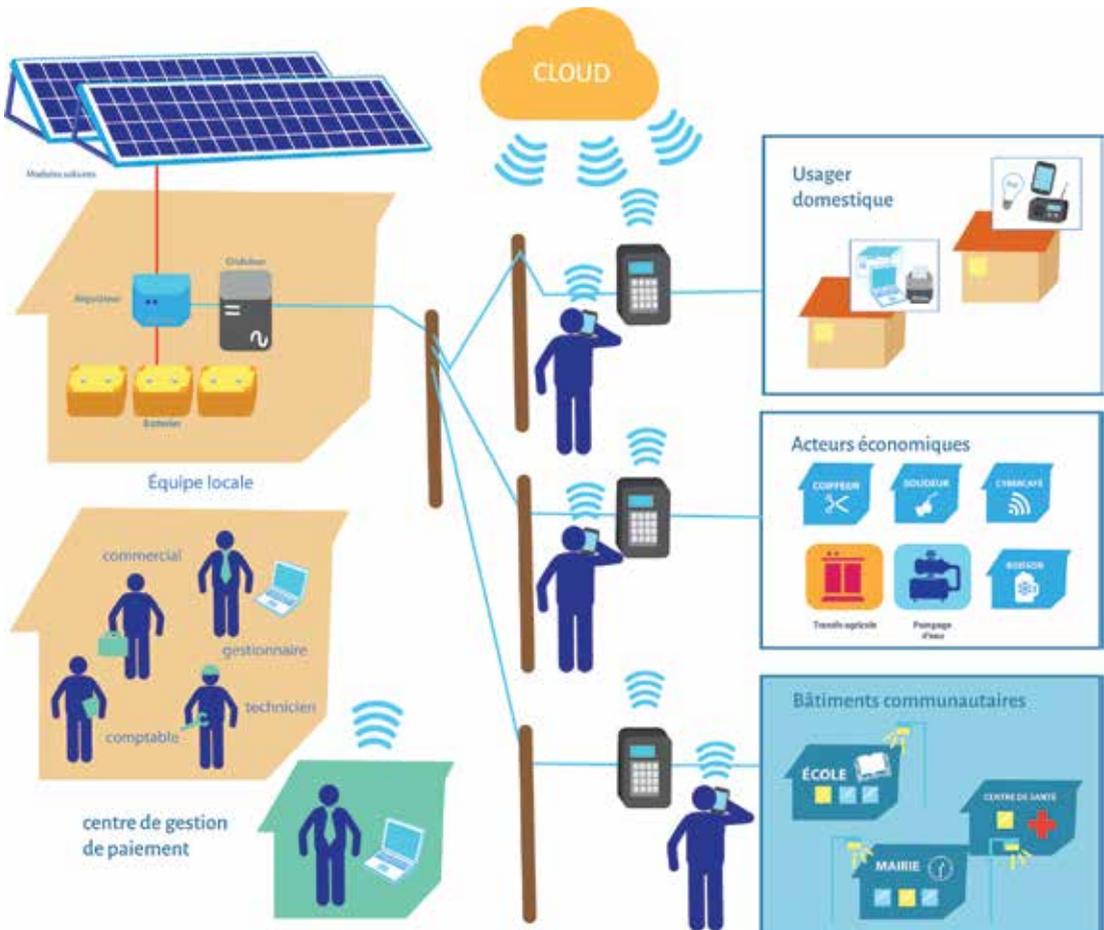
Miniréseau basse tension à Madagascar.

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

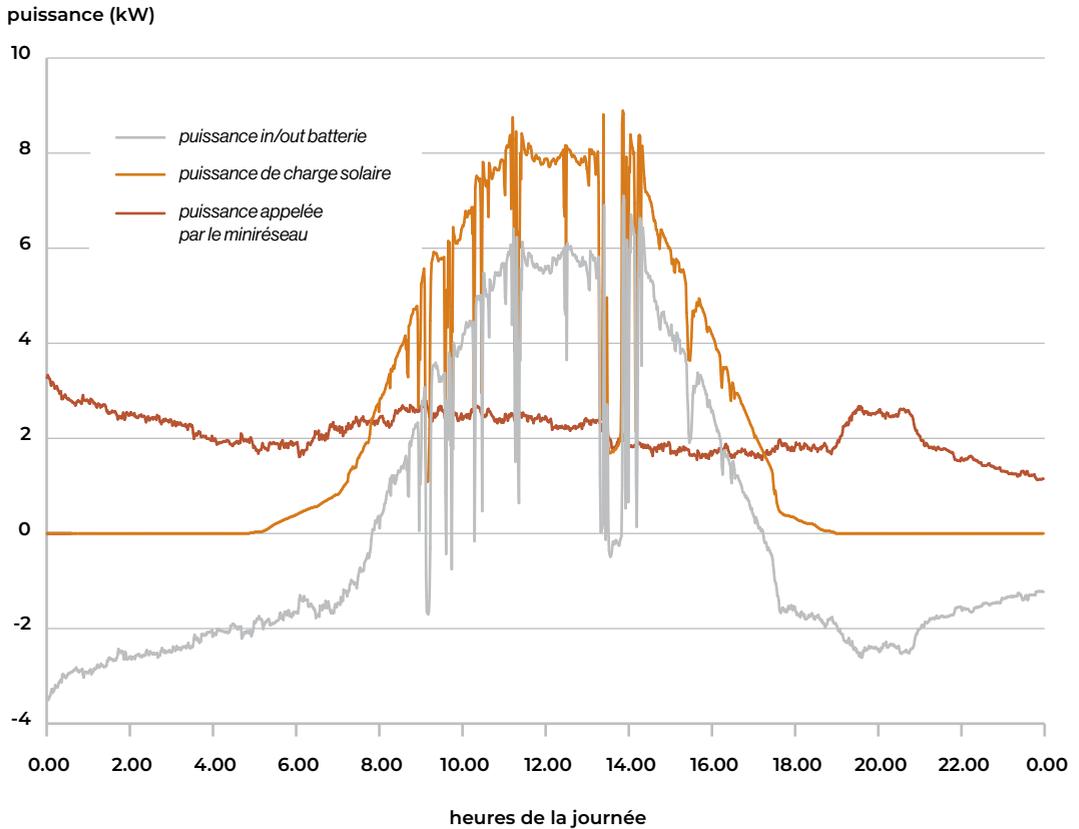
Les batteries sont vérifiées quotidiennement par l'équipe exploitante de la centrale

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.

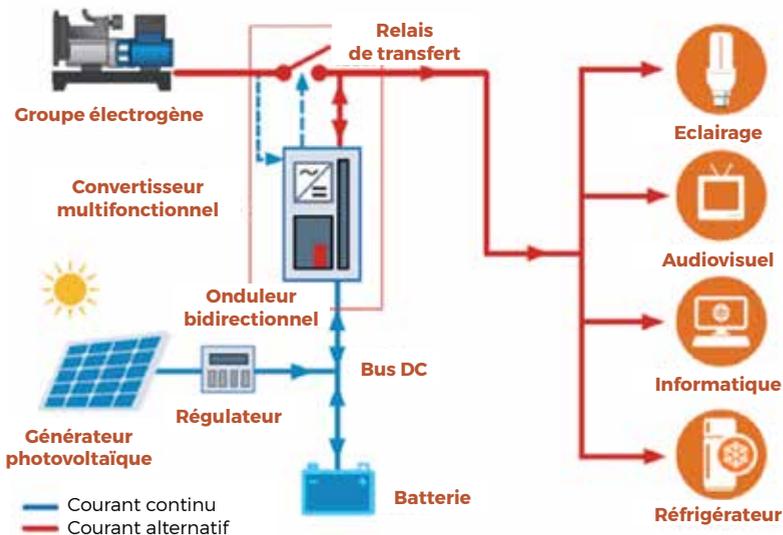
Combien de ménages se raccorderont au miniréseau ? De nouvelles activités économiques consommatrices d'électricité vont-elles apparaître ? Quelle sera l'évolution de la demande dans le temps ? Ces questions doivent être impérativement posées en amont de la conception d'un miniréseau. Le dimensionnement 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 2 000 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.

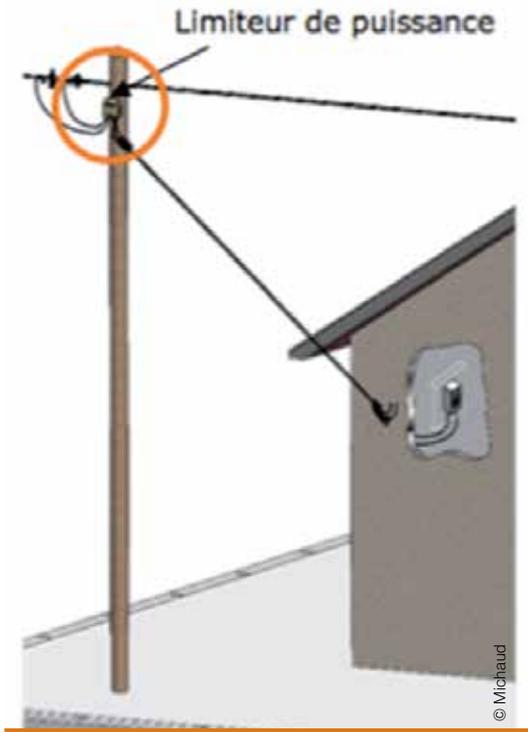


Poteau en béton.

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'utilisateur, 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'utilisateur 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'utilisateurs, 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.

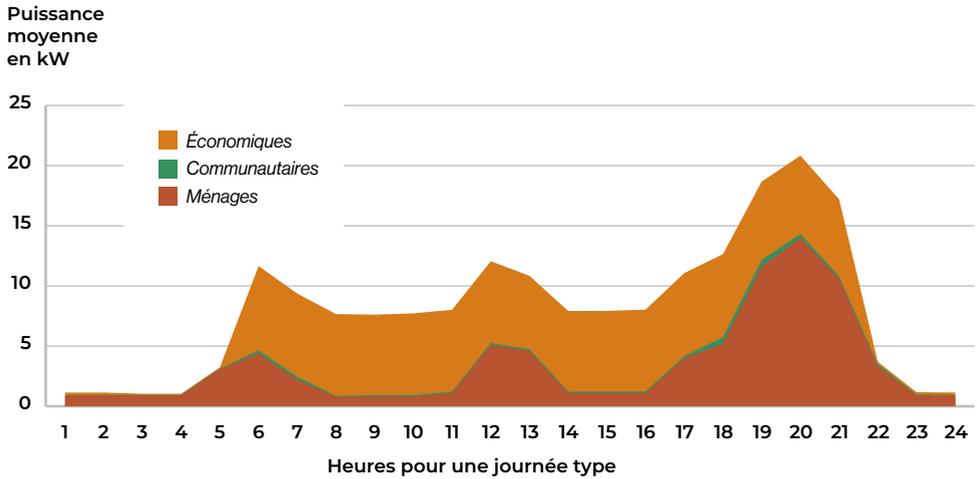
N'accordant que peu de confiance au porteur du projet, les populations et les autorités locales avaient attribué, pour lui donner satisfaction, des parcelles de terrain censées appartenir à la commune. Plusieurs mois après, lorsque l'entreprise de génie civil est arrivée dans la localité pour démarrer 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.

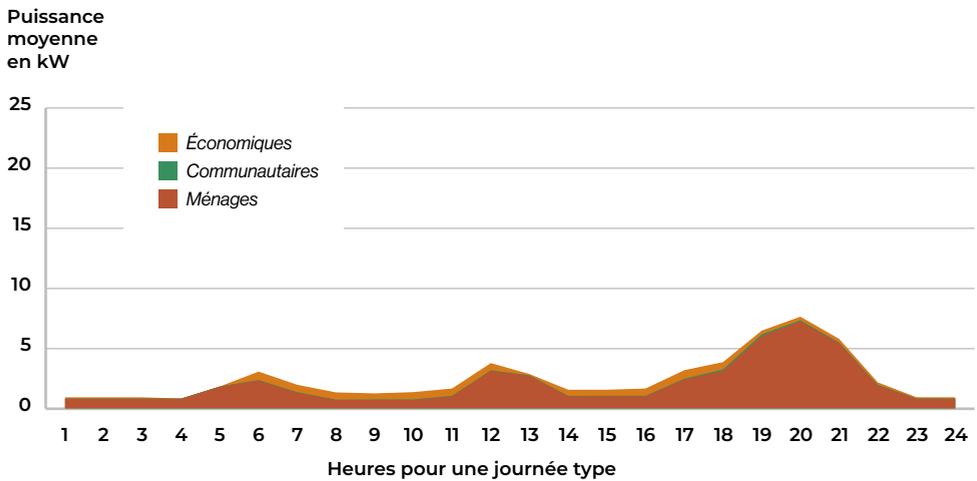
La solidité des liens tissés durant cette longue période de maturation ne se révèle généralement qu'une fois les premiers poteaux dressés.

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 présume 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.

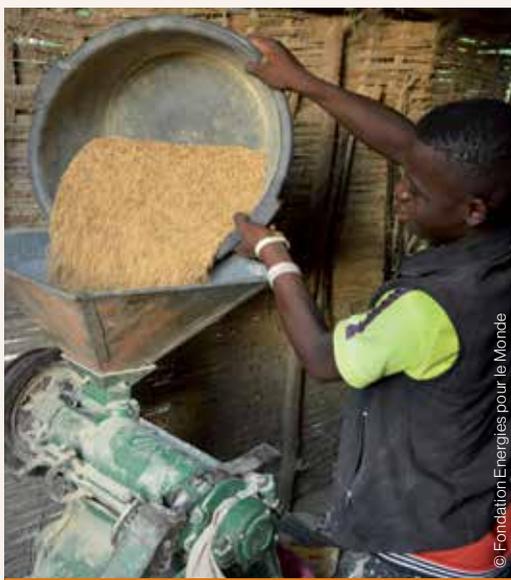
Retour de terrain, Mauritanie

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.

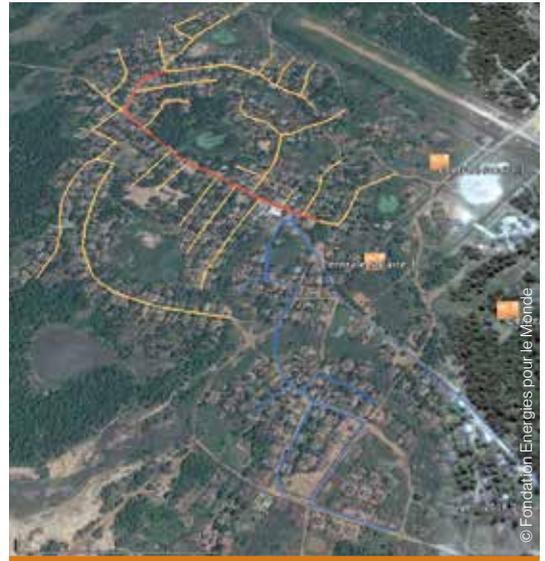
Ainsi, ce sont davantage l'expérience du porteur de projet, sa connaissance fine des facteurs socio-économiques locaux, l'analyse des retours d'expérience menés à proximité du site et la reconnaissance d'une marge d'incertitude qui doivent guider la conception d'un système décentralisé d'électrification.

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 pros-crits) 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 discrédité 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.

 **Info**

 **Retour de terrain**

 **Définition**

 **Chronologie**

 **Chiffres clés**

[Partie 4 - Préconisations]

Réaliser l'accès à l'électricité pour tous nécessite une coalition d'acteurs mieux coordonnés, aux méthodes et aux moyens mieux adaptés.

Introduction

Faisant état des forces et des faiblesses des politiques et des actions d'électrification rurale telles qu'elles se déploient en Afrique subsaharienne depuis près de cinquante ans, cet ouvrage ne serait pas complet s'il ne tirait de ces constats des préconisations pour le secteur. C'est ce qui vient justifier cette ultime partie.

Au moment de formuler ces préconisations, plusieurs questions ont surgi, auxquelles il a fallu répondre pour apporter une contribution pertinente. Avons-nous des conseils à émettre qui soient différents de ceux déjà formulés à de nombreuses reprises par les experts ? Les évolutions techniques récentes amènent-elles à reconsidérer les besoins de transformation sous un nouvel angle ? Quelles sont les priorités que devraient se fixer les acteurs de l'ERD pour faire progresser l'accès à l'électricité en Afrique subsaharienne ? Quelles sont les actions concrètes à mettre en œuvre par chacun d'eux pour atteindre ces priorités ?

Les bouleversements technologiques et commerciaux qui secouent l'électrification rurale ouvrent de nouveaux champs de réflexion : en permettant la diversification des services distribués et des acteurs présents, les évolutions techniques créent de nouvelles opportunités, et, par là même, de nouveaux risques. De notre point de vue, l'effervescence qui accompagne ces bouleversements doit être l'occasion de relancer la dynamique de réforme du secteur, sans pour autant en masquer les failles structurelles.

Car, pour l'essentiel, ces évolutions n'apportent pas de résolution aux nombreux points de faiblesse sectoriels constatés, dans la mesure où ces derniers ne relèvent pas du domaine technique mais de la gouvernance, de l'organisation, de l'encadrement réglementaire et du financement des actions, à tous les niveaux.

Ces sujets complexes perdurent malgré l'arrivée du numérique et l'implication de plus en plus forte des acteurs privés. Le manque de volonté politique et la multiplication des strates décisionnelles, la défaillance de la fiscalité et la dépendance aux financements internationaux, l'insuffisance du cadre juridique et de la planification nationale, le manque de coordination entre bailleurs internationaux et de compréhension entre secteurs financier et non financier... Tous ces sujets préexistaient à la diffusion des solutions d'électrification les plus récentes qui, pour la plupart, on l'a évoqué, ne permettent pas de garantir des services électriques pour tous sur un territoire donné.

C'est un fait : de nombreux points de diagnostic relevés par cet ouvrage ne sont pas récents et ont donné lieu à l'émission de plusieurs salves de recommandations, depuis celles remises en 1995

à la Commission du développement durable des Nations unies et aux acteurs des programmes de développement.

Quoique nos constats recoupent en grande partie ceux qui fondent ces recommandations et que nous pourrions faire nôtres, réitérer ces conseils à l'identique présente peu d'intérêt.

Les tableaux infra présentent succinctement deux documents de recommandations datant de 1995 et de 2016 qui nous semblent emblématiques. Vous pouvez retrouver ces documents dans leur intégralité sur la page web de l'ouvrage (<http://www.fondem.org/electrifier-lafrique-rurale/>), ainsi que de nombreux autres.

Forts d'une expérience de terrain et de dialogue avec l'ensemble des parties prenantes, nous avons plutôt choisi d'identifier les actions qui nous semblent essentielles pour accélérer l'accès à l'électricité des populations rurales subsahariennes, sans ambition d'exhaustivité.

Parce que toutes les batailles ne peuvent être menées de front, la formulation des préconisations a été guidée par les quatre principes suivants :

- **être concret**, c'est-à-dire formuler des propositions d'action précises ;
- **interpeller**, c'est-à-dire adresser les préconisations à ceux qui peuvent les mettre en œuvre ou en débattre. Elles ne sont donc pas présentées par thématique, mais adressées dans cet ordre :
 - aux pouvoirs publics dans les pays du Sud, aux niveaux national, régional et local (4.1),
 - aux organisations internationales et régionales (4.2),
 - aux bailleurs de fonds et au secteur financier (4.3),
 - aux monteurs de projets et leurs partenaires directs sur le terrain (4.4) ;

- **être cohérent**, c'est-à-dire articuler les propositions de manière rationnelle entre les différents acteurs, en prenant en compte les liens d'interdépendance entre leurs interventions ;
- **prioriser**, c'est-à-dire cibler les préconisations autour de quelques points que nous pensons névralgiques pour assurer la pérennité des systèmes, dans le respect des populations bénéficiaires :
 - faire de l'électrification rurale décentralisée une question de niveau interministériel, pour une meilleure coordination stratégique,
 - renforcer la décentralisation et la déconcentration pour une mise en œuvre de proximité plus efficace,
 - encadrer l'action des acteurs privés, pour garantir la qualité et le professionnalisme,
 - respecter le principe d'équité entre usagers à l'échelle d'un territoire.

Il nous semble que ces priorités devraient être embrassées par l'ensemble des acteurs dans les pays concernés et que leur mise en œuvre devrait être soutenue par la communauté internationale et par les bailleurs.

En étant sélectifs dans nos préconisations et en interpellant directement les principales parties prenantes, nous espérons susciter un débat concret entre elles et in fine favoriser la mise en commun de leurs moyens, pour des opérations mieux coordonnées, avec des financements mieux orientés. Ces préconisations sont notamment axées sur le développement des solutions d'électrification collective, qui, couplées aux solutions individuelles, nous semblent essentielles pour réaliser l'accès universel à l'électricité, et qui devraient donc être au cœur des stratégies. ○

Recommandations du think tank (Re)sources : Reconnaître et garantir le droit à l'électricité

- Le droit à l'électricité doit être reconnu, au même titre que le droit à l'eau et à l'assainissement, comme droit humain fondamental. Dans cet objectif, il convient d'estimer les besoins, pays par pays, et de dresser l'inventaire des éléments constitutifs de ce que recouvrirait ce droit – qualité, disponibilité, accessibilité, continuité, recouvrement des coûts, comme cela a été fait pour le droit à l'eau.
- Il convient également d'en identifier les débiteurs, c'est-à-dire ceux qui feront en sorte que ce droit se matérialise et qu'il ne reste pas incantatoire.

Source : « Droit à l'énergie », (Re)sources, <http://www.thinktank-resources.com/fr/thematiques/acces-a-l-energie/droit-a-l-energie> .

Recommandations issues du séminaire de Marrakech, novembre 1995

Cadre et contexte

- Séminaire bilatéral organisé en novembre 1995 par **la France et le Maroc**, soutenu par le Programme des Nations unies pour le développement (**PNUD**) et la **Commission européenne**.
- Volonté de changer **l'échelle et le rythme** du processus d'électrification décentralisée dans les zones rurales.
- Contribution aux travaux de la session de la Commission pour le développement durable des Nations unies.

Thèmes clés

- Recommandations sur la **formation, le suivi et l'éducation** des populations et des instances locales/régionales compétentes en électrification rurale décentralisée.
- Recommandations sur la **relation entre les secteurs privé et public** et leur collaboration pour l'électrification rurale décentralisée.
- Recommandations pour encourager l'utilisation des **énergies renouvelables**.
- Recommandations sur la collaboration entre les différentes échelles administratives : **locale, provinciale, nationale et internationale**.

Changements profonds recommandés

- Changement profond du secteur de l'électrification rurale décentralisée en passant **d'une logique de projet à une logique de programme**.
- Appréhension de **solutions de démultiplication** (pour plusieurs milliers de villages différents).
- Considération des acteurs internationaux (ONG, coopération, financements externes...) comme des **foyers d'échange** et promotion des **efforts concertés**.

Recommandations du forum Alliance for Rural Electrification (ARE) / Renewable Energy Cooperation Program (RECP), Amsterdam, avril 2016

Cadre et contexte

- Le meeting ARE/RECP d'Amsterdam est piloté par SE4ALL, **initiative lancée par le secrétariat des Nations unies.**
- Les recommandations émises concernent notamment **l'installation de miniréseaux**. Les travaux se concentrent sur les principaux obstacles et actions à mener pour développer les miniréseaux par énergies propres.

Thèmes clés

- Recommandations sur **la tarification, la régulation et la simplification** des démarches concernant les miniréseaux.
- Recommandations sur la **localisation** de l'installation des miniréseaux en en déterminant les endroits clés.
- Recommandations sur la **coordination** des projets : notamment la **mise en commun** des données relatives aux projets.
- Recommandations sur le **business model** et le financement du projet : retours d'expériences des projets réussis (Banque mondiale).

Changements profonds recommandés

- Évolution du **rôle de l'Etat** : il doit établir de manière collaborative des politiques de gestion du réseau électrique national et établir quelles sont les zones prioritaires pour l'installation de miniréseaux.
- Création d'une **plateforme** pour collecter les données et les mettre en commun.
- Attention portée à la **nature des investissements** : ceux-ci peuvent être variés et les investisseurs doivent être sensibilisés à cette variété.

4.1.

Préconisations aux pouvoirs publics nationaux, régionaux et locaux des pays du Sud.

Dans les pays d'Afrique subsaharienne, il nous semble important que la définition des stratégies et la mise en œuvre des projets d'ERD soient portées au niveau adéquat :

- au niveau interministériel pour l'impulsion politique et l'encadrement réglementaire (4.1.1);
- au niveau des régions (ou des collectivités intermédiaires de type « district » ou « province ») pour la coordination des opérations sur un territoire (4.1.2). Ce niveau régional nous paraît le plus approprié pour assurer une vision d'ensemble territoriale cohérente, adaptée aux besoins spécifiques des populations, limitant les risques de clientélisme et de conflit d'intérêts (que l'on retrouve davantage au niveau local, où les représentants, maire et élus, sont également utilisateurs du système) ;
- au niveau local (communes, communautés de communes), pour appuyer l'action régionale et préparer le terrain en amont de la définition d'un schéma d'électrification (4.1.3).

Il s'agirait alors, dans la plupart des pays, de faire évoluer les pratiques et d'engager des réformes qui assureraient une mise en œuvre de proximité des projets d'ERD, dans une dynamique

nationale forte, impulsée depuis le sommet de l'Etat et irriguant tous les niveaux de décision :

- priorisation du sujet au niveau gouvernemental ;
- renforcement des moyens alloués au niveau des territoires en activant les deux leviers que sont la décentralisation et la déconcentration ;
- respect du principe de solidarité entre territoires ;
- investissement dans la professionnalisation et l'encadrement du secteur.



L'électrification permet de dynamiser les activités économiques locales.

4.1.1.

Préconisations aux pouvoirs publics nationaux.

Les stratégies nationales d'électrification rurale peinent à s'opérationnaliser, notamment du fait du manque de volonté et de moyens, de la satellisation des acteurs étatiques (plusieurs ministères, plusieurs agences...) et d'une décentralisation parfois inachevée.

Selon nous, il est donc essentiel de placer l'électrification rurale dans le champ de compétence directe du chef du gouvernement. Agissant dans le giron d'une cellule interministérielle chargée du cadrage stratégique et réglementaire, l'agence nationale d'électrification rurale pourrait alors se concentrer sur l'outillage des acteurs et le suivi opérationnel en territoire, auprès des acteurs régionaux notamment.

Incarner le volontarisme en faveur de l'électrification rurale par une mission interministérielle dotée des moyens de son action.

Assurer un accès à l'électricité sur l'ensemble d'un territoire nécessiterait d'ériger les enjeux de l'électrification rurale au rang de priorité auprès des plus hautes instances étatiques. L'exemple du Maroc montre, en effet, qu'il s'agirait d'une condition sine qua non d'une action efficace (cf. chapitre 2.2.2.).

En conséquence, nous préconisons que la stratégie d'accès à l'électricité soit pilotée au niveau interministériel, sous l'autorité du chef du gouvernement (Premier ministre en régime parlementaire), par décision du chef de l'Etat, faisant ainsi, de manière symbolique, de l'accès à l'électricité une orientation majeure de sa politique générale.



« Le portage institutionnel est fondamental. Les rigidités historiques du secteur sont telles que la volonté politique et un engagement fort, résolu et déterminé des dirigeants politiques au plus haut sommet de la hiérarchie sont capitaux pour la promotion de politiques alternatives dans le secteur stratégique de l'énergie. »

Abdou Fall, ancien ministre d'Etat, président du Conseil patronal des énergies renouvelables du Sénégal (COPERES).



C'est, de notre point de vue, le moyen le plus sûr d'assurer une bonne coordination des actions entre les différents agences et ministères concernés, ainsi que d'orchestrer de manière efficace les différents dossiers (réglementaires, organisationnels) que suppose la mise en œuvre d'une stratégie nationale d'ERD.

En pratique, cela signifie de :

- créer une cellule interministérielle
- rattachée auprès du chef de l'exécutif
- qui coordonne notamment les ministères (énergie, finances, décentralisation) et les services de l'Etat (agences)
- et la doter de moyens.

Elle aurait vocation à impulser et à assurer la mise en œuvre effective de la stratégie d'électrification rurale, laquelle devrait idéalement être une composante de la politique de développement rural, elle-même placée au cœur des

priorités gouvernementales et portée au niveau interministériel.

A ce titre, la mission/cellule interministérielle serait d'abord en charge de clarifier les objectifs et les rôles des différents acteurs publics, et de veiller à ce que chacun d'eux ait les moyens de son action :

- définir clairement les rôles entre les sociétés nationales d'électricité et les agences nationales (électrification, énergies renouvelables, efficacité énergétique...) et évaluer l'efficacité de leurs interventions ;
- définir et diffuser de manière transparente la planification des infrastructures énergétiques (raccordement des localités au réseau national) à l'horizon de cinq à dix ans ;
- organiser la décentralisation au niveau régional de sorte que les régions soient dotées des compétences et des moyens nécessaires à la mise en œuvre des actions au niveau décentralisé ; cette décentralisation ajustée viserait à permettre aux régions de définir des stratégies adaptées ;
- faire valoir la politique d'électrification rurale portée par le gouvernement auprès des partenaires financiers, notamment les bailleurs internationaux ;
- définir et défendre le budget alloué à l'électrification rurale auprès des organes législatifs nationaux et des instances internationales.

La mission/cellule interministérielle coordonnerait également la mise en place de la fiscalité, des procédures et des cadres législatifs et réglementaires permettant aux monteurs de projets et aux investisseurs d'agir au sein d'un environnement de risques maîtrisable.

Par exemple :

- pour les importateurs : exonération de droits de douane pour des composants ;
- pour les investisseurs : exonération d'impôts sur les bénéfices pendant les premières années pour les aider à atteindre la rentabilité ;

- pour les opérateurs : exonération d'impôts divers (par exemple d'impôts sur le bénéfice pendant une période donnée), allongement des durées de concession (les infrastructures sont consommatrices de capitaux).

La mission/cellule aurait également pour objectif de jeter les bases d'un système de tarification équitable visant l'harmonisation tarifaire et les compensations requises, et de le construire progressivement :

- création et pilotage d'un groupe de travail pluri-acteur ayant pour mandat de définir les principes du système d'harmonisation et les modalités de leur application au niveau national ; ce système peut prévoir que le tarif de référence ne soit pas unique et puisse être défini à un niveau infranational ;
- mise en place et gestion d'un fonds de compensation pour dédommager les exploitants ruraux qui ne peuvent assurer la viabilité de leur exploitation sur la base du tarif de référence applicable.

Permettre aux équipes de l'agence nationale d'électrification rurale d'être plus actives auprès des collectivités territoriales.

L'agence nationale d'électrification rurale devrait être placée sous l'autorité de la mission interministérielle, dont elle deviendrait le bras armé expert.

Pour renforcer la capacité d'action de l'agence et permettre son efficacité sur le terrain, dans un jeu où les acteurs sont de plus en plus nombreux et divers, nous préconisons de :

- confier sa direction à une personnalité ayant un tempérament entrepreneurial, connaissant non seulement le secteur public mais également le secteur marchand, et donc capable de parler aussi bien le langage du secteur public que celui du secteur privé ;
- déconcentrer la structure de l'agence en redéployant une partie des équipes sur le terrain,



© Fondation Energies pour le Monde

En zone rurale en Afrique, l'électrification reste largement informelle.

au plus près de l'action, en créant un réseau d'agents ERD au niveau régional.

C'est en effet aux régions (ou aux collectivités de niveau intermédiaire) que nous conseillons de confier la mise en œuvre des projets (voir infra).

L'agence aurait alors pour mission de concevoir les outils utiles pour les acteurs publics et privés de l'ERD, d'accompagner le déploiement de ces outils sur le terrain (notamment auprès des acteurs régionaux) et d'évaluer les effets de la politique nationale d'électrification rurale.

Elle serait ainsi chargée de :

- maîtriser un outil de planification et de programmation régionale d'ERD pour une utilisation plus efficace ;
- définir des normes de qualité minimales (adaptation de normes internationales parfois trop restrictives), ainsi que le circuit de certification et les processus de contrôle afférents (le respect de ces normes doit conditionner l'éligibilité aux appels d'offres publics) ;
- mettre en place des modules de formation pour les collectivités territoriales pour maîtriser les aspects organisationnels et techniques de l'ERD ;

- concevoir et mettre en place des outils pour la sensibilisation des populations rurales diffusés par des ONG locales préalablement formées ;
- concevoir et mettre en place un outil de formation pour les opérateurs et les professionnels de l'électricité ;
- mettre à disposition des régions les outils de passation d'appels d'offres pour l'attribution des différents types de marchés (prestations, fourniture, délégation de service public) ;
- définir des indicateurs de suivi de la performance de la stratégie nationale d'ERD ;
- définir des indicateurs d'impact économique, environnemental et social des systèmes d'électrification mis en place.

L'ensemble de ces chantiers structurants requiert des investissements et des compétences ; dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne, ces efforts ne pourraient être mis en œuvre sans le soutien technique et financier des pays et des collectivités du Nord (voir chapitre 4.2. et 4.3.).

Enfin, il apparaît là encore que toutes ces mesures organisationnelles auraient peu d'efficacité sans volontarisme fort au plus haut niveau de l'Etat. ○

4.1.2.

Préconisations aux pouvoirs publics régionaux.

En soutien de la politique nationale de développement rural, l'échelon intermédiaire opérationnel qu'est la région (ou la province, le district...) aurait pour mission de décliner de façon opérationnelle la politique nationale d'électrification rurale sur son territoire :

- en définissant une stratégie régionale¹ : la région devrait pouvoir penser l'électrification rurale en combinant différentes solutions selon les contraintes et opportunités réelles sur son territoire ; et
- en pilotant l'installation des schémas d'électrification collective correspondants : la maîtrise d'ouvrage devrait être confiée au niveau régional pour des raisons d'échelle et de cohérence territoriales, mais aussi de maîtrise des risques (conflits d'intérêts et clientélisme plus forts au niveau local, manque de proximité et d'adaptabilité au terrain au niveau national).

Il faut ajouter le fait que la région peut associer électrification, aménagement du territoire, développement économique et création d'emplois locaux. Pour cela, elle devrait être compétente et dotée des moyens nécessaires par l'Etat afin de :

- rassembler les besoins des localités pour définir une programmation régionale d'électrification rurale (zones vierges de l'extension de réseau), dans le respect de la planification nationale, en lien avec la cellule déconcentrée de l'agence nationale d'électrification rurale et en intégrant la possibilité d'initiatives locales ;
- se doter de personnel compétent en ERD, afin d'être en mesure d'assurer la maîtrise d'ouvrage à chaque étape – de la conception au suivi des installations –, avec le soutien des experts de la cellule déconcentrée de l'agence nationale d'électrification rurale.

Les pouvoirs publics régionaux auraient également un rôle de sensibilisation et de formation à jouer vis-à-vis des collectivités présentes sur le territoire :

- inciter les municipalités à se regrouper en communautés de communes, pour faciliter la mise en place de schémas mutualisés d'accès aux services électriques sur leurs territoires, permettant ainsi des économies d'échelle et favorisant une harmonisation tarifaire ;
- former les personnels des collectivités territoriales (maires et adjoints), mais aussi les chefs traditionnels et les leaders d'opinion sur leur territoire.

Ces missions de la région (notamment la collecte de données sur le territoire régional et le recrutement et la formation de personnel compétent) pourraient être utilement réalisées avec le soutien financier et/ou technique de collectivités du Nord, dans le cadre de la coopération décentralisée.

Dernière préconisation : les maîtres d'ouvrage, nationaux ou régionaux, devraient veiller à ne pas sacrifier le transfert de compétences et la qualité des installations à la rapidité d'exécution et aux facilités de financement accordées par des pays non liés aux règles de l'OCDE. Des équipements peu pérennes installés dans des communautés mal formées desservent vraisemblablement la cause de l'accès à l'électricité. ○

1. Dans la suite des développements, le terme « régional » est utilisé par commodité pour désigner le niveau territorial intermédiaire entre le local et le national.



© Fondation Ensemble

L'éclairage améliore les conditions d'éducation.

4.1.3.

Préconisations aux pouvoirs publics locaux.

Dans un schéma de décentralisation tel que nous le préconisons, les maires ruraux jouent un rôle important pour appuyer l'action régionale et préparer le terrain en amont de la définition d'un schéma d'électrification qui bénéficie à leurs administrés.

A ce titre, ils auraient pour mission de :

- collecter l'information locale (données de base) auprès des populations pour alimenter les analyses de planification et de programmation d'ERD réalisées au niveau régional ;
- intégrer l'électrification dans leur plan de développement local ;
- impulser des projets d'initiative locale ;
- se regrouper en communautés de communes pour mutualiser les moyens et, ainsi, favoriser les économies d'échelle ;
- veiller à disposer d'un personnel local compétent (dont la formation est assurée par le niveau régional) ;
- sensibiliser leurs administrés aux atouts, aux limites et aux contraintes liés à l'électrification ; une attention particulière devrait être accordée aux usagers économiques (entrepreneurs individuels, petits producteurs, coopératives, groupements d'intérêt économique, groupements de femmes...).

Ils pourraient bénéficier de l'appui des ONG locales de développement économique (préalablement formées par les ONG du secteur ERD sur le volet électricité).

Associer les institutions de microfinance locales à la réflexion leur permettrait d'accéder plus facilement au financement de leurs activités à court ou moyen termes.

.....

« Dans la dynamique des réformes visant à donner davantage de marge d'opération aux acteurs privés et à la société civile dans les politiques d'accès à l'énergie, il y a lieu d'envisager très sérieusement de placer les élus au cœur de la décision politique dans la production et la fourniture d'énergie aux communautés qu'ils administrent.

*L'énergie renouvelable étant par définition une énergie décentralisée, la **responsabilisation de pouvoirs locaux dans ce domaine doit constituer un axe majeur de réforme**, d'autant que les technologies, le solaire et le numérique notamment, peuvent donner lieu à une véritable révolution énergétique portée par les citoyens et les producteurs sur le territoire. »*

Abdou Fall, ancien ministre d'Etat, président du Conseil patronal des énergies renouvelables du Sénégal (COPERES).

.....



Quels principes essentiels appliquer pour guider le choix des projets d'ERD ?

(Rappel de principes déjà mentionnés et dont la liste n'est pas exhaustive.)

- **Équité territoriale**, basée sur un découpage en zones d'électrification rurale territorialement délimitées et/ou définies par une liste de localités, représentant chacune des quantités de clients potentiels et des niveaux d'investissement incitatifs pour les opérateurs d'électrification.
- **Programmation concertée à visée multisectorielle**, incluant deux types de projets complémentaires : les **projets planifiés** à partir d'études préalables et couvrant en totalité ou en partie une zone d'électrification rurale, et les **projets d'initiative locale** entrepris par des porteurs publics, privés ou des ONG, couvrant une ou plusieurs localités ou un périmètre rural. Ces deux types de projets sont mis en œuvre simultanément dans le cadre de programmes annuels ou pluriannuels, adoptés par un organe interministériel ouvert à toutes les parties prenantes, dont les bailleurs de fonds.
- **Neutralité technologique basée sur le moindre coût**, en comparant les investissements et les charges d'exploitation associés aux différentes options envisageables d'électrification décentralisée décrites en partie 3, ainsi qu'à l'extension du réseau existant.
- **Viabilité et rentabilité financières** suffisantes pour assurer la durabilité du projet et attirer les opérateurs d'électrification. Cela implique, d'une part, que les coûts d'investissement doivent être couverts par les financements mobilisables (fonds propres, prêts bancaires, subventions, etc.), et les charges d'exploitation par les recettes d'exploitation (vente d'électricité, abonnement, branchement, etc.) ; d'autre part, que le taux de rentabilité interne financier et le temps de retour sur capital du projet sont suffisamment attractifs.
- **Tarifs compatibles avec la volonté et la capacité de paiement des usagers, et avec la politique tarifaire en vigueur**, tout en générant des recettes suffisantes pour dégager des résultats d'exploitation répondant à l'impératif de viabilité et de rentabilité.
- **Viabilité environnementale**, assurée par des mesures correctives et/ou d'atténuation et de suivi pour éliminer les impacts négatifs ou les réduire à des niveaux acceptables, en conformité avec la réglementation en vigueur.
- **Viabilité sociale**, assurée par des dispositions appropriées de recasement et d'indemnisation pour réduire et compenser l'impact des déplacements des populations, dans le respect des lois et règlements et de ce qui est acceptable par les bailleurs de fonds concernés.
- **Sélection concurrentielle et transparente des opérateurs d'électrification (projets planifiés) et des projets d'initiatives locales**, au moyen d'appels à candidatures et de demandes de propositions, basés sur des cahiers des charges clairs et sur des critères de sélection transparents et annoncés d'avance.

Ces chantiers, parfois lourds pour une collectivité rurale du Sud, pourraient utilement être menés avec les soutiens financiers et techniques de collectivités locales du Nord, dans le cadre de la coopération décentralisée.

Enfin, dernière préconisation, les responsables locaux devraient être exemplaires après la mise en service d'un système électrique collectif, en payant dans les règles leur facture personnelle d'électricité et celle des ouvrages communautaires municipaux. Sans cette exemplarité, c'est l'équilibre économique du dispositif, et donc la pérennité du service, qui est remis en cause. ○



© Rémy Delacloche

Les services communautaires électrifiés bénéficient à toute la population.

4.2.

Préconisations à la communauté internationale.

Que les pays du Sud s'emparent du sujet de l'accès à l'énergie en zones rurales nous paraît essentiel. Sans volonté de leurs dirigeants de donner accès à l'électricité au plus grand nombre et, plus largement, de soutenir le développement rural, les communautés les plus enclavées resteront privées des services essentiels.

Cependant, tant qu'ils ne disposeront pas des ressources fiscales suffisantes pour financer les infrastructures à un rythme soutenu (celui de la croissance démographique et économique), ces pays ne pourront vraisemblablement pas réussir sans l'aide de la communauté internationale.

Afin de garantir la mise en place d'un soutien ciblé et coordonné aux actions des pays du Sud, cette communauté devrait selon nous prioritairement soutenir les changements de gouvernance et d'organisation de l'ERD, ainsi que la professionnalisation du secteur, en continuant de s'appuyer sur l'expérience des acteurs les plus expérimentés, notamment les ONG spécialisées.

Elle devrait également s'interroger sur des mécanismes de solidarité renouvelés entre pays du Nord et du Sud ; c'est pourquoi nous proposons ci-après une piste de réflexion permettant de faire participer les citoyens à l'effort d'accélération de l'accès à l'électricité.



© Rémy Delacloche

Les femmes sont des actrices essentielles des projets d'ERD.

Encourager les réformes et soutenir les actions conduites par les acteurs publics dans les pays du Sud.

En premier lieu, la communauté internationale et ses instances devraient continuer à proposer un cadre de sensibilisation active des décideurs politiques au plus haut niveau sur le nouveau paradigme de l'électrification (énergies renouvelables, solutions décentralisées) :

- par leurs instances et leurs événements, elles offrent de nombreuses occasions pour partager des analyses et des argumentaires, auxquelles les acteurs portant la fonction d'assistance à maîtrise d'ouvrage (notamment les ONG de terrain spécialisées) devraient être conviés pour partager les retours d'expérience ;
- sur ce sujet, la communauté internationale devrait poursuivre sa conversion au pragmatisme, laissant de côté le dogme du « tout raccordé au réseau » encore prôné par certains consultants (qui incitent les gouvernants à mettre en place des modèles ressemblant à ceux des pays du Nord, alors même que les conditions opératoires ne le permettent pas) ;
- la communauté internationale devrait également écouter avec plus de recul les sirènes du « tout-innovation » : il s'agit d'encourager et d'alimenter la réflexion collective sur des schémas qui ont fait leurs preuves, de ne pas perdre de vue la finalité de l'accès universel, et, enfin, de s'assurer que la technologie ne demeure qu'un moyen en vue d'un objectif final.

Ensuite, les institutions internationales, ainsi que les organisations régionales du Nord et du Sud, devraient prioritairement **orienter leur soutien méthodologique vers des actions facilitant la mise en place des réformes évoquées précédemment** (voir chapitre 4.1.), à savoir :

- les réformes organisationnelles nécessaires à un déploiement effectif et efficace des stratégies

nationales d'électrification rurale : soutien au renforcement de la décentralisation, à la mise en place de services déconcentrés de l'agence d'électrification rurale, au recrutement et la montée en compétences des personnels des services et collectivités publics, à la promotion de la coordination des actions ;

- les réformes réglementaires nécessaires pour garantir la sécurité juridique et réduire le risque pour les porteurs de projet et les investisseurs, pour assainir le marché et assurer l'équité entre usagers : règles fiscales, cadre d'harmonisation tarifaire, minima qualitatifs pour les produits...

Enfin, les institutions de coopération multilatérale (telle l'Union européenne) ou bilatérale (telle l'Agence française de développement) devraient également **renforcer l'appui à la structuration d'une filière ERD dans les pays du Sud, à travers des programmes spécifiques d'assistance technique** (formation, méthodologie notamment) dédiés à :

- la création et la gestion d'entreprises (fourniture et maintenance d'équipements, exploitation) au Sud ;
- la professionnalisation des collectivités du Sud ;
- la certification des produits distribués au Sud.

Favoriser la compréhension entre acteurs financiers et non financiers sur les projets d'accès à l'électricité en milieu rural.

Il nous paraît en effet indispensable de trouver des solutions au déficit d'investissement dans les solutions collectives d'électrification rurale comme les miniréseaux.

Par exemple, au sein de l'initiative Sustainable Energy for All (SE4All ; cf. chapitre 1.1.1.), il serait ainsi utile de créer un think tank, un groupe de travail ou une plateforme rassemblant acteurs du secteur de l'ERD (collectivités du Sud, ONG,

industriels, chercheurs) et acteurs du secteur financier (bailleurs et banques de développement, investisseurs, banques primaires, assureurs et ré-assureurs, actuaires, chercheurs) du Nord et du Sud.

Ce groupe aurait pour objectifs de :

- permettre à chaque acteur de mieux connaître les contraintes et les méthodes opératoires de tous les autres ;
- clarifier les risques et les opportunités économiques et financières liés aux différents types de projets ;
- comprendre comment les instruments financiers (*equity*, dette, dons/subventions) peuvent s'articuler pour financer les différentes solutions concourant à l'électrification de l'Afrique subsaharienne rurale ;
- définir des schémas de financement adaptés au développement des solutions décentralisées, incluant tous les mécanismes, y compris de dons et de subventions et les solutions mixtes (*blended finance*) et la finance décentralisée (alimentation de lignes de crédit locales par des fonds internationaux) ;
- prioriser notamment les questions de financement des projets intermédiaires (de type mini-réseaux), entre 0,50 M€ et 10 M€, qui peinent à trouver des financements.

Créer un fonds de la solidarité Nord-Sud.

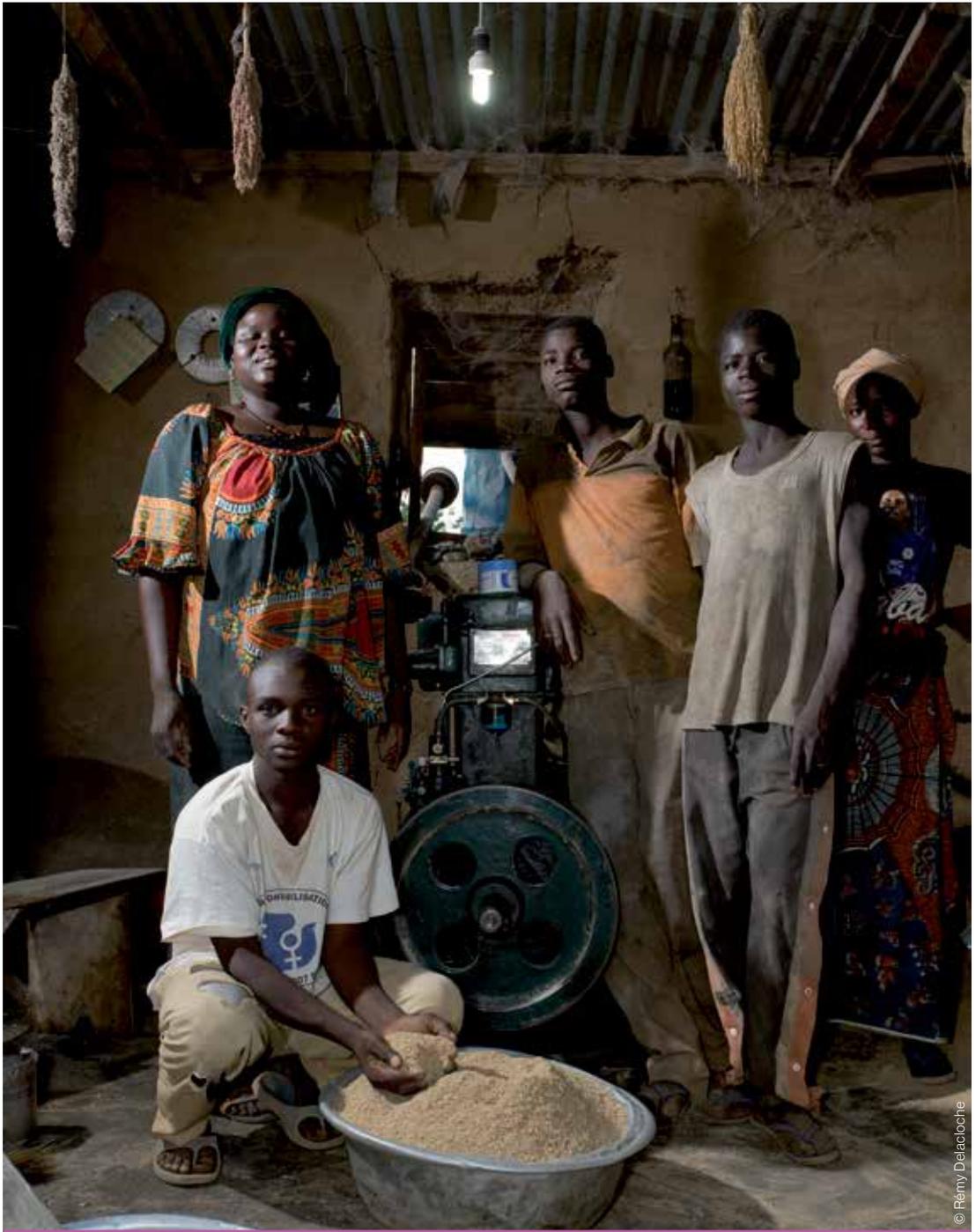
Nous préconisons de réfléchir à la mise en place d'un mécanisme de solidarité Nord-Sud qui faciliterait le financement de l'électrification rurale. Il s'agirait d'un « 1 % accès à l'électricité », consistant à prélever une contribution sur la consommation des usagers des pays industrialisés (selon des modalités qui ne pénalisent pas les ménages précaires) pour aider à la mise en place des infrastructures électriques par ENR en milieu rural dans les pays du Sud :

- un prélèvement de 0,5 % sur les factures d'électricité des consommateurs de l'UE28 couvrirait l'équivalent de la facture annuelle en électricité d'environ 100 millions d'Africains ;
- les fonds collectés devraient être dirigés vers le financement de nouveaux schémas d'électrification ou la pérennisation des schémas existants ;
- préalablement à la mise en place d'un tel mécanisme, il serait indispensable de sensibiliser la société civile du Nord aux enjeux de l'ERD, par exemple par la mise en place d'un programme spécifique d'éducation au développement axé sur l'accès à l'électricité. ○

4.3. Préconisations aux financeurs des projets.

Les projets d'infrastructures d'électrification rurale décentralisée sont consommateurs de capitaux, et les montages financiers associés revêtent autant de formes qu'il y a de projets (cf. chapitre 2.3.2.). Récemment, la gamme disponible de financements s'est enrichie ; des bailleurs de fonds internationaux comme la Banque mondiale acceptent désormais l'idée de syndiquer des ressources privées avec des subventions, par exemple.

Néanmoins, comme évoqué dans les chapitres de diagnostic, certaines solutions peinent à trouver des financements. De ce point de vue, si l'existence d'une instance de dialogue et de coconstruction de dispositifs de financements adaptés telle que préconisée (cf. 4.2.) serait utile, elle resterait insuffisante. Les bailleurs institutionnels pourraient améliorer les mécanismes existants, en se coordonnant davantage, en orientant leur soutien différemment et en ajustant leurs processus d'attribution de fonds. Par ailleurs, les investisseurs internationaux, tout comme les institutions financières locales, chacun à leur échelle, auraient également un rôle à jouer et devraient adapter leur pratique.



© Remy Delacloche

Les soutiens aux activités économiques assurent l'essor et la pérennité des services en zones rurale.

4.3.1.

Préconisations aux bailleurs de fonds internationaux.

Selon nous, les banques de développement et les bailleurs de fonds institutionnels (multilatéraux et bilatéraux) devraient faire prévaloir quelques grands principes de financement pour garantir des projets d'ERD territoriale-ment et économiquement plus pertinents et plus pérennes.

- Afin d'éviter la multiplication des projets en ordre dispersé, les bailleurs devraient développer la coordination effective des interventions, dans le cadre de stratégies territoriales. Il existe de nombreux exemples d'une telle coordination : à Madagascar, au Cameroun, au Bénin, en Guinée, au Mali, en RDC ou encore au Sénégal, les acteurs de l'accès à l'énergie se réunissent périodiquement pour s'assurer de la cohérence de leurs actions.
- Ces bailleurs, notamment par des mécanismes de dons, pourraient aussi financer l'électrification rurale là où les investisseurs privés s'y refusent ou s'en trouvent incapables (là où les capacités contributives des abonnés ne permettent pas de couvrir la totalité d'une grille tarifaire rentable).
- L'aide devrait également profiter aux acteurs et aux entreprises locales du Sud, ainsi qu'à ceux du pays donateur : dans une dynamique partenariale, nous préconisons de délier l'aide internationale au bénéfice des acteurs du Sud et d'accorder, en miroir, une part aux entreprises du pays d'intervention.

Sur le fond des projets soutenus, il nous paraîtrait essentiel de prioriser certains sujets :

- financer les actions d'accompagnement et de sensibilisation, de suivi et d'études (préalables, d'impact), qui peuvent être complexes et lourdes en milieu rural enclavé ;
- aider les Etats à structurer la nouvelle organisation institutionnelle (pilotage national au niveau interministériel, renforcement de la décentralisation et de la déconcentration des agences d'électrification rurale).

Concernant les procédures de financement, il serait nécessaire, selon nous, de :

- mettre en place des délégations pour le traitement des dossiers de projets inférieurs à un certain montant, ce qui réduirait les coûts de transaction, renforcerait la proximité avec le terrain (exemple : délégations nationales UE, antennes locales AFD, services économiques des ambassades, représentations économiques) et permettrait l'émergence de projets de plus petite ampleur (de 300 k€ à 1 M€) ; il serait utile de mettre en place des facilités dédiées à ce type de projets dans lesquels les ONG pourraient jouer un rôle particulier.

Cette décentralisation au niveau des organisations du Nord justifierait l'élargissement des financements directs aux collectivités territoriales du Sud (agissant en tant que maîtres d'ouvrage) en :

- allongeant la durée du soutien aux projets d'électrification collective, pour la plupart longs et complexes ;
- fondant toutes les mécaniques de financement sur une appréciation de la triple performance du projet (économique, sociale, environnementale) dans une optique de « *blended finance* » (dialogue avec les investisseurs d'impact) ;

- améliorant la couverture des risques des investisseurs (en relais des garanties souveraines), par exemple par la mise en place de fonds de garantie dédiés accessibles au secteur financier local ;
- conditionnant l'attribution à un opérateur privé de dons, subventions ou prêts avantageux à sa participation active aux activités de partage de données et d'expérience (au sein d'une plateforme internationale, cf. la proposition supra en 4.2.). ○



© Pémey Delacloche

L'électrification des zones rurales contribue à les rendre attractives.



Quels principes essentiels appliquer en matière de financement des projets d'ERD ?

(Rappel de principes déjà mentionnés et dont la liste n'est pas exhaustive.)

- **Regroupement et durabilité des ressources financières** concernant les investissements nécessaires au développement et à la réalisation des projets d'électrification rurale. Les ressources des bailleurs de fonds dédiées à ce type de projets doivent être fédérées dans un fonds ou une facilité multibailleurs, dont les procédures d'attribution de soutien financier s'appliquent à tous les projets mis en œuvre dans le cadre de la politique nationale d'électrification rurale.
- **Dotation de ressources financières publiques suffisantes** pour assurer le fonctionnement des instances administratives en charge de l'électrification rurale et fournir les contreparties nécessaires aux financements des bailleurs de fonds. La dotation doit être alimentée par une parafiscalité sur la vente de l'électricité permettant progressivement d'accroître le cofinancement public et visant à terme l'autofinancement des projets d'électrification rurale.
- **Subvention partielle à l'investissement initial** (développement, construction/installation des infrastructures et équipements), assurant la viabilité et l'attractivité financières des projets d'électrification rurale. Par contre, pas de subvention au fonctionnement ni aux extensions ultérieures.
- **Paiements de la subvention basés sur les résultats** selon les spécifications techniques précisées dans la convention de subvention associée au projet, qui définissent le but recherché et les résultats qui seront mesurés, y compris la manière dont ils seront mesurés, en fonction de la mise en œuvre du plan d'affaires de l'opérateur d'électrification, annexé à la convention. Les paiements peuvent faire l'objet de réfaction ou de prime selon la qualité des résultats par rapport au niveau requis.
- **Cofinancement par les opérateurs d'électrification** des investissements initiaux de développement et de construction/installation des infrastructures et équipements, sur fonds propres complétés si nécessaire par des prêts bancaires.
- **Engagement des opérateurs d'électrification à assurer et financer l'exploitation et la maintenance des installations et équipements**, y compris leur extension et le renouvellement des composants en temps voulu.
- **Audit périodique technique et financier du fonds ou de la facilité multibailleurs**, effectué par un organisme indépendant pour s'assurer de la bonne gestion et de la transparence, tant sur le plan des procédures administratives que des méthodologies et des mécanismes utilisés pour la prise de décision, la réalisation des projets et le suivi-contrôle.

4.3.2.

Préconisations aux investisseurs internationaux.

Il nous semble important de partager les retours d'expérience entre acteurs financiers et non financiers.

Au sein de la plateforme de dialogue évoquée plus haut, les investisseurs (fonds classiques ou ISR, *impact investors...*) pourraient

ainsi travailler avec l'ensemble des acteurs de l'ERD, dans une logique d'écoute et de pédagogie, pour mieux évaluer les opportunités d'investissement dans l'électrification rurale décentralisée et développer cette activité en coordination avec les monteurs de projets. ○

4.3.3.

Préconisations au secteur financier dans les pays du Sud.

Pour appuyer le développement de l'ERD, les institutions financières, notamment les banques primaires, pourraient utilement internaliser une expertise en ERD, par exemple au sein de leurs équipes dédiées au développement rural.

A l'échelle d'un territoire, les institutions financières locales, notamment les institutions de microfinance, pourraient soutenir les micro-entrepreneurs dans le développement de leurs activités économiques (achat d'équipement, de récepteurs) ou les opérateurs locaux pour entretenir l'outil de production (achat de matériel de remplacement) :

- elles pourraient participer aux échanges et aux sensibilisations organisées à l'échelle régionale afin de mieux évaluer les opportunités et les risques ;
- elles pourraient répercuter sur le taux d'intérêt pratiqué la baisse du risque de crédit liée aux mesures d'accompagnement et aux garanties de qualité des équipements dont bénéficie l'emprunteur (deux points sur lesquels les ONG sont vigilantes lorsqu'elles portent un projet). ○

4.4.

Préconisations aux monteurs de projets et à leurs partenaires directs sur le terrain.

Le changement d'échelle dont l'Afrique subsaharienne a besoin pose un problème méthodologique : peut-on à la fois faire du « sur-mesure » pour chaque territoire et « massifier » l'ERD ? Cela ressemble à la quadrature du cercle...

Pour y parvenir, les monteurs de projets devraient selon nous privilégier une double approche méthodologique :

- travailler en « demi-mesure » ou en « standardisation intermédiaire » : définir des morphotypes de sites, chacun associé à une combinaison de solutions d'électrification adaptées ;
- sur une même zone, agir à large échelle, en utilisant l'effet de mutualisation et de compensation entre villages, avec un seul opérateur et une seule équipe de pilotage de projet.

Trois autres principes d'action devraient guider le montage d'un projet de systèmes d'ERD, quel qu'en soit le porteur :

- **s'adresser aux structures régionales** pour couvrir un bassin d'au moins 10 000 abonnés ;
- **s'obliger à couvrir les populations les plus vulnérables**, en recourant à la palette de solutions disponibles (cf. partie 3.) en complément de la solution principale développée ;
- **s'associer avec des ONG** du Nord spécialisées en ERD et des ONG locales de développement rural.

Cette coopération d'acteurs apparaît notamment indispensable pour évaluer correctement les risques économiques, sociaux et financiers, démarche qui peut prendre un temps significatif et qu'il ne faut, selon nous, en aucun cas sacrifier. En garantissant un travail d'accompagnement des populations et des entrepreneurs locaux, elle permettrait aussi de ne pas perdre de vue que l'électrification n'est qu'un moyen, que l'objectif réside dans les usages finaux de l'électricité, et notamment les usages productifs.

De plus, les ONG du Sud devraient aider les populations locales à manifester leur volonté, à dire « non » aux projets qui ne correspondent pas à leurs attentes, et favoriser leur implication dans les projets auxquels elles disent « oui ».

De leur côté, les ONG du secteur du Nord pourraient sans doute mieux prendre en compte les bouleversements en cours dans le domaine de l'ERD, et notamment la privatisation du secteur, en faisant évoluer leur rôle :

- gardiennes naturelles de l'accès universel à l'électricité et du respect de ce droit pour les populations les plus vulnérables, elles ont une vocation de plaidoyer, et devraient davantage faire entendre leur voix ;

- il nous semble également qu'elles devraient garder un rôle opérationnel central dans la mise en œuvre de solutions décentralisées dans deux cas : (1) pour assurer l'électrification de sites où les investisseurs ne veulent ou ne peuvent pas intervenir, et (2) pour conduire des projets pionniers et accompagner la mise en œuvre sur le terrain des innovations technologiques ;
- dans les autres cas, leur mission, nourrie de leur longue expérience de terrain, serait plutôt celle d'un appui technique, en ingénierie sociale notamment, aux monteurs publics de projets (collectivités du Nord dans le cadre de la coopération décentralisée, par exemple) ou privés. Elles pourraient ainsi jouer un rôle essentiel pour former et professionnaliser les acteurs locaux, et pour sélectionner des opérateurs et exploitants ayant à la fois la fibre entrepreneuriale et sociale, en lien avec les fournisseurs de solutions.

En effet, les fournisseurs de solutions auraient aussi leur rôle à jouer pour maximiser les externalités positives des systèmes installés :

- encadrer l'expérimentation de solutions de production, distribution ou stockage : identifier un territoire mature, diffuser une information précise sur les risques liés à l'expérimentation ;
- assurer la formation et le transfert de compétences vers le secteur privé local pour mettre en place des filières d'approvisionnement en pièces de rechange ;
- structurer la filière de recyclage des matériels. ○

MINIDOSSIER

Comment préparer un dossier de projet d'ERD ?

La préparation d'un dossier de projet d'ERD nécessite du temps et des moyens qu'il ne faut pas sous-estimer. Elle dépend de nombreux facteurs, notamment du pays concerné, du porteur du projet, du type de projet dont il s'agit et des sources de financement envisageables. Nous nous limitons ici à lister les principales préconisations applicables dans la plupart des cas.

Éligibilité administrative, technique et financière.

Le porteur de projet doit avant tout vérifier son éligibilité au statut d'opérateur d'électrification, aux éventuels avantages fiscaux et aux financements disponibles. Cette vérification porte sur trois domaines, chacun étant une cause possible d'inéligibilité :

- **administratif** : fournir les actes certifiant la forme juridique de la structure porteuse du projet, sa date de création, son objet social, son capital, les noms des associés et leurs parts respectives, ainsi que ses statuts ;
- **technique** : présenter les principales références du porteur pour des projets similaires ou montrant qu'il dispose de l'expertise technique requise (une expérience consistante d'exploitation et de gestion de clientèle de miniréseaux peut être un atout majeur) ; fournir un organigramme et les curriculum vitae des principaux intervenants envisagés ;
- **financier** : fournir les données bancaires, les trois derniers bilans certifiés de l'entreprise ainsi que toutes les preuves d'apports financiers externes (bailleurs de

fonds, banques, etc.) pouvant compléter les fonds propres.

Dans le cas d'un consortium, chaque partenaire doit fournir les mêmes pièces justificatives que le porteur, un mémorandum de partenariat doit être signé par tous, de même qu'un ou des mandats pour représenter le consortium.

Pertinence du projet, cohérence avec le contexte et les réalités locales.

Pour être viable et durable, le projet envisagé doit être en cohérence avec les politiques et stratégies nationales, régionales et locales d'électrification rurale et, plus généralement, de développement socio-économique (services publics, santé, éducation, activités économiques), et pouvoir contribuer à leur mise en œuvre.

A cet effet, le porteur du projet doit préciser les informations de base et les hypothèses de travail sur lesquelles le projet est conçu, et justifier sa pertinence :

- **informations de base** : collecter les données disponibles et réaliser les investigations et enquêtes de terrain nécessaires auprès des collectivités locales, des services publics, des ménages et des acteurs économiques, portant sur :
 - données démographiques et socio-économiques, potentialités de développement,
 - attentes et motivation des élus, des responsables locaux et des autorités coutumières,

- programmes et projets en cours, et prévus à court et moyen termes,
- sources d'énergie et dépenses actuelles pour l'éclairage, la charge des batteries (téléphones mobiles), l'audiovisuel, l'électroménager, les activités artisanales, etc.,
- études de marché (capacité et volonté de payer) auprès des ménages et autres clients potentiels pour l'accès à l'électricité, et typologie de consommation (catégories de consommateurs, consommations moyennes par catégorie, demandes de pointe, saisonnalité, courbes de charge, etc.),
- types et densités d'habitat, distances entre les villages, typologie de terrain et tracés possibles pour des miniréseaux ;

• **pertinence du projet :**

- décrire la pertinence au regard des objectifs et des priorités locaux, notamment par rapport aux zones identifiées comme propices à l'électrification hors réseau, et par rapport à tout autre besoin, comme les opportunités de développement économique, les aspects environnementaux et de santé, etc.,
- démontrer la pertinence par rapport aux besoins et contraintes des bénéficiaires finaux potentiels,
- estimer le nombre de bénéficiaires potentiels directs et indirects,
- montrer comment sont pris en compte les aspects environnementaux, la santé, l'intégration sociale et l'inclusion du genre.

Cadre logique.

Vient ensuite l'établissement du cadre logique, étape incontournable et déterminante. C'est en effet la référence qui explicite les objectifs et résultats attendus du projet, son déroulement, les indicateurs qui vont permettre de mesurer sa réalisation et les hypothèses et les risques associés. Il se décline de la façon suivante :

• **énoncé du problème :** décrire le problème principal à résoudre en mettant l'accent sur les défis rencontrés par les principaux bénéficiaires, en particulier les groupes les plus vulnérables ;

• **objectifs du projet :** proposer un exposé concis de l'objectif global et des objectifs spécifiques du projet, en cohérence avec les politiques et stratégies locales et les éventuels appels à propositions ;

• **résultats attendus, et pour chaque résultat :**

- les indicateurs objectivement vérifiables, quantitatifs et qualitatifs, permettant de mesurer les biens et services fournis par le projet,
- la source de vérification, la partie responsable et la fréquence de la collecte,
- les hypothèses et les risques concernant l'atteinte du résultat attendu,
- les principales activités prévues pour atteindre le résultat, sans omettre d'intégrer des activités d'accompagnement comme la promotion d'applications productives et les éventuelles mesures d'atténuation des risques sociaux et environnementaux.



© Remy Delaioche

La téléphonie mobile, moteur de l'électrification des zones rurales.

Plan de travail.

Le cadre logique doit être complété par un plan de travail mettant en évidence les étapes clés de la mise en œuvre du projet. Le plan doit concerner toute la période de mise en œuvre. Les étapes doivent être réalistes et réalisables, détaillées, par exemple sur une base trimestrielle, et présentées sous forme de tableau.

Le porteur devra notamment s'assurer de la cohérence chronologique :

- les études de la demande et les enquêtes précèdent le dimensionnement ;
- l'obtention de la licence/agrément d'exploitation précède la mise en service ;
- la durée prévue pour l'importation des équipements est suffisante ;
- la durée prévue pour l'obtention de la licence/agrément d'exploitation, de production et distribution est suffisante et réaliste.

Dans le cas d'une sollicitation de subvention, le cadre logique et le plan de travail peuvent être inclus dans l'accord de subvention, et la réalisation des étapes clés peut conditionner le décaissement des fonds.

Plan d'affaires.

Le plan d'affaires est l'élément clé de la préparation du projet, mais aussi de son évaluation par les partenaires institutionnels et financiers. Il accompagne et justifie les dossiers de demande d'agrément (licences d'exploitation, de production, de distribution) et/ou de financement (subvention, prêt bancaire). Il est présenté généralement sous forme de tableur comprenant plusieurs onglets :

- **hypothèses de travail** : prévision de la demande (kWh/an) par catégorie d'utilisateurs sur la durée du projet ; proposition de système tarifaire pour les différentes catégories d'utilisateurs (souvent jusqu'à cinq) ; estimation des ventes annuelles ;
- **plan d'investissement** précisant pour chaque poste de dépense le coût unitaire, la quantité, sa périodicité et sa justification (description, nécessité pour le projet, justification du calcul, coûts réels et informations sur le fournisseur et l'origine des équipements) :
 - achat et installation des équipements : acquisition, transport, installation, formation, remplacement, autres,
 - exploitation : opération et maintenance, réparations, facturation, autres coûts,
 - facilitation des activités locales : formation, gestion et suivi du projet, communication, autres,
 - distribution et management : dépenses de distribution, personnel support, dépenses administratives, équipements, contrôle de gestion, autres,
 - coûts des terrains et des bâtiments, autres ;
- **sources de financement** (montant, taux d'intérêt, durée) : fonds propres, participation et apport de partenaires et d'autres tiers, prêts bancaires, prêts concessionnels, valorisation d'apport en nature, subventions ;
- **plan de décaissement** sur la période de subvention ;
- **plan d'affaires sur vingt ans**, résultats d'exploitation, cash-flow et taux de rentabilité interne avec et sans subvention.

Conclusion

S'il y a une leçon, et une seule, à tirer de cinquante ans d'électrification rurale décentralisée par énergies renouvelables, laquelle choisir ?

Peut-être que cette électrification est d'abord affaire de subsidiarité, du national au local. Du général au particulier, de la politique nationale au service auprès d'usagers en milieu rural : le territoire et les hommes qui le peuplent, dans les régions et les villages, doivent fonder l'analyse et l'action. Ce constat porte au-delà des frontières de l'accès à l'électricité et des pays en développement.

Au Nord, on assiste, grâce à la récente valorisation des énergies renouvelables, disponibles sur le lieu même de leur utilisation, à la fragmentation des acteurs et au retour à une maîtrise locale de la production, de la distribution et de la consommation d'électricité. C'est le sens des préconisations formulées plus haut dans cet ouvrage.

Si le territoire doit être la mesure de toute chose, alors cette leçon en contient une autre : seule, l'électrification est impuissante à réaliser un

développement rural inclusif. Une infrastructure énergétique n'est qu'une infrastructure parmi d'autres, que seule une dynamique structurée d'aménagement du territoire peut mettre en valeur. Pas de développement régional sans route carrossable ou sans valorisation des filières, pas de développement local sans dispensaire médical ou sans école, sans système d'assainissement, sans incitation entrepreneuriale.

Les mutations technologiques en cours favorisent la conception de nouveaux modèles de gestion des infrastructures électriques, plutôt favorables à cette territorialité et à cette proximité, quand bien même elles reposent sur une dématérialisation déshumanisante. Ces tendances disruptives que les acteurs de l'accès à l'électricité mettent en œuvre localement ne peuvent être viables sans une régulation organisée par les pouvoirs publics. C'est par la juste implication des trois niveaux de gouvernance (national, régional, local) que l'électrification décentralisée satisfera le plus grand nombre. Il en est de même pour la gestion de l'eau ou des déchets.

Cette conclusion est ainsi porteuse à la fois d'un espoir et d'une crainte.

L'espoir qu'émerge une action collective plus pertinente, fondée sur une vision holistique du développement rural, organisant la mise en place coordonnée des infrastructures de base, au nombre desquelles celles qui apportent à tous l'électricité.

Et la crainte que ces biens communs, qu'il s'agisse de l'eau ou de l'électricité, devenant services marchands, échappent à une partie de la population, la plus vulnérable, la moins rentable. Si l'intervention croissante du secteur privé est porteuse de financements, d'innovations, de compétences dont l'ERD a définitivement besoin, l'universalité de l'accès à l'électricité dans le respect de l'équité entre les citoyens ne peut s'abstenir sereinement d'un cadre régulé. Pas plus au Sud qu'au Nord.

L'Afrique, qui dispose d'une culture du commun bien plus forte que l'Europe, détient peut-être la clé. ●

.....

« L'Afrique n'a peut-être pas inventé l'idée de l'universel, mais elle a développé toutes sortes de conceptions du "commun", où ce qui compte est la relation et non pas l'être, où le social et l'individuel se complètent. Des conceptions qui pourraient servir de base à la critique du néolibéralisme, règne du chacun pour soi. »

Achille Mbembe, historien, philosophe et politologue camerounais
(*Le Monde*, 2016).

.....

Glossaire

Appel de puissance

Puissance requise pour satisfaire une demande en électricité. Ce terme est souvent utilisé pour désigner le pic de puissance appelée surgissant lors d'une demande soudaine et forte d'électricité.

Approche interventionniste

Approche historique d'électrification des territoires, fondée sur la coordination institutionnelle et l'implication de la société civile pour la mise en œuvre d'une solution collective d'électrification.

Approche libérale

Approche récente d'électrification des territoires fondée sur l'intervention d'un acteur privé dans le cadre d'un échange marchand avec un client pour l'acquisition d'un bien ou d'un service électrique contre un paiement comptant ou à tempérament.

Cellule photovoltaïque

Dispositif photovoltaïque le plus élémentaire, composé d'un matériau semi-conducteur photosensible qui génère de l'énergie électrique (courant continu) par absorption de rayonnement lumineux.

D'après Gérard Moine, L'électrification solaire photovoltaïque. Systèmes autonomes, systèmes hybrides, miniréseaux. (Langres : Observ'ER, 2016).

Courant continu

Le courant continu est un flux d'électrons « circulant » dans un seul sens, du pôle négatif vers le pôle positif. Tout circuit alimenté par un générateur de type pile ou batterie (lampe de poche, téléphone...) fonctionne en courant continu. Le courant continu est la seule source d'électricité « naturelle ».

Courant alternatif

En courant alternatif, les électrons « circulent » de manière alternative dans les deux sens du circuit, sous l'effet de rotation d'un alternateur dans la plupart des cas, ou d'un convertisseur électronique dans le cas des onduleurs.

Toutes les sources de production d'électricité classiques, du barrage à la centrale nucléaire en passant par la centrale à charbon, consistent à faire tourner un alternateur à une vitesse contrôlée, à partir d'une source d'énergie thermique ou mécanique. Les récepteurs électriques ont donc été logiquement conçus pour fonctionner avec du courant alternatif. Le courant alternatif est également utilisé pour transporter l'électricité sur de longues distances, car il limite les pertes en modulant intensité et tension plus facilement.

Décarbonation

Ensemble des mesures et techniques visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre (essentiellement dioxyde de carbone mais également méthane), s'inscrivant ainsi dans un projet de société sans utilisation d'énergies fossiles.

D'après Espace Mondial, L'Atlas, Sciences-Po

Dépenses d'exploitation (OPEX)

Dépenses liées à la production d'un bien ou d'un service par une organisation. Dans le cas d'un système électrique, il s'agit par exemple de dépenses de personnel exploitant, frais de maintenance des équipements, intrants de fonctionnement (ex. combustible), pièces de rechange, déplacements, frais de communication.

Dépenses d'investissement initial (CAPEX)

Dépenses liées au développement et fourniture des pièces non consommables pour un produit, une entreprise, un système. Dans le cas d'un système électrique, il s'agit par exemple de la réalisation des études préalables, de l'acquisition des composants du système, ou encore de l'assistance technique à l'installation.

Facteur de charge

Ratio entre l'énergie qu'une unité de production électrique produit sur une période donnée, et l'énergie qu'elle aurait produite durant cette période si elle avait toujours fonctionné à puissance maximale.

Genre

Concept qui désigne les rapports, les devoirs, les rôles socialement et culturellement construits des femmes et des hommes. Il s'agit d'une construction politique et sociale qui se différencie de la notion de sexe, recouvrant les caractéristiques biologiques des individus.

Groupe électrogène

Dispositif autonome constitué d'un moteur thermique, alimenté par différents types de carburants, qui actionne un alternateur capable de produire de l'électricité.

Ingénierie sociale

Ensemble des activités d'écoute, d'observation, de sensibilisation, de formation et d'accompagnement des parties prenantes un projet, selon une approche coopérative, démocratique et participative de la gestion de projet.

Ingénierie technique

Ensemble des activités permettant la conception, la construction et la mise en service d'une installation technique ou industrielle, allant des études préalables au contrôle de équipements installés, en passant par le dimensionnement, l'achat et le contrôle de fabrication des équipements, la réalisation des travaux et la conduite des tests avant mise en service.

Maître d'ouvrage

Commanditaire du projet qui définit le cahier des charges (besoins et objectifs, budget, calendrier prévisionnel) en amont du projet. Une fois installés, il devient le propriétaire des équipements.

Maître d'œuvre

Personne ou organisation en charge de la conception des plans, de l'organisation et de la supervision du projet. Choisie par le maître d'ouvrage, elle coordonne les personnes travaillant sur le projet et livre le produit fini.

Module photovoltaïque

Plus petit ensemble de cellules solaires interconnectées complètement protégé contre l'environnement.

D'après Gérard Moine, L'électrification solaire photovoltaïque. Systèmes autonomes, systèmes hybrides, miniréseaux. (Langres : Observ'ER, 2016).

Plan d'Affaires (ou *Business Plan*)

Document constitutif d'un dossier de demande de financement rassemblant les informations détaillées et quantifiées sur l'ensemble des aspects d'un projet. Il comprend notamment une analyse précise des événements susceptibles de survenir pendant la durée du financement et d'avoir un impact sur l'atteinte des objectifs du projet (étude de sensibilité).

Puissance

Quantité d'électricité produite ou consommée à un instant donné. Elle est mesurée en Watt (W).

Rendement de conversion photovoltaïque

Rapport entre la puissance électrique délivrée aux bornes du dispositif photovoltaïque et la puissance lumineuse incidente mesurée dans les conditions normales d'essais.

D'après Gérard Moine, L'électrification solaire photovoltaïque. Systèmes autonomes, systèmes hybrides, miniréseaux. (Langres : Observ'ER, 2016).

Renforcement de capacités

Processus par lequel les individus, les organisations et la collectivité dans son ensemble libèrent, créent, renforcent, adaptent et préservent, au fil des ans, leurs capacités, c'est-à-dire leur aptitude à gérer leurs affaires avec succès. Il résulte d'une multitude d'actions et de bénéficiaires, dont l'enjeu est d'avoir un impact sur trois niveaux interdépendants (individuel, organisationnel, environnement global), afin de permettre, à terme, l'autonomisation complète de l'écosystème local.

Secteur informel

Ensemble des activités économiques échappant au regard de l'État et à la législation pénale, sociale et fiscale.

Solaire thermodynamique

Technologie consistant à concentrer le rayonnement solaire à l'aide de collecteurs pour chauffer un fluide à haute température et produire ainsi de l'électricité ou alimenter en énergie des procédés industriels.

Stockage

Processus consistant à préserver une quantité d'énergie pour une utilisation ultérieure. Le stockage électrochimique (l'aide de batteries) est le mode de stockage d'électricité le plus répandu.

Index

A

Abonnement : 99, 160, 249, 251, 279, 281, 358, 362, 374, 378, 400

Abonné(s) (voir aussi Usager) : 68, 123, 124, 128, 147, 158, 171, 184, 187, 208, 209, 228, 235, 236, 244, 246, 248-251, 327, 328, 344, 348, 358, 363, 364, 373, 374, 380, 408, 413

Acceptation (voir aussi Adhésion) : 150, 207, 220, 228, 231, 290, 356, 364, 373, 376

Accès à l'énergie : 44 et sq., 88, 92, 122, 151, 168, 169, 193, 222, 287, 297, 399, 408

Accessibilité : 70, 98, 112-114, 124, 127, 128, 144, 166, 168, 243, 246, 272, 278, 286, 292, 293, 309, 343, 389

Accompagnement (voir aussi Sensibilisation) : 92, 93, 124, 155, 159, 177, 179, 180, 192, 207, 209-211, 216 et sq., 275, 289, 293, 295, 316, 322, 324, 326, 335, 343, 345, 347, 372, 377, 408, 411, 413, 415

Activités (voir aussi Usages)
 - agricoles : voir Agriculture
 - économiques / productives (voir aussi Usages) : 44, 51, 78, 97, 98, 101, 102, 124, 128, 206, 207, 211, 215, 218, 224, 230, 243, 244, 274, 280, 286, 287, 292, 294, 303, 313, 316, 317, 321-323, 325, 326, 329, 331, 354, 357, 359, 365, 367, 369, 378, 411, 414, 415
 - génératrices de revenus : 224
 - sociales : 98, 313, 324

Adhésion (des populations) (voir aussi Acceptation) : 207, 216-235, 239, 241, 317, 321, 322, 360, 365, 367, 373, 375

Affermage : 86, 87, 372

Agence(s)
 - d'électrification rurale : 89, 149, 150, 206, 209, 263, 331, 345, 364, 375, 381, 394, 395, 397, 404, 408
 - de développement : 169, 176, 189, 192
 - de régulation : voir Autorités

Agriculture : 36, 40, 58, 60, 61, 102, 116, 121, 140, 145, 148, 197, 207, 209, 230, 236, 243, 308, 310, 316, 320, 364, 365, 367

Aide(s) : voir Dons, Financement, Fonds, Subventions

Aide internationale au développement (voir aussi Coopération) : 145, 151, 182, 192, 230, 260, 302, 408,

Aménagement du territoire : 116, 177, 208, 397, 418

Appareils électriques (voir aussi Récepteurs) : 45, 112, 113, 145, 158, 160, 166, 168, 207, 214, 218, 228, 231, 235, 263, 341, 342, 358, 360, 374, 376, 379

Approche :
 - du développement : 232
 - genre : voir ce terme
 - interventionniste : 114, 174, 176, 180, 181, 183, 204, 214, 215, 219, 220, 238, 241, 242, 246, 251, 347
 - libérale : 89, 114, 172, 174, 176,

193, 204, 213, 214, 215, 219, 238, 242, 243, 251, 273, 347, 419
 - par la demande ou bottom-up (voir aussi Demande) : 120, 131
 - par les coûts : 129
 - sociologique : 216 et sq., 253, 256, 345, 375

Appropriation (voir aussi Adhésion) : 120, 148, 150, 182, 192, 200, 207, 216, 218, 227, 228, 231-232, 237, 241, 277, 343, 345, 364, 372, 373, 375,

Assistance technique : 46, 86, 87, 88, 91, 170, 176, 177, 180, 190, 191, 209, 293, 344, 404, 413

Association(s) (voir aussi ONG, Usager) : 92, 101, 120, 145, 155, 157, 181, 183, 196, 296, 300, 302, 304, 307, 317, 322, 344, 347, 363, 372, 375

Assurance (voir aussi Risques) : 185, 189, 195, 242, 278, 405

Autonomie :
 - de gestion et financière : 147, 185, 211,
 - autonomisation (voir aussi Renforcement) : 24, 91, 204, 224

Autorisation : 138, 208, 345, 346, 372

Autorité (s) (voir aussi Pouvoirs publics)
 - de régulation du secteur : 208, 209, 211, 227, 235, 245, 248, 263, 292, 303, 331, 345, 377
 - locales : 72, 88, 226, 247, 323, 341, 343, 345, 346, 365, 373, 375 et sq.

- traditionnelles / coutumières : 93, 207, 221, 226, 228, 235, 369, 373, 377, 398, 414

B

Baillleurs de fonds : voir Fonds

Banque(s) :

- de développement : 169, 181, 184, 190, 405, 408
- autres banques : 190, 192, 212, 213, 214, 405

Basse consommation : voir Récepteurs

Bâtiments publics : voir Infrastructures

Batteries (voir aussi Stockage) :

- plomb : 166, 167, 284, 380
- lithium : 166, 264, 282, 352, 373, 380
- nickel métal hydrure : 166, 167, 264
- durée de vie : 147, 150, 239, 274, 380
- parc batteries : 145, 165, 264, 301, 335, 371, 380
- recharge de batteries : 100-102, 147, 148, 317, 415

Bien :

- commun (voir aussi Intérêt général) : 29, 113-114, 233, 419
- marchand : 215, 292

Biomasse : 22, 51, 62, 63, 66-67, 74, 197, 336

Budget :

- énergétique des ménages : voir Dépenses
- de projet : voir Projet

Business Plan : voir Plan

C

Cadre réglementaire :

voir Droit, Normes, Réglementation, Régulation

Cahier des charges : 138, 292, 400

Capacités contributives (voir aussi Paiement, Revenus) : 128, 129, 160, 171, 184, 188, 189, 207, 211, 214, 224, 242, 273, 276, 287, 300, 364, 400, 408, 415

CAPEX : voir Coûts

Capital/capitaux (voir aussi Investissement, Fonds) : 52, 83, 86, 170, 175-177, 199, 202, 214, 238, 286, 287, 347, 395

Capitalisation (voir aussi Expérience) : 37, 72, 149, 151, 179, 194, 225, 350

Certification (voir aussi Normes, Standards) : 239, 362, 396, 404

Climat (voir aussi Décarbonation) :

- changement climatique : 36, 41, 44, 47, 50, 51, 58, 60, 61, 66, 127, 154, 157-159, 161, 166, 194, 195, 199, 370
- conditions climatiques : 217, 266, 268, 354, 373

Charges d'exploitation : voir Coûts, Exploitation

Collectivités (voir aussi Autorités, Pouvoirs)

- territoriales : 89, 90, 116, 120, 124, 134 et sq., 146, 147, 181, 205, 206, 208, 215, 249, 303, 305, 325, 395, 398, 401, 404, 408, 414
- du Nord : 164, 180, 192, 396, 398, 413

Commercialisation (voir aussi Distribution, Vente) : 118, 130, 149, 154, 174, 175, 198, 213, 237, 262, 268, 270, 274, 275, 278, 293, 329

Communauté :

- internationale (voir aussi Coopération) : 22, 53, 86, 89, 144, 154, 389, 402 et sq
- locale : 126, 137, 148, 216, 218, 220, 223, 226, 232, 246, 248, 300, 316, 332, 346, 354, 365, 374

Commune (voir aussi Autorité, Pouvoir) :

- rurale : 72, 102, 103, 104, 124, 177, 208, 263, 300, 303, 308, 318, 325, 364, 367, 368, 370
- communauté de communes : 159, 217, 392, 398, 399

Compétence(s) : voir aussi (Formation, Professionnalisation) :

- du personnel d'exploitation : 91, 93, 237, 239, 338, 361, 397 et sq.
- locale(s) : 120, 343
- manque de compétences : 93, 103, 138, 215, 238
- transfert de compétences (voir aussi Renforcement) : 71, 120, 168, 208, 215, 249, 273, 277, 345, 372, 398, 413
- conflit de compétences : 23, 91

Comportement énergétique (voir aussi Demande, Usager) : 157, 206, 218, 243, 280, 282, 367

Composants (voir aussi Equipements, Renouvellement, Recyclage) :

- coûts : 161 et sq.,
- baisse du prix : 66, 98, 127, 153-154, 158, 161, 166, 171, 212, 343, 350, 383

- pièces de rechange : 26, 65, 170, 237 et sq., 307, 309, 413

Comptage : 119, 142, 153, 160, 209, 210, 251, 281, 343, 340, 360 et sq.

Concertation : 93, 261, 292, 322, 325, 331, 345, 364, 375, 390, 400

Concession : 86, 87, 135 et sq., 149, 171, 184, 188, 202, 208, 210, 212, 247, 249, 292, 346, 372, 375, 395

Concurrence : 139, 183, 185, 209, 245, 274, 288, 291, 310, 400

Consommation (s) (voir aussi Coût, Maîtrise, Pilotage) :

- d'électricité : 54, 56, 80, 81, 83, 98, 123, 131, 144, 145, 160, 171, 184, 188, 206, 208, 214, 244, 245, 248, 250, 277, 317, 339, 346, 348, 361, 368, 378, 415, 418

- d'énergie : 48, 64, 158, 169, 251, 317, 328, 340, 341

- lieux de consommation : 62, 68, 334, 346, 356, 369

- profil de consommation : 243, 245, 280

- surconsommation : 233, 234

- analyse et suivi : 150, 160, 282, 323, 358, 361, 367

Contrat (voir aussi Engagements) : 86, 87, 120, 188, 209, 210, 212, 213, 233, 249, 282, 291, 372, 364, 377,

Convertisseur : 145, 163, 165, 166, 274, 308, 309, 354

Coopération : 37, 261

- décentralisée : 192, 303, 398, 401, 413

- institutionnelle : 91, 172, 204

- internationale (voir aussi Aide, Communauté) : 50, 86, 88, 90, 144, 150, 168, 182, 204, 273, 305, 344, 390, 404

Coopérative(s) : 71, 134, 140-141, 208, 300, 317, 321, 377, 399

Coordination (des acteurs) : 37, 89, 103, 174, 183, 197, 208, 215, 252, 258, 260, 261, 302, 385 et sq.

Courbe de charge : 214, 244, 270, 338, 341, 342, 355, 366, 367, 371, 415

Coût(s) (voir aussi Tarification) :

- d'exploitation : 67, 102, 114, 126, 145, 160, 163, 170 et sq., 176, 185, 187-189, 239, 244, 263, 330, 347, 349, 355, 370-371, 400, 417

- d'investissement (voir aussi Capital, Financement) : 68, 160, 163, 170 et sq., 176, 177, 163, 274, 326, 329, 347, 370, 371, 380, 400, 417

- de production : 83, 114, 163, 164, 243, 339-340, 378

- de raccordement : 124, 185, 228, 249, 375, 379

- de renouvellement : voir ce terme

- de transaction : 192, 322, 408

- de transport : 62, 122, 123, 235, 417

- baisse des coûts : voir Composants

- réels : 80, 83, 98, 243, 263, 417

Crédit (voir aussi Prêt) :

- à l'exportation : 183

- d'énergie : 160, 280, 360-363

- long terme : 184

- accès au crédit : 223, 224, 250

- achat à crédit : 160, 172, 270, 283, 288

- microcrédit : 89, 212, 275, 279, 293 et sq.

- risque de crédit : 288, 294, 411

Croissance

- économique : 45, 51, 58, 173, 364, 402

- démographique : voir Démographie

- sobre en carbone : voir Décarbonation

Crowdfunding : voir Financement

Cycle de vie : voir Equipements, Recyclage

D

Décarbonation : 50, 58, 150, 153, 154, 158, 164

Décentralisation (voir aussi Coopération,

Déconcentration) : 90-91, 120, 124, 150, 153, 208, 214, 249, 252, 300, 375, 389, 393-395, 399, 404, 408

Déconcentration (voir aussi Décentralisation) : 91, 209, 215, 389, 393, 395, 397, 404, 408

Déconnexion (voir aussi Service) : 251, 360, 374

Défaillance technique : voir Equipements

Délégation de service public (voir aussi Affermage, Concession, Service) : 292, 345, 372, 375, 396

Déléstages : voir Service

Demande (voir aussi Approche) :

- d'électricité : 58, 96, 115, 116, 118, 120, 128-130, 138, 147, 165, 178, 179, 207, 208, 214, 260, 326, 328, 329, 330, 331, 338,

- énergétique : 144, 157, 224, 346, 347, 354, 355, 364, 367 et sq., 373, 374, 379, 415, 417

- aide à la demande : 182
- optimisation : 130, 144, 157, 359

Dématérialisation (voir aussi Numérique, Digital) : 160, 280, 281, 286, 343, 372, 378, 418

Démographie : 42, 36, 56, 58, 66, 84, 123, 148, 216, 260, 367, 402, 414

Densité de population (voir aussi Habitat) : 59, 78, 83, 116, 118, 122, 287, 289, 291, 321, 329, 338, 364, 369, 415

Dépenses :

- d'exploitation : voir Coût
- d'investissement : voir Coût
- énergétiques des ménages : 48, 61, 98, 147, 166, 168, 221, 227, 242, 247, 275, 286, 297, 415

Desserte (voir aussi Taux) : 23, 80, 124, 125, 128, 243

Dettes (voir aussi Capital) : 83, 86, 139, 175, 182, 214, 405

Développement :

- économique : 41, 72, 92, 117, 205, 208, 218, 248, 249, 288, 316, 346, 354, 377, 397, 399, 414, 415
- humain : 44 et sq., 113, 244, 261, 372
- local : 147, 195, 196, 322, 323, 329, 345, 399, 418
- rural : 36, 71, 181, 189, 321, 394, 387, 402, 411, 413, 418, 419

Diaspora : 103, 195, 198, 231, 302, 369

Digitalisation (voir aussi Numérique, Dématérialisation) : 150, 153, 278, 287

Dimensionnement : 54, 118, 148, 178, 212, 213, 264, 270, 311, 323, 354 et sq., 369-371, 373, 380, 417

Dispositifs portables : voir Lampes

Distribution (voir aussi Commercialisation) : 58, 61, 65, 78, 79, 83, 90, 114, 118, 119, 125, 129, 136, 137, 140, 141, 142, 154, 158, 174, 207, 211, 264, 275, 311, 275, 338, 340, 344, 350, 356 et sq., 369, 373, 375, 379, 413, 417, 418

Dons (voir aussi Aides, Financement, Fonds) : 175, 176, 180, 181, 183, 184, 192, 195, 210, 212, 287, 289, 321, 373, 405, 408, 409

Droit (voir aussi Contrat, Norme, Réglementation) :
- à l'électricité : 113, 346, 349, 389, 413

- égalité des droits (voir aussi Inégalités) : 222

Durée de vie : voir Equipements

E

Eau (voir aussi Pompage) :

- accès à l'eau : 51, 92, 148, 195, 207, 389, 419
- exhaure de l'eau : 113, 144, 207

Echelle :

- changement d'échelle : 37, 47, 72, 146, 149, 150, 152, 154, 172, 174-176, 180, 181, 189 et sq., 196, 198, 211, 214, 293, 297, 329, 345, 390, 412
- économies d'échelle (voir aussi Mutualisation) : 78, 118, 163, 177, 338, 398, 399

Eclairage :

- éclairage domestique : 45, 46, 48, 51, 96-99, 121, 130, 134, 136, 145, 158, 166, 206, 218, 231, 244, 246, 267, 269, 274, 275, 283, 284, 301, 304, 307, 320, 329, 330, 354, 367, 415
- éclairage public : 113, 137, 174, 209, 243, 288, 308 et sq.

Ecosystème(s) :

- naturels : 60, 98, 381
- d'acteurs : 66 180, 202 et sq., 253

Édiles : voir Notables

Éducation : 44, 50, 51, 92, 97, 100, 113, 144, 145, 188, 195, 208, 211, 218, 224, 262, 288, 300, 303, 306, 325, 365, 370, 390, 405, 414

Effets pervers : voir Impacts

Efficacité énergétique : 48, 50, 53, 86, 92, 121, 130, 157-158, 162, 166, 169, 193, 194, 230, 235, 277, 395

Égalité des sexes (voir aussi Femmes, Genre) : 50, 51, 222 et sq.

Électronique : 238, 240, 350, 358, 360, 379

Élus locaux : 120, 207, 208, 215, 226, 230, 306, 369, 375-376, 392, 399, 414

Emploi : 44, 50, 59, 120, 197, 224, 230, 240, 324, 367, 376, 397

Emprunt : voir Crédit, Prêt

Endettement : voir Dette

Énergies fossiles : 50, 51, 61, 80, 202, 338

Énergies renouvelables : voir Biomasse, Éolien, Géothermie, Hydroélectricité, Solaire

Engagements

- contractuels (voir aussi Contrat) : 209, 235, 292, 372, 374
- financiers : 52, 53, 175-176, 184, 194

Enquêtes (voir aussi Etudes) :

178, 196, 221, 227, 325, 346, 365, 367, 414, 417

Entrepreneurs : 102, 155, 197, 207, 210, 214, 224, 226, 293, 320, 321, 322, 324, 330, 345, 375, 395, 399, 411, 413

Entreprises locales : 86, 128, 142, 192, 215, 286, 324, 372, 408

Eolien : 63, 65-66, 68, 74, 92, 101, 144, 145, 149, 168, 355, 380

Equilibre économique (voir aussi Viabilité) : 124, 138, 180, 243, 287, 345, 360, 362, 369, 382, 401

Équipements (voir aussi

Composant, Infrastructures) :

- à l'abandon : 201, 240, 241, 304, 317, 326
- baisse des coûts : voir Composants
- défaillance technique : 54, 151, 182, 189, 232, 264, 274, 355, 363
- durée de vie : 96, 102, 147, 150, 166, 171, 185, 187, 237-238, 240, 264, 270, 273-276, 310, 311, 338, 356, 371, 374, 380
- fiabilité : 144, 145, 149, 151, 159, 187, 238, 239, 281, 282, 309, 374, 380

Équité : 109, 110, 121, 174, 242, 244, 251, 291, 292, 346-347, 389, 395, 400, 404, 419

Etat : voir Pouvoirs publics

Étiage (voir aussi

Hydroélectricité) : 68, 74, 236, 370

Étude(s)

- d'impacts : 177, 193, 196, 223, 408
- préalables : 68, 69, 170, 176-177, 180-181, 186, 190-191, 214, 345, 365, 369, 373, 375, 400, 408, 417
- bureaux d'études : 169, 344

Evolutions technologiques :

96, 109, 132, 144, 150, 153 et sq., 168, 169, 170, 198, 200, 252, 260, 310, 343, 345, 381, 388

Exode rural : 36, 60

Expérience (voir aussi

Capitalisation) :

- retour d'expérience (voir aussi Capitalisation) : 37, 63, 107, 151, 174, 185, 197, 201, 211, 216, 220, 223, 252, 262, 303, 306, 314, 316, 317, 326, 327, 329, 332, 336, 343, 350, 362, 364 et sq., 391, 404, 411
- expérimentation (voir aussi Tests) : 26, 86 et sq., 128, 144 et sq., 322, 326, 329, 331, 372, 383, 413

Exploitation (voir aussi

Compétence, Contrat, Coût,

Formation, Responsabilité) :

- exploitant : 136, 139, 147, 148, 159, 160, 170, 179, 180, 209, 210, 212, 214, 236, 237, 239, 240, 241, 242, 247, 248, 249, 293, 343, 344, 361, 372 et sq., 395, 413
- résultat d'exploitation : 242, 400, 417
- suivi-contrôle d'exploitation (voir aussi Maintenance, Pilotage)
- personnel d'exploitation : voir Compétence, Coût

Externalités : voir Impacts

F**Fabricants (voir aussi**

Fournisseurs) : 65, 146, 166, 169, 238, 273, 275, 286, 310, 363

Facteur :

- de charge : 244, 342, 378
- de risque : 186, 187, 218
- humain : 200, 252, 281, 305, 332, 343,
- socio-économiques et culturels : 189, 211, 216, 219, 220, 233, 304, 305, 321, 345, 354, 369

Facturation : 160, 208, 214, 233,

235, 245, 249, 251, 360 et sq., 370, 374, 376-378, 401, 405, 417

Femmes : 51, 148, 221, 222 et sq., 226, 230, 296, 300, 306, 317, 399, 403

Financement(s) (voir aussi

Fonds, Investissement, Subvention) :

- participatif / crowdfunding : 176, 196
- privés : 71, 139, 169, 248, 261, 345, 408
- publics : 71, 78, 183, 184, 208, 343, 344, 410
- financements internationaux (voir aussi Coopération) : 69, 93, 172 et sq., 388
- instruments financiers : 47, 88, 139, 168, 175, 180, 184, 190, 191, 194, 278, 405, 408
- montage financier : 180, 184, 206, 226, 405, 406 et sq.
- partenaires financiers (voir aussi Banque, Fonds, Investisseurs) : 206, 212, 230, 286, 374, 395
- solutions mixtes / blended finance : 180, 405

Fiscalité

- impôt (voir aussi Taxes) : 173, 188, 395
- ressources fiscales : 36, 153, 172, 298, 402
- système fiscal : 122, 208 ? 210, 248, 388, 404, 410

Foncier : 230, 233, 346, 373

Fonds (voir aussi

Financement, Investissement, Subvention)

- de compensation : 395
- d'électrification rurale : 91, 140, 208, 209
- d'impact / impact investment (voir aussi Investisseurs) : 88, 177, 193, 197, 287, 411
- d'investissement : 175, 88
- privés : voir Financement
- publics : voir Financement
- bailleurs de fonds : 71, 78, 86, 89, 92, 146, 151, 154, 158, 172, 180, 189, 204, 208, 215, 252, 338, 339, 345, 365, 381, 388, 400, 406, 408, 410

Formation (voir aussi

Professionnalisation, Compétences) : 49, 91, 141, 150, 179, 180, 209, 210, 211, 218, 223, 234, 273, 289, 290, 304, 329, 390, 396, 398, 399, 404, 413, 417

Fourniture

- fournisseurs d'équipements : 147, 206, 210, 214, 215, 261, 292, 294, 297, 363, 372, 373, 374, 413, 417
- fourniture de service ou bien électriques : 86, 89, 128, 137, 170, 209, 210, 212, 213, 235, 251, 278, 282, 396, 404

Fracture

- énergétique : 236, 40 et sq., 86, 91, 108, 253
- sociale : 227, 228, 230

G

Garanties : 65, 86, 137, 139, 182, 192, 212, 213, 270, 276, 284, 310, 372

Gaz : 58, 64, 67, 119

- à effet de serre : 46, 60, 157, 193, 241, 355
- biogaz : 66, 155, 272, 336

Générateur (voir aussi

Solaire) : 102, 119, 144, 145, 148, 149, 150, 155, 163, 210, 264 et sq., 286, 287, 307, 308, 309, 318, 224, 350, 352, 354

Génie civil (voir aussi

Travaux) : 68, 69, 86, 87, 210, 212, 123, 232, 350, 365

Genre (voir aussi Egalité, Femmes) : 222 et sq., 415

Géothermie : 70, 146

Gisement : 62 et sq., 120, 126, 129, 150, 218, 235, 334, 350, 354, 370

Gouvernance : 28, 72, 80, 128, 223, 233, 324, 377, 388, 418

Gratuité : 150, 230, 232, 274, 284

Groupe électrogène (voir aussi Hybridation) : 67, 100, 101, 102, 118, 155, 159, 165, 171, 185, 210, 211, 218, 318, 324, 325, 335, 338, 340, 343, 349, 350, 354, 355, 367, 370, 371

H

Habitat : 103, 116, 122, 207, 291, 328, 340, 364, 369, 415

Hybridation : 64, 65, 69, 70, 101, 127, 159, 165, 166, 184, 210, 217, 267, 317, 325, 333, 335, 336, 343, 349, 350, 354-356, 365, 368, 370, 380

Hydroélectricité : 58, 63, 68 et sq., 75, 92, 119, 126, 130, 144, 146, 149, 151, 184, 232, 236, 237, 272, 309, 334, 336, 340, 343, 355, 381

I

Impacts (de l'électrification) : 50, 51, 94, 180, 192, 193, 194, 207, 208, 218, 221, 223, 227, 228, 243, 260, 376, 400, 413

Implication :

- des acteurs locaux (voir aussi Appropriation, Responsabilité) : 72, 146, 148, 174, 204, 207, 208, 226, 300, 305, 343, 325, 365, 375 et sq., 377, 413, 418
- des acteurs privés : 150, 248, 250, 287, 293, 388

Inégalités (voir aussi Egalité) : 36, 48, 51, 92, 222-224, 260, 346, 376

Informatique : 160, 274, 301, 318, 354, 361

Infrastructures (voir aussi Equipement, Kiosque, Miniréseau, Schéma, Système) :

- publiques : 184, 219, 262, 298 et sq., 370, 401
- architecture technique (voir aussi Dimensionnement) : 165, 356, 371
- emplacement (voir aussi Site, Périmètre, Réseau) : 230, 365

Ingénierie :

- sociale (voir aussi Approche, Etude, Formation, Sensibilisation) : 174, 176, 197, 215, 216, 219, 413
- technique (voir aussi Dimensionnement, Etude, Infrastructure, Travaux) : 212, 213, 215, 350

Initiative locale : 90, 134, 399, 400

Innovation (voir aussi Evolution) : 65, 67, 80, 96, 107, 137, 145, 152, 155, 160, 168, 180, 183, 191, 192, 194, 195, 196, 207, 215, 218, 234, 240, 257, 260, 261, 278, 286, 303, 316, 326, 329, 331, 335, 336, 344, 345, 352, 372, 373, 404, 413, 419

Installations : voir Equipements, Infrastructures

Interconnexion : voir Réseau

Intérêt général (voir aussi Bien, Service) : 181, 183

Interface : 187, 280, 350, 352, 357, 358, 359, 360, 362, 378, 381

Intermittence : 64, 74, 75, 164, 338

Investissement(s) (voir aussi Coût, Financement, Fonds) :
 - capacité d'investissement : 80, 122, 260
 - investisseurs : 89, 93, 169, 170, 174, 175, 177, 185, 193, 196, 212, 230, 242, 243, 248, 260, 286, 287, 288, 322, 274, 391, 395, 404, 405, 408, 409, 411, 413
 - optimisation : 118, 128, 163
 - retour sur investissement (voir aussi Rentabilité) : 24, 170, 171, 184, 247, 287, 349, 400

Irrigation (voir aussi Pompage) : 121, 145, 148, 207, 308

K

Kiosques (voir aussi Plateforme) : 228, 263, 314, 316, 318 et sq.

L

Lampadaires (voir aussi Eclairage) : 98, 103, 166, 194, 262, 308, 310 et sq.

Lampe (voir aussi Eclairage) : 97, 100, 103, 119, 127, 129, 130, 146, 172, 174, 213, 216, 228, 237, 261, 263, 271, 318, 320, 323

LED / Light Emitting Diode : 96-98, 129, 130, 158, 166, 214, 235, 269, 282, 284, 286, 310, 374, 376, 379

Libéralisation (voir aussi Privatisation) : 89, 283

Localité rurale : voir Commune

Location / leasing : voir Crédit

Logique interventionniste : voir Approche

Logique libérale : voir Approche

M

Maintenance (voir aussi Equipement, Exploitation) : 68, 103, 115, 129, 145, 149-151, 170, 181, 185, 188, 210, 232, 234, 239, 240, 242, 270, 273, 284, 287, 292, 294, 295, 300, 310, 321, 338, 343, 344, 372, 404, 410, 417

Maîtrise :

- de l'énergie : voir Efficacité énergétique

- des consommations (voir aussi Usage rationnel) : 154, 157, 221, 274, 280, 282, 357, 374, 377

- d'ouvrage : 72, 136, 137, 150, 151, 159, 177, 180, 182, 208, 209, 212, 213, 217, 241, 249, 374, 397, 398, 404, 408

- d'œuvre : 177, 180, 209, 210, 212, 213, 371

Marchés financiers : voir Secteur

Microcrédit : voir Crédit, Microfinance

Microfinance : 88, 288, 293, 294, 297, 321, 399, 411

Miniréseau : voir notamment 70, 121, 126, 171, 174, 176 et sq., 242 et sq., 350 et sq.

Ministères (voir aussi Déconcentration, Pouvoirs, Service) : 124, 181, 209, 300, 303, 345, 346, 381

- en charge de l'énergie : 90, 91 ? 206, 208, 210, 215, 220, 292

- des finances : 182, 208

- niveau interministériel : 394 et sq.

Mix énergétique : 48, 126

Mobile money : 99, 100, 160, 279, 280, 282, 283, 285, 289, 328, 330, 372

Modèle :

- économique / business model : 174, 201 ? 215, 219, 239, 274, 286, 322, 323, 324, 330, 347, 349, 372, 376, 380

- interventionniste : voir Approche

- libéral : voir Approche

- participatif : 120, 187, 224, 233, 375

Monitoring : voir Pilotage

Mutualisation :

- de la production : voir ce terme

- des moyens et des coûts : 118, 240, 339, 344, 349, 399, 412

N

Nanoréseau : 262, 314, 327 et sq.

Nationalisation : 86, 135, 136, 137, 347

Nickel-métal-hydrure : voir Batteries

Normes (voir aussi Droit, Réglementation, Standards) : 25, 52, 215, 231, 237, 238, 239, 245, 275, 363, 396

Notables : 207, 208, 209, 215, 228, 235, 323, 369, 374, 375

Numérique (voir aussi Digitalisation, Dématérialisation) : 37, 96, 99, 142, 154, 158, 160, 194, 250, 252, 260, 280 et sq., 328, 334, 343, 344, 361, 383, 388, 399

O

Offre(s) (voir aussi Commercialisation, Schémas, Vente)

- aide à l'offre : 182
- appel d'offres : 206, 249, 396
- offre de service : 23, 128, 198, 286, 289, 292, 293, 294, 297, 311, 319, 323, 343

Onduleur (voir aussi Système) : 150, 159, 165, 171, 238, 264, 265, 267, 274, 301, 343, 354, 355, 358, 360, 377

ONG (voir aussi Association, Coopération) : 27, 92, 154, 159, 195, 197, 206, 207, 208, 261, 303, 343, 344, 345, 347, 349, 365, 377, 399, 404, 408, 411, 413

Opérateur : voir Exploitant, Télécoms

OPEX : voir Coûts

Outils

- de planification : voir ce terme
- financiers : voir Financement

Ouvrages : voir Infrastructures

P

Païement

- capacité à payer : voir Capacité
- non-païement : 124, 188, 231, 239, 251
- modalités de paiement : 160, 242, 361, 375
- prépaïement : 251, 278, 279, 280, 282, 328, 335, 343, 360 et sq., 372, 374, 378, 379
- volonté / propension à payer : 131, 184, 187, 188, 214, 246, 364, 415
- recouvrement : 80, 83, 147, 160, 173, 214, 242, 339, 360-362, 378, 389

Panne(s) : 61, 90, 148, 233, 239, 247, 326, 374, 381

Partenariats publics-privés (PPP) : 174, 177, 303, 325, 344, 376

Pay as you go (PAYG) : 150, 160, 166, 172, 174-176, 191, 196, 214, 215? 235, 239, 251, 263n 270, 274, 277, 278 et sq., 292, 318, 323, 330, 343, 361

Péréquation (voir aussi

Tarification) : 128, 243, 245, 249, 339, 346, 347

Performance(s) :

- haute performance énergétique : voir Efficacité, Récepteurs
- des matériels : 146, 163, 165, 166, 187, 238, 239, 270, 273, 275, 309, 371
- indicateurs de performance : 186, 187, 204, 396, 415

Périmètre d'électrification

(voir aussi Dessert, Réseau) : 68, 118, 18, 138, 178, 206, 220, 228, 235, 369 et sq., 373, 400

Périurbain : 46, 76, 78, 83, 97, 116, 118, 124, 172, 175, 185, 197, 215, 216, 275, 287

Pertes techniques : 80, 82, 124, 125, 248

Photovoltaïque / PV (voir aussi Solaire) :

- générateur : voir ce terme
- modules : 144, 147, 161, 162, 163, 230, 238, 264, 266, 269, 273, 274, 301, 318, 327
- champ photovoltaïque : 159, 163, 264, 270
- baisse des coûts : voir Composant

Pilotage / monitoring : 119, 154, 159, 160, 165, 217, 320, 328, 343, 361

Plan d'affaires / business

plan : 72, 168, 169, 175, 185, 186, 187, 206, 210, 227, 243, 287, 322, 343, 345, 363, 380, 410, 417-418

Planification : 89, 118, 220, 221, 261, 316, 331, 334, 345, 364, 388, 395, 397, 399

Plateforme énergétique (voir aussi Kiosque) : 224, 262, 316 et sq., 318

Politique(s)

- nationales d'ER : 86, 89, 90, 258, 260, 334, 345, 377, 394, 395, 396, 404, 414
- volontarisme : 44, 48, 89, 93, 137, 340, 346, 388, 394, 396

Pollution : 98, 155, 224, 238, 240, 241, 277, 335, 376

Pompage (voir aussi Eau, Irrigation) : 51, 61, 102, 148, 174, 181, 197, 243, 272, 308 et sq.

Populations locales : voir Société

Pouvoirs publics : 89, 138, 139, 154, 204, 243, 248, 261, 294, 344, 346, 388, 418

- locaux (voir aussi Autorités) : 399 et sq.

- nationaux / centraux : 90, 120, 235, 242, 377, 394 et sq.

- régionaux : 120, 122, 216, 235, 307, 365, 375, 390, 397 et sq., 413

Préélectrification : 116, 127, 130, 146, 275, 276, 310

Prêts (voir aussi Financement, Crédit) : 136, 137, 139, 140, 158, 180 et sq., 188, 190, 191, 196, 202, 212, 294, 400, 409, 410, 417

Privatisation (voir aussi Libéralisation) : 78, 86, 87, 413

Production (voir aussi Coût, Générateur)

- de froid : voir Réfrigération

- mutualisée : 316-318, 322, 323, 328, 340, 398

- capacité de production : 47, 57, 63, 96, 124, 126, 127, 233, 340, 355, 358, 359, 381

- source(s) de production : 58, 64, 130, 223, 318, 327, 328 ? 330, 331, 340, 343, 374

Professionnalisation (voir aussi Compétences, Formation) : 393, 402, 404

Programmation : 185, 191, 220, 396, 397, 399, 400

Projets (voir aussi Risque, Financement)

- appels à projets : 195, 206, 344, 345, 415

- avant-projet (voir aussi Etudes) : 69, 178, 180

- budget : 204, 210, 217, 249

- dossier de projet : 414

- facteurs-clés de succès d'un projet : 200 et sq., 317, 364 et sq.

- monteurs de projets : 150, 174, 388, 395, 411, 412 et sq.

- projets pilotes (voir aussi Expérimentation) : 133, 145, 146, 190, 322, 344

Protection : voir Système

Puissance publique : voir Pouvoirs

Q

Qualité

- de service : 80, 112, 147, 158, 274, 291, 374

- des matériels : 201, 238, 239, 270, 272, 273, 276, 277, 282, 294, 356, 398, 411

- contrôle de qualité : 237, 239, 275, 396

R

Raccordement (voir aussi Coûts) : 124, 174, 185, 191, 207, 209, 211, 217, 223, 235, 242, 249-250, 330, 335, 340, 350, 357, 368, 370, 374-375, 379, 395

Récepteur(s) (voir aussi Appareils, Eclairage, Réfrigération, Télévision) : 96, 119, 150, 158, 166, 235, 240, 241, 265, 267, 269, 274, 286, 287, 317, 327, 352, 411

- basse consommation : 104, 129, 149, 154, 158, 160, 166, 214, 218, 234-235, 282, 287, 374, 376,

- autorisés : 235, 283, 330, 376

- usage inadapté : 189, 234, 235

Réception des travaux : 209, 212-213, 373

Recouvrement : voir Paiement

Recyclage : 98, 166, 167, 241, 277, 376, 381, 383, 413

Redistribution : 242, 243, 245, 377

Réfrigération (voir aussi Appareils, Récepteurs) : 45, 49, 51, 113, 121, 129, 148, 168, 207, 218, 231, 234, 243, 267, 274, 293, 301, 307, 317, 320, 330, 354, 374, 379

Région : voir Pouvoirs, Autorité

Réglementation (voir aussi Droit, Normes, Régulation) : 71, 136, 138, 298, 209, 238, 266, 267, 291, 292, 331, 400

Régulation du secteur : 89, 104, 28, 260, 273, 291, 323, 391, 418

Régulation électrique : voir Système

Remplacement : voir Renouvellement

Renforcement de capacités (voir aussi Accompagnement) : 47, 173, 176, 180, 204 ? 209, 229, 374, 375

Renouvellement des composants (voir aussi Maintenance, Recyclage) : 68, 103, 144, 147, 181, 184, 185, 188, 242, 274 et sq., 292, 300, 309, 321, 326, 349, 355, 374, 380 et sq., 410, 411, 417

Rentabilité (voir aussi Investissement) : 37, 86, 93, 102, 174, 177, 184, 185, 187, 189, 192, 197, 214, 185, 187, 189, 192, 197, 214, 242, 245, 247, 287, 320, 345, 346, 349, 370, 371, 376, 395, 400, 417

Réparation (voir aussi

Entretien, Panne,

Renouvellement) : 187, 197,

207, 235, 238, 239, 240, 303, 343, 417

Réseau :

- local : 65, 118, 128, 129, 130, 132, 219, 220, 228, 230

- national : 70, 71, 78, 96, 102, 111, 112, 118, 120, 121, 124, 126, 127, 128, 170, 172, 235, 287, 328, 338, 340, 395

- urbain : 93, 122, 130, 265, 287, 338, 339, 340, 356, 360, 376

- interconnexion : 115, 134, 139, 186, 191, 260, 327, 328, 329, 330, 339

- miniréseau : voir ce terme

- tracé du réseau : 228, 230, 365, 415

Responsabilité(s)

- de l'électrification : 137, 138, 140

- de l'exploitant / l'opérateur : 374-375, 399

- responsabilisation (voir aussi Appropriation) des acteurs : 182, 204, 231, 241

- RSE : 195

Revenus :

- des ménages (voir aussi Budget, Activités) : 44, 48, 59, 83, 92, 98, 102, 116, 122, 123, 160, 171, 175, 196, 197, 224, 232, 243, 277, 340

- de l'exploitant : 242, 317, 323, 400

Révolution technologique :

voir Evolution

Risque(s)

- de crédit : voir ce terme

- analyse de risques : 187, 219

- couverture de risques (voir aussi Assurance, Garanties) : 93, 158, 185, 186, 189, 409

- maîtrise des risques : 376, 397

- typologie des risques : 188-189

Ruptures technologiques :

voir Evolutions

S**Santé** : 44, 49, 50, 51, 61, 97, 98, 113, 117, 145, 146, 181, 188, 195, 208, 209, 211, 224, 262, 267, 288, 301, 306, 325, 370, 381, 414, 415**Schémas d'électrification :**

- collective : 120, 150, 257, 262, 314 et sq., 332, 389, 397, 408

- individuelle (voir aussi Systèmes) : 89, 104, 235, 257, 268 et sq.

Secteur :

- associatif : voir Association, ONG

- électrique : 83, 86, 89, 135, 136, 139, 140, 142, 142, 154, 164, 182, 206, 208, 227, 235, 245, 263, 289, 292, 331

- de l'accès à l'électricité / ERD : 169, 198, 343, 390, 404

- financier (voir aussi Banque, Financement, Fonds, Microfinance) : 187, 195, 293, 388, 405, 409, 411 et sq.

- informel : 172, 173

- marchand : 118, 175, 245, 395

Sécurité : 239, 247, 250, 276, 321, 331, 373**Sensibilisation** : 124, 150, 158, 179, 180, 206, 208, 210, 216, 218, 223, 228 et sq., 274, 275, 290, 292, 294, 335, 343, 360, 361, 372, 373, 376, 377, 396, 398, 404, 411**Service(s)** (voir aussi Accès, Offre, Schémas)

- après-vente (SAV) : 149, 150, 197, 214, 218, 235, 237-240, 274, 275, 290, 294

- essentiel(s) : 36, 44, 50, 101,

113-114, 122, 153, 172, 174, 277, 329, 379, 402, 419

- décentralisés : voir Décentralisation

- déconcentrés : voir Déconcentration

- financiers (voir aussi Financement, Fonds, Secteur, Mobile money) : 100, 212, 214, 215

- marchand : 114, 174, 274, 278, 292, 318, 329, 372, 419

- public(s) (voir aussi Délégation) : 78, 125, 172, 173, 174, 176, 177, 215, 243, 245, 244, 291, 292, 298, 300, 306, 325, 328, 329, 346, 414

- arrêt du service : 61, 65, 80, 90, 97, 112, 115, 118, 119, 160, 221, 320, 338

- continuité : 280, 294, 320, 322, 389

- mise en service : 65, 159, 179, 209, 217, 227, 309, 346, 365, 368, 401, 417

- universalité du service : 114, 120

Site(s) : 63, 65, 68, 72, 93, 130, 144, 159, 211, 217, 307, 321, 322, 413**Société civile** (voir aussi

Association, Communauté, Usager) : 159, 174, 195, 197, 219, 321, 345, 346, 347, 365, 369, 375 et sq., 399, 405, 413

Sociétés nationales**d'électricité** : 71, 76, 78, 79, 80, 83, 86, 89, 90, 122, 124, 154, 172, 182, 191, 208, 249, 263, 303, 338, 339, 378, 395

Solaire (voir aussi**Photovoltaïque)** :

- **thermodynamique** : 64, 144, 145
- **applications professionnelles** : 144, 145, 150
- **système solaire autonome** : 98, 118, 129, 146, 149, 163, 261, 262, 264 et sq., 356
- **système solaire individuel (SSI)** : 100, 101 ? 146, 149, 160, 169, 175, 213, 216, 228, 238, 241, 251, 261, 263, 269 et sq., 325, 328

Solidarité (voir aussi**Coopération, Péréquation)** :

243, 245, 393, 403, 405

Solutions (voir aussi **Offre**) :

- **containerisées** : 166, 186, 349, 352, 372, 373
- **individuelles** : voir **Schéma, Solaire**

Standardisation : 192, 213, 214, 253, 322, 362, 373, 412

Standards techniques (voir aussi **Normes, Certification**) : 208, 247, 273, 275, 363

Start-ups (voir aussi

Innovation, PAYG) : 89, 155, 175, 176, 177, 198, 260, 286, 320, 330

Stockage (voir aussi **Batterie**) :

64, 101, 114, 119, 154, 160, 163, 164, 165, 166, 168, 210, 230, 234, 240, 241, 264, 265, 267, 270, 301, 308, 309, 310, 320, 328, 334, 336, 350, 368, 383, 413

Stratégies nationales

d'électrification rurale : voir **Politiques**

Structures communautaires : voir **Association, Communauté**

Subventions (voir aussi **Aides, Dons, Financement**) : 118, 146, 138, 139, 158, 174, 176, 180, 181 et

- sq., 184, 190-194, 197, 215, 224, 261, 277, 294, 303, 340, 395, 376, 381, 400, 405, 406, 409, 417
- **à l'investissement** : 247, 248, 292, 293, 323, 326, 339, 349, 371, 410
- **tarifs subventionnés** : 80, 128, 243, 339, 378

Syndicat d'électricité (voir aussi **Coopérative**) : 136 et sq., 142

Système(s)

- **de protection** : 163, 358, 359, 360
- **de régulation** (voir aussi **Onduleur**) : 114, 119, 147, 151, 164, 210, 239, 264, 350, 352, 380

T

Tarification (voir aussi **Coût, Péréquation**) : 118, 125, 128, 136, 178-180, 184, 185, 205, 227, 233, 235, 242 et sq., 291, 292, 331, 345, 357, 361, 364, 375, 376 et sq., 380, 391, 395

Taux :

- **d'accès à l'électricité** : 56, 57, 74, 114, 122, 206
- **de connexion** : 116, 125
- **de desserte** : 124, 125, 187
- **d'électrification** : 56, 63, 78, 85, 114-116, 135

Taxes : 173, 188, 208, 210, 323, 374, 395

Télécoms/

télécommunications (voir aussi **Téléphonie, mobile money**) :

- **opérateurs** : 214, 286, 330, 344
- **réseaux** : 99, 145, 280-283
- **secteur** : 272, 283

Téléphonie mobile (voir aussi **Mobile money, Usage**) : 96, 99,

113, 160, 213, 260, 278, 283, 360, 416

Télévision (voir aussi

Appareils, Récepteurs) : 101, 119, 121, 129, 144, 168, 214, 218, 227, 234, 267, 269 ? 274, 283, 289, 330, 374, 376, 379

Tests (voir aussi

Expérimentation) : 146, 179, 187

Thermique : 67, 69, 80, 101, 127, 170, 316, 317, 318, 334, 338, 343, 355, 367

Transfert :

- **de compétences** : voir **Compétence, Formation, Renforcement**
- **de technologie** : 47, 161, 168

Transparence : 183, 247, 395, 400, 410

Transport (d'électricité) : 78, 79, 80, 114, 119, 122, 123, 124, 125, 140, 141, 158, 338, 340, 350

Travaux (voir aussi **Génie**) : 65, 69, 71, 179, 196, 209, 212-213, 231, 232, 250, 365, 373, 375, 376

Tutelle (voir aussi **Ministère, Pouvoirs**) : 204, 208, 209, 212, 292, 300n, 303

U**Usage(s)**

- **collectifs** (voir aussi **Schéma**) : 113, 144, 174
- **domestiques** (voir aussi **Schéma**) : 113, 128, 172, 176, 208, 215, 230, 243, 244, 275, 287, 289, 292, 323, 327, 329, 330, 379
- **rationnel de l'énergie** (voir aussi **Maîtrise**) : 157, 158, 230, 231, 234
- **productifs** (voir aussi **Activités**) : 58, 92, 102, 128, 179,

- 195, 197, 288, 316 et sq., 344
- **valeur d'usage** : 206, 246, 278, 283, 287
- **universalité des usages** : 112, 127

Usager

- **comportement des usagers** : voir **Comportement**
- **associations/comités d'usagers** : 72, 147, 206-207, 229, 233, 235, 317, 374

V

Vente

- **directe** : 149, 174, 272 et sq. 278
- **power purchase agreement (PPA)**: 78

Viabilité (voir aussi Modèle, Exploitation): 71, 109, 118, 128, 138, 139, 150, 160, 170, 184, 185, 187, 197, 205, 207, 214, 221, 228, 239, 242, 244, 250, 261, 286

Index des noms propres

A

Accord de Paris : 47, 153

Ademe : 17, 18, 19, 21, 34, 37, 44, 130, 146, 168, 295, 336

AFME : 34, 130, 146

African Minigrid Developers Association (AMDA) : 169

Afrique :

- Australe : 59, 292

- Centrale : 63, 336

- de l'Est : 126, 215, 282, 336

- de l'Ouest : 63, 69, 83, 85, 99, 198, 269, 275, 282, 290, 292, 297, 323, 334, 350, 372

Afrique Du Sud : 54, 56, 125, 149, 356, 363

Agence française de développement (AFD) : 53, 54, 78, 119, 123, 175, 182, 184, 190, 191, 193, 224, 225, 325, 404, 408

Agence internationale de l'énergie (AIE) : 18, 45, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 82, 85, 121, 122, 160, 162, 172

Agence de développement de l'électrification rurale (ADER) : 34, 72, 211, 346

Agence sénégalaise d'électrification rurale (ASER) : 34, 334

Agence guinéenne d'électrification rurale (AGER) : 34, 121, 210, 250

Alliance Solaire Internationale (ISA) : 34, 47, 313

Asie : 53, 149, 161, 191, 194, 237, 311, 378

B

Banque africaine de développement (BAD) : 34, 190

Banque mondiale : 18, 45, 46, 53, 54, 56, 57, 59, 70, 78, 80, 83, 85, 87, 89, 103, 114, 125, 128, 130, 175, 184, 189, 190, 195, 196, 225, 246, 248, 270, 277, 289, 364, 378, 406

Bénin : 56, 79, 85, 117, 168, 185, 194, 238, 297, 325, 408

Burkina Faso : 48, 77, 85, 95, 168, 176, 194, 208, 225, 240, 275, 284, 294, 295, 299, 317

C

Cambodge : 67

Cameroun : 56, 155, 176, 246, 289, 289, 297, 320, 408, 419

Cap-Vert : 56, 168

Chine : 54, 56, 80, 81, 161, 182, 286

Club Er : 334, 336, 337

D

Department for International Development (DFID) : 34, 176, 190

E

Electriciens sans frontières : 92, 303, 322, 325

Etats-Unis : 56, 60, 81, 132, 134, 140-141, 161, 183, 184, 286, 340

Europe : 59, 60, 68, 80, 84, 108, 142, 161, 162, 238, 250, 286, 356, 419

F

Facilité de dialogue et de partenariat de l'initiative de l'Union Européenne pour l'Energie (Euei Pdf) : 46, 88

Food and Agriculture Organization of the United Nations (Fao) : 34, 36, 40, 59, 68, 117, 205

Fondation Energies Pour Le Monde : 16, 17, 18, 20, 51, 65, 67, 81, 84, 92, 101, 102, 144, 145, 147, 148, 150, 163, 164, 165, 166, 171, 177, 178, 180, 182, 188, 190, 212, 214, 229, 244, 249, 263, 267, 269, 271, 274, 279, 282, 294, 301, 306, 307, 318, 327, 340, 341, 342, 348, 351, 353, 366, 379

Fonds pour l'Environnement Mondial : 34, 193

Fonds Français pour l'Environnement Mondial : 34, 193, 194, 195, 240

France : 36, 57, 58, 64, 81, 92, 116, 132, 134-139, 140, 141, 142, 144, 146, 147, 149, 161, 163, 183, 192, 198, 245, 335, 340, 347, 390

G

G8 : 46, 151

GERES : 92, 314, 322, 323, 324

Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) : 34, 190, 295

Ghana : 56, 79, 117, 124, 129, 173, 176, 241, 246

Global Off-Grid Lighting Association (GOGLA) : 34, 216, 270

Gret : 72, 92, 322, 350, 377

**Groupe d'experts
intergouvernemental sur
l'évolution du climat (GIEC)** :
34, 58, 59, 60, 61, 154

Guinée : 56, 64, 69, 85, 100, 103,
121, 210, 219, 220, 229, 244, 250,
262, 339, 359, 365, 379

Guyane : 159, 217

I

**Initiative africaine pour
les énergies renouvelables
(AREI)** : 47

**Initiative de financement
pour l'électrification
(ElectriFi)** : 88

K

Kenya : 56, 79, 82, 149, 279, 283,
297, 336

L

Lighting Africa : 46, 48, 130,
275, 291

M

Madagascar : 56, 65, 68, 72, 79,
101, 102, 111, 155, 164, 168, 211, 222,
229, 232, 236, 263, 269, 276, 305,
306, 307, 312, 319, 321, 322, 325,
329, 330, 346, 349, 350, 361, 368,
369, 371, 378, 408

Mali : 56, 79, 85, 145, 149, 151,
176, 189, 194, 249, 293, 322, 324,
336, 408

Maroc : 130, 133, 143, 147, 149,
390, 394

Mauritanie : 56, 168, 233, 322,
336, 368

N

**National Rural Electric
Cooperative Association
(NRECA)** : 35, 141

Nations Unies : 35, 44, 46, 47,
48, 68, 149, 189, 225, 226, 303,
388, 390, 391

Negawatt : 157

O

**Objectifs de développement
durable (ODD)** : 35, 48, 50, 189,
199, 260

**Organisation de Coopération
et de Développement
Economiques (OCDE)** : 35, 82,
153, 173, 182, 183, 204, 398

Ouganda : 56, 83, 168

P

Pamiga : 288, 297

**Programme des Nations
unies pour le Développement
(PNUD)** : 35, 44, 190, 204, 205,
316, 317, 344, 390

Power Africa : 46

R

**République Démocratique
Du Congo (RDC)** : 167, 408

Rwanda : 56, 71, 79, 173, 248

S

Sahel : 145, 146, 148, 149, 266

Sénégal : 56, 79, 82, 85, 91, 149,
176, 189, 194, 207, 208, 224, 225,
245, 273, 297, 309, 310, 334, 336,
394, 399, 408

Seychelles : 56, 83

**Sustainable Energy For All
(Se4all)** : 35, 45, 48, 53, 56, 85,
88, 189, 391, 404

T

Tanzanie : 56, 79, 82, 283

Togo : 56, 168, 319

U

**United Nations International
Children's Emergency Fund
(UNICEF)** : 35, 103

Union Européenne : 35, 44, 72,
86, 88, 148, 183, 191, 196, 404

**United States Agency for
International Development
(USAID)** : 35, 46, 176, 190

Z

Zaïre : 146

Bibliographie

ARTICLES DE PRESSE

Ananou, Foly. « Et si la fiscalité africaine était déséquilibrée ». *Le Point* (en ligne), 2018. https://www.lepoint.fr/economie/et-si-la-fiscalite-africaine-etait-desequilibr ee-27-02-2018-2198250_28.php.

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

Cessou, Sabine. « Le poids du secteur informel ». *Le Monde diplomatique* (en ligne), 2015. <https://www.monde-diplomatique.fr/mav/143/CESSOU/53893>

Deign, Jason. « What Smart Meters Tell Us About Rural Microgrid Use in Emerging Markets ». *Greentech Media*, 2017.

Martin, Rebecca. « Afrique subsaharienne : des matières premières, des hommes... mais pas d'électricité ». *The Conversation*, 2018. <https://theconversation.com/afrique-subsaharienne-des-matieres-premieres-des-hommes-mais-pas-deelectricite-107478>.

Nsabimana, Rémy. « Jacigreen : la dépollueuse du fleuve Niger ». *BBC News Afrique* (en ligne), 2017. <https://www.bbc.com/afrique/region-39772719>.

Vidzraku, Sylvain. « Ghana : un nouveau système de collecte des impôts intégrant les sociétés du secteur informel ». *La Tribune* (en ligne), 2018. <https://afrique.latribune.fr/afrique-de-l-ouest/ghana/2018-03-11/ghana-un-nouveau-systeme-de-collecte-des-impots-integrant-les-societes-du-secteur-informel-771411.html>.

ARTICLES DE REVUES

Adamson, Matthew. « Peut-on faire une histoire nucléaire du Maroc ? ». *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017) : 85-102.

Berthélemy, Jean-Claude, et Victor Béguerie. « Decentralized electrification and development: initial assessment of recent projects ». *Field Actions Science Reports* 9, no 15 (2016) : 4-9.

Berthonnet, Arnaud. « L'électrification rurale, ou le développement de la "fée électricité" au coeur des campagnes françaises dans le premier XXe siècle ». *Histoire & Sociétés Rurales* 19, no 1 (2003) : 193-219.

Boyé, Henri, Thomas Léonard, et Nicolas Plain. « Des solutions adaptées au cas de l'Afrique ». *Le Jaune et le Rouge*, no 730 (2017).

Caille, Frédéric. « L'énergie solaire thermodynamique en Afrique ». *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017) : 64-84.

Degani, Michael. « La véranda, le climatiseur et la centrale électrique ». *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017) : 103-21.

Field, Christopher B., Vicente R. Barros, David Jon Dokken, Katharine J. Mach, Michael D. Mastrandrea, T. Eren Bilir, Monalisa Chatterjee, et al. « Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Summary for Policymakers. » Cambridge et New York : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014.

Giraud, Gaël. « Les défis énergétiques pour un développement durable : comment éviter l'effondrement ? ». *Revue d'économie du développement* 23, no 3 (2015) : 5-18.

de Gromard, Christian, et Stéphane His. « Évolutions, révolutions et inerties dans l'énergie ». *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017) : 125-38.

de Gromard, Christian, et

Roland Louvel. « De la biomasse à la bioéconomie, une stratégie énergétique pour l'Afrique ? ». *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017) : 223-40.

Héran, François. « L'Europe et le spectre des migrations subsahariennes ». *Population et Sociétés*, n° 558 (2018).

Institut de la Francophonie pour le développement durable. « Énergie Durable en Afrique et Initiatives, La transition énergétique - les stratégies de soutien et d'accélération de l'accès à l'énergie ». *Liaison Énergie-Francophonie*, n°107 (2018).

Jacquemot, Pierre. « En République démocratique du Congo, Inga, le plus grand barrage hydroélectrique du monde, encore à l'état de projet ». *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017) : 252-53.

Jacquot, Grégoire, Charles Debeugny, et Christian de Gromard. « L'électrification complète de l'Afrique d'ici 2030 est-elle possible ? ». *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017) : 139-53.

Johnson, Olivier. « La réforme du secteur de l'électricité au Ghana et en Tanzanie ». *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017) : 25-48.

Kemausuor, Francis, Edwin Adkins, Isaac Adu-Poku, Abeeku Brew-Hammond, et Vijay Modi.

« Electrification planning using Network Planner tool: The case of Ghana ». *Energy for Sustainable Development*, no 19 (2014) : 92-101.

Kuiken, Jonathan, et Roland Louvel.

« Une persistance de l'Empire britannique en Afrique postcoloniale ? ». *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017) : 49-63.

Lanthier, Pierre. « Les autorités publiques et l'électrification, de 1870 à 1940. Une comparaison européenne ». *Annales historiques de l'électricité* 1, no 4 (2006) : 125-44.

Lavigne Delville, Philippe.

« Affronter l'incertitude ? Les projets de développement à contre-courant de la "révolution du management de projet" ». *Revue Tiers Monde* 3, no 211 (2012) : 153-68.

Lavigne Delville, Philippe. « Pour une anthropologie symétrique entre "développeurs" et "développés" ». *Cahiers d'études africaines*, no 202-203 (2011) : 491-509.

Lincot, Daniel. « Où en est la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire ? ». *Photoniques*, no 93 (2018) : 37-43.

Madon, Gérard. « Le bois, énergie de première nécessité en Afrique ». *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017) : 201-22.

Martin-Amouroux, Jean-Marie.

« Quel avenir pour le charbon minéral en Afrique ? ». *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017) : 185-99.

Massé, René. « Histoire de l'électrification rurale aux États-Unis ». *Collection « Études et travaux en ligne » du GRET*, no 3 (2005).

Matly, Michel. « L'électrification du monde commence à Labastide-Murat ». *Revue de l'Énergie*, no 523 (2001) : 5-12.

Musso, Marta, et Roberto Cantoni.

« L'énergie en Afrique : les faits et les chiffres. Introduction ». *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017) : 9-23.

Promotion et Participation pour la Coopération économique.

« Financer les start-up pour construire les économies de demain en Afrique ». *Revue secteur privé et développement*, no 29 (2018).

Reboulet, Marie-Noëlle. « Le jatropha, une source alternative d'énergie pour le monde rural ? ». *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017) : 249-51.

Reboulet, Marie-Noëlle, et Pierre Jacquemot. « Options technologiques et modèles d'organisation de l'électrification rurale en Afrique ». *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017) : 155-84.

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

Torero, Maximo. « L'impact de l'électrification rurale : enjeux et perspectives ». *Revue d'économie du développement* 23, no 3 (2015) : 55-83.

Yonaba, Salif. « Le recouvrement des recettes publiques dans les États Africains : un état des lieux préoccupant ». *Revue française d'administration publique* 144, no 4 (2012) : 1043-51.

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

« Synthèse cartographique ». *Afrique Contemporaine* 1-2, no 261-262 (2017) : 242-45.

ASSEMBLÉES GÉNÉRALES

Gaye, Malick, de l'Agence Sénégalaise d'Électrification Rurale. Assemblée générale du Club ER, Cotonou, décembre 2018.

CONFÉRENCES

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, et Syndicat des Énergies Renouvelables.

« Accès à l'énergie hors réseaux : quelle stratégie pour les acteurs français à l'international ? ». Paris, 7 juin 2018.

Fricke, Daniel. « Energy storage solutions ». Présenté à QINOUS presentation, Cebu, 2015.

de Gromard, Christian.

« Structuration des investissements et outils de financement de l'accès à l'énergie ». Présenté au 1er Forum Technique « Off-grid » et Mini-Salon : Enjeux, acteurs, solutions techniques, stratégies et perspectives pour l'électrification hors réseau dans les pays du Sud, Valpré, 22 mai 2018.

FICHES TECHNIQUES

Felice, Eric. « Les pertes techniques dans les réseaux de transport et de distribution de l'électricité ». Fiche technique PRISME. Québec : Institut de la Francophonie pour le développement durable, 2012.

Agbogbaze, Mensah, et Serge Goka. « Les technologies à haute performance énergétique, fiche n°8 - Plateformes multifonctionnelles ». Fiche technique PRISME. Paris : Institut de la Francophonie pour le développement durable, 2014.

INTERVIEWS

Caramel, Laurence. « L'Afrique doit prendre sa part de responsabilité dans la lutte contre le changement climatique ». Grand entretien avec Arona Diedhiou, *Le Monde* (en ligne), 12 décembre 2018, https://www.lemonde.fr/planete/article/2018/12/12/l-afrique-doit-prendre-sa-part-de-responsabilite-dans-la-lutte-contre-le-changement-climatique_5396144_3244.html.

OUVRAGES

Cerqueira, Julien, Juliette Darlu, Rija Randrianarivony, et Théo Groudin. *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.

Falk, Anthony, Christian Dürschner, et Karl-Heinz Remmers. *Le photovoltaïque pour tous: conception et réalisation d'installation*. Paris: Le Moniteur, 2010.

Louineau, Jean-Paul. *Guide pratique du solaire photovoltaïque l'usage des techniciennes et techniciens*. Paris: Observ'ER, 2013.

Matthieussent, Sarah, Rodolphe Carlier, et Philippe Lavigne Delville. *Un projet d'électrification rurale en Mauritanie (1995 - 2000) Alizés Électriques : Histoire et enjeux d'une tentative de construction d'un service durable*. Nogent-sur-Marne cedex : Éditions du Gret, 2005.

Nye, David E. *Electrifying America. Social Meanings of a New Technology, 1880-1940.* Cambridge : The MIT Press, 1992.

Rifkin, Jeremy. *La troisième révolution industrielle. Comment le pouvoir latéral va transformer.* Paris : Les Liens qui Libèrent, 2012.

RAPPORTS

Africa Progress Panel. « Africa Progress Report 2015 ». Genève : Africa Progress Panel, 2015.

Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique. « Annual checkup for the planet ». Washington, D.C : Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique, 2017.

Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique « State of the Climate Report ». Washington, D.C : Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique, 2018.

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. « Vocabulaire des systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire ». Angers : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, 2011.

Agence française de développement. « Accélérer la transition énergétique en Afrique ». Paris : Agence française de développement, 2016.

Agence Internationale de l'Énergie. « Energy Access Outlook 2017, From Poverty to Prosperity ». Paris : Agence Internationale de l'Énergie, 2017.

Agence Internationale de l'Énergie. « Key World Energy Statistics 2016 ». (Paris, 2016).

Agence Internationale de l'Énergie. « Key World Energy Statistics 2017 ». (Paris, 2017).

Agence Internationale de l'Énergie. « Key World Energy Statistics 2018 ». (Paris, 2018).

Agence Internationale de l'Énergie. « World Energy Outlook ». Paris : Agence Internationale de l'Énergie, 2017.

Agence internationale pour les énergies renouvelables. « Off grid renewable energy solutions to expand electricity access : An opportunity not to be missed ». Abu Dhabi : Agence internationale pour les énergies renouvelables, 2019.

Agence internationale pour les énergies renouvelables. « Off-Grid renewable energy solutions, Global and Regional Status and Trends ». Abu Dhabi : Agence internationale pour les énergies renouvelables, 2018.

Agence internationale pour les énergies renouvelables. « Off-Grid renewable energy solutions, Status and Methodological Issues ». Abu Dhabi : Agence internationale pour les énergies renouvelables, 2015.

Agence internationale pour les énergies renouvelables. « Statistiques de capacité renouvelable 2019 ». Abu Dhabi : Agence internationale pour les énergies renouvelables, 2019.

African Institute for Remittances. « Progress report on the African Institute for Remittances ». Nairobi : African Institute for Remittances, 2018.

Fondation Tuck. « Électrification latérale, Vers un nouveau modèle d'électrification pour l'Afrique ». Rueil-Malmaison : Fondation Tuck, 2018.

Alliance for Rural Electrification. « Hybrid mini-grids for rural electrification: lessons learned ». Bruxelles : Alliance for Rural Electrification, 2018.

Banque africaine de développement. « Perspectives économiques en Afrique 2019 ». Abidjan : Banque africaine de développement, 2019.

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

Banque mondiale. « Global Economic Prospects ». Washington, D.C : Banque mondiale, 2019.

Banque mondiale. « Migration and Remittances: Recent Developments and Outlook - Transit Migration ». Washington, D.C : Banque mondiale, 2018.

Banque mondiale. « State of Electricity Access Report ». Washington, D.C : Banque mondiale, 2017.

Belward, Alan, Bernard Bisselink, Katalin Bodis, Andreas Brink, Jean-François Dallemand, Arie De Roo, Thomas Huld, et al. « Renewable Energies in Africa - Current Knowledge ». Luxembourg : Joint Research Centre (Commission Européenne), 2011.

Bernard, Claire, Gilles Spielvogel, et Sandrine Mesples-Somps. « Taille des villes et spécialisations économiques au Mali, une analyse sur micro-données exhaustives ». Paris : Agence française de développement, 2011.

Blechinger, Philipp, Elisa Papadis, Martin Baart, Pierre Telep, et Florian Simonsen. « What size shall it be ? A guide to mini-grid sizing and demand forecasting ». Eschborn : Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2016.

Blodgett, Courtney, Emily Moder, Lauren Kickham, et Harrison Leaf. « Powering productivity, Early Insights into Mini Grid Operations in Rural Kenya ». Seattle : Vulcan impact investing, 2016.

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

Diallo, Bubacar, Tiphaine Massé, Minh Cuong Le Quan, Vincent Mariette, James Therrillon, Nicolas Saincy, Kerman Wildberger, Jacques de Bucy, et Etienne Saint-Sernin. « Solutions innovantes pour l'accès à l'énergie hors réseaux ». Angers: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, 2018.

Byrne, Rob, Paula Rolffs, et David Ockwell. « Financing Sustainable Energy for All: Pay-as-you-go vs traditional solar finance approaches in Kenya ». Brighton : STEPS Centre, 2014.

Carlier, Julien, et Véronique de Geoffroy, « Guide de bonnes pratiques ». Électriciens Sans Frontières et le Groupe URD, 2015.

Comité des réseaux stratégiques. « Métaux de la transition énergétique », Comité des réseaux stratégiques, 2017.

Commission de l'Union Africaine et Organisation de coopération et de développement économiques. « Dynamiques du développement en Afrique, Croissance, emploi et inégalités ». Addis-Abeba: Commission de l'Union Africaine, Paris: Organisation de coopération et de développement économiques, 2018.

Conversy, Julie, Celia Coronel, Marie-Jo Demante, Christophe Mestre, Bob Peeters, et Pascale Vincent. « Évaluation de 15 ans de développement des territoires ruraux en Afrique subsaharienne - synthèse du rapport final ». Paris : Agence française de développement, 2018.

Coulibaly, Massa, Kaphalo Ségorbah Silwé, et Carolyn Logan. « Faire le point, priorités et appréciations des citoyens, trois ans après le début des ODD ». Accra : Afrobaromètre, 2018.

Crousillat, Enrique, Richard Hamilton, et Pedro Antmann. « Addressing the Electricity Access Gap ». Washington, D.C : Banque mondiale, 2010.

Desarnaud, Gabrielle. « L'électrification rurale en Afrique : comment déployer des solutions décentralisées ? » Paris : Institut Français des Relations Internationales, 2017.

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. « Photovoltaics for Productive Use Applications, A Catalogue of DC-Appliances ». Eschborn : Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2016.

Direction Générale de la Statistique et de la Comptabilité Nationale, et Ministère de la Planification, du Développement et de l'Aménagement du

Territoire. « Enquête ménage sur la consommation d'énergie en milieu rural au Togo ». Lomé : Direction Générale de la Statistique et de la Comptabilité Nationale, et Ministère de la Planification, du Développement et de l'Aménagement du Territoire, 2014.

Centre pour les Énergies Renouvelables et l'Efficacité Énergétique de la CEDEAO.

« ECOWAS programme on access to sustainable electricity services in rural peri-urban areas ». Cap-Vert : Centre pour les Énergies Renouvelables et l'Efficacité Énergétique de la CEDEAO, 2015.

Facilité de dialogue et de partenariat de l'Initiative de l'UE pour l'énergie.

« AEEP Energy Access Best Practices 2016 ». Eschborn : Facilité de dialogue et de partenariat de l'Initiative de l'UE pour l'énergie, 2016.

Faure, Maeva, Martin Salmon, Safae El Fadili, Luc Payen, et Guillaume Kerlero. « Urban microgrids, overview, enjeu et opportunités ». Paris : ENEA Consulting, 2017.

Fonds français pour l'environnement mondial.

« Stratégie 2019-2022 ». Paris: Fonds français pour l'environnement mondial, 2019.

Fonds français pour l'environnement mondial. « Rapport annuel 2017 ». Paris: Fonds français pour l'environnement mondial, 2018.

Fonds international de développement agricole. « Rural Development Report 2016 - Chapter 3: Structural and rural transformation in Africa ». Rome : Fonds international de développement agricole, 2016.

Fonds monétaire international.

« Perspectives économiques régionales en Afrique subsaharienne : Faire redémarrer la croissance ». Washington, D.C : Fonds monétaire international, 2017.

Franz, Michael, Nico Peterschmidt, Michael Rohrer, et Bozhil Kondev.

« Mini-grid Policy Toolkit, Policy and Business Frameworks for Successful Mini-grid Roll-outs ». Eschborn : Facilité de dialogue et de partenariat de l'Initiative de l'UE pour l'énergie, 2014.

Galichon, Inès, Olivier Lacroix, et Damien Wiedmer. « L'accès à l'énergie : état des lieux, enjeux et perspectives ». Paris : ENEA Consulting, 2014.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

« Rapport spécial du GIEC - Réchauffement planétaire de 1.5 °C ». Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2018.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

« Summary for policymakers - Climate change 2014 - Part A : Global and sectoral aspects ». New York : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014.

GSM Association. « Économie mobile : l'Afrique de l'Ouest 2018 ». Londres : GSM Association, 2018.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

« Économie mobile : l'Afrique de l'Ouest 2019 ». Londres : GSM Association, 2019.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

« State of the industry report 2018 ». Londres : GSM Association, 2019.

Heurax, Christine. « L'électricité en Afrique ou le continent des paradoxes » Paris : Institut français des relations internationales, 2011.

Hosier, Richard H., Morgan Bazilian, Tatia Lemondzhava, Kabir Malik, Mitsunori Motohashi, et David Vilar de Ferrenbach. « Rural electrification concessions in Africa: what does experience tell us? » Washington, D.C : Banque mondiale, 2017.

Huenteler, Joern, Istvan Dobozi, Ani Balabanyan, et Sudeshna Ghosh Banerjee.

« Cost Recovery and Financial Viability of the Power Sector in Developing Countries ». Banque mondiale, 2017.

Initiative africaine pour les énergies renouvelables.

« L'Initiative de l'Afrique sur les Énergies Renouvelables, Résumé ». Initiative africaine pour les énergies renouvelables, 2016.

Institut Choiseul. « Afrique, les acteurs clés de l'énergie ». Paris : Institut Choiseul, 2017.

Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français, Ministère de l'Énergie et des Mines du Royaume du Maroc, Office National de l'Électricité. « 1ères journées scientifiques internationales sur l'électrification rurale ». Rabat : Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français, Ministère de l'Énergie et des Mines du Royaume du Maroc, Office National de l'Électricité, 1991.

Institut National de l'Énergie Solaire. « Practical Guide Book - Solar streetlights » Le Bourget-du-Lac : Institut National de l'Énergie Solaire, 2019.

Jacquot, Grégoire. « L'émergence du pico-solaire dans les initiatives d'électrification rurale ». Paris : Agence française de développement, 2015.

Kerlero de Rosbo, Guillaume, et Jacques de Bussy. « Electrical valorization of bamboo in Africa ». Paris : ENEA Consulting, 2012.

Lamy, Simon. « Solutions off-grid : quelles perspectives en Afrique ? ». Casablanca : PricewaterhouseCoopers, 2017.

Lepicard, François, Olivier Kayser, Jessica Graf, Simon Brossard, Adrien Darodes de Tailly, et Lucie Klarsfeld McGrath. « Reaching scale in access to energy, lessons from practitioners, case studies ». Paris : Hystra, 2017.

Lighting Africa. « Lighting Africa Market Trends Report 2012 ». Nairobi : Lighting Africa, 2013.

Lighting Global, et Bloomberg New Energy Finance. « Off-Grid Solar Market Trends Report ». Washington, D.C : Lighting Global et Bloomberg New Energy Finance, 2016.

Energy Finance. « Off-Grid Solar Market Trends Report ». Washington, D.C : Lighting Global, et Bloomberg New Energy Finance, 2017.

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

Masson-Delmotte, Valérie, Panmao Zhai, Hans-Otto Pörtner, Debra C. Roberts, James Skea, Priyadarshi R. Shukla, Anna Pirani, et al. « Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Summary for Policymakers ». Cambridge et New York : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2018.

Mercandalli, Sara, et Bruno Losch. « Une Afrique rurale en mouvement - Dynamiques et facteurs des migrations au sud du Sahara ». Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture et Le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, 2018.

Ministère néerlandais des Affaires étrangères. « Renewable Energy: Access and Impact, A systematic literature review of the impact on livelihoods of interventions providing access to renewable energy in developing countries ». La Haye : Ministère néerlandais des Affaires étrangères, 2013.

Miquel, Cécile, Constantina Stavrou, Nicolas Lebert, et Jérémy Sarantou. « Dysfonctionnements électriques des installations photovoltaïques : points de vigilance ». Paris : Agence Qualité Construction, 2018.

National Rural Electric Cooperative Association. « America's Electric Cooperatives: 2017 Fact Sheet ». Arlington : National Rural Electric Cooperative Association, 2017.

National Rural Electric Cooperative Association. « Guides for electric Cooperative Development and Rural Electrification ». Arlington : National Rural Electric Cooperative Association, 2018.

Organisation de coopération et de développement économiques.

« Statistiques des recettes publiques en Afrique ». Paris : Organisation de coopération et de développement économiques, 2017.

Organisation de coopération et de développement économiques.

« Arrangement sur les crédits à l'exportation bénéficiant d'un soutien public ». Paris : Organisation de coopération et de développement économiques, 2018.

Organisation des Nations unies.

« Rapport sur les Objectifs de Développement Durable 2017 ». New York : Organisation des Nations unies, 2017.

Organisation des Nations unies.

« Rapport du Sommet mondial pour le développement durable ». New York : Organisation des Nations unies, 2002.

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

« La Situation Mondiale de l'Alimentation et de l'Agriculture. Migrations Agriculture et Développement Durable. Résumé ». Rome : Organisation des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 2017.

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

« Module d'apprentissage. Renforcement des capacités –Principe de base ». Rome : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2010.

Organisation internationale du Travail.

« Rural-urban labour statistics ». Genève, 2018.

Organisation internationale du Travail.

« Providing clean energy and energy access through cooperatives ». Genève : Organisation internationale du Travail, 2013.

Payen, Luc, Mathieu Bordeleau, et Tim Young.

« Developing Mini-grids in Zambia, How to build sustainable and scalable business models ? » Paris : ENEA Consulting, Practical Action, 2016.

Philipp, Daniel. « Billing Models for Energy Services in Mini-Grids ». Eschborn : Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2014.

Programme des Nations Unies pour le développement. « Rapport mondial sur le développement humain 1990 ». New York: Programme des Nations Unies pour le développement, 1990.

Scott, Andrew, Leah Worrall, Jesper Hörnberg, et Long Seng To.

« How solar household systems contribute to resilience ». Overseas Development Institute, 2017.

SEforALL Africa Hub. « Green mini-grids Africa strategy ». Abidjan : SEforALL Africa Hub, 2017.

Shanker, Anjali, Daniel Tapin, Martin Buchsenschutz, et Patrick Clément.

« Accès à l'électricité en Afrique subsaharienne : retours d'expérience et approches innovantes ». Brighton : Agence française de développement, 2012.

Sovacool, Benjamin, 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.

Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen, et Dipti Vaghela.

« Mini-Grids and Arrival of the Main Grid : Lessons from Cambodia, Sri Lanka, and Indonesia ». Washington, D.C: Banque mondiale, 2018.

THÈSES

Beguerie, Victor. « Impact de l'accès à l'énergie sur les conditions de vie des femmes et des enfants en milieu rural : Analyse d'impact du Programme des Plate-Formes Multifonctionnelles au Burkina Faso ». Université d'Auvergne - Clermont-Ferrand I, 2015.

Bui, Doan-Nhu. « Les modes organisationnels des services publics en milieu rural dispersé dans les pays en développement : application à l'électrification rurale décentralisée ». Ecole des hautes études en sciences sociales, 2005.

Edmund Greacen, Christopher.

« The marginalization of “small is beautiful”: micro-hydroelectricity, common property, and the politics of rural electricity provision in Thailand ». University of California, 2004.

PAGES WEB

Association négaWatt. <https://negawatt.org/>.

Energy Generation, <https://www.energy-generation.org/>.

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

Farigoul, Sophie. « Objectif de développement durable - Energies fiables, durables et modernes pour tous ». Organisation des Nations unies. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/energy/>.

Fournier, Clément. « Les batteries de voitures électriques : notre prochaine catastrophe environnementale ? » e-RSE, 2017. <https://e-rse.net/batteries-voitures-electriques-impact-environnement-27293/>.

Gülisan, Nergis, et Gail Hurley. « Financer le développement avec des ressources nationales ». ID4D, 2015. <https://ideas4development.org/financer-le-developpement-par-une-meilleure-mobilisation-des-ressources-nationales/>.

Institut photovoltaïque d'Île-de-France, <https://www.ipvf.fr/>.

Isenberg, Diane, 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/>.

Moko, Chamberline. « La firme kenyane M-Kopa lève des fonds auprès du japonais Sumitomo Corporation ». Agence Ecofin, 2019. <https://www.agenceecofin.com/solaire/0801-63041-la-firme-kenyane-m-kopa-leve-des-fonds-aupres-du-japonais-sumitomo-corporation>.

Neichin, Greg, Diane Isenberg, et Mary Roach. « NextBillion's Most Influential Post of 2017: An Impact Investor Urges Caution on the "Energy Access Hype Cycle" ». NextBillion, 2017. <https://nextbillion.net/an-impact-investor-urges-caution-on-the-energy-access-hype-cycle/>.

Sciences Po. « Un atlas pour comprendre l'espace mondial contemporain ». Espace Mondial: l'Atlas. <https://espace-mondial-atlas.sciencespo.fr/>.

Zajicek, Charlie. « How solar mini-grids can bring cheap, green electricity to rural Africa ». Overseas Development Institute, 2019. <https://www.odi.org/blogs/10730-how-solar-mini-grids-can-bring-cheap-green-electricity-rural-africa>.

« 4 projets innovants récompensés par le Prix EDF Pulse Africa 2018 ». Le Monde de l'Énergie, 2018. <https://www.lemondedelenergie.com/innovations-prix-edf-pulse-africa-2018/2018/12/27/>.

« L'aide au développement reste stable et les apports aux pays les plus pauvres augmentent en 2017 ». Organisation de coopération et de développement économiques, 2018. <https://www.oecd.org/fr/developpement/l-aide-au-developpement-reste-stable-et-les-apports-aux-pays-les-plus-pauvres-augmentent-en-2017.htm>.

« Base de données Sustainable Energy for All (SE4ALL) dérivée du SE4ALL Global Tracking Framework ». Banque mondiale, Agence internationale de l'énergie et Programme d'assistance à la gestion du secteur énergétique [ESMAP]. <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/>.

« BBOXX lands USD 31 million deal with AIIM ». BBOXX, 2019. <https://www.bboxx.co.uk/bboxx-lands-usd-31-million-deal-africa-infrastructure-investment-managers/>.

« BBOXX receives largest crowd-funded debt raise ». BBOXX, 2019. <https://www.bboxx.co.uk/bboxx-receives-largest-crowd-funded-debt-raise-history-solar-africa/>.

- « Café Lumière : plateformes énergétiques multiservices ». <https://www.electriciens-sans-frontieres.org/projet/district-dantsirabe-cafe-lumiere-plateformes-energetiques-multiservices-dans-la-region-du-vakinankaratra/>.
- « Droit à l'énergie ». (Re)sources. <http://www.thinktank-resources.com/fr/thematiques/acces-a-l-energie/droit-a-l-energie>.
- « Epuisement des ressources naturelles ». Encyclo-ecolo. https://www.encyclo-ecolo.com/Epuisement_des_ressources_naturelles#La_disparition_du_plomb.
- « The Global Solar and Water Initiative », Organisation internationale pour les migrations et Oxfam, 2016. <https://ronairobi.iom.int/global-solar-and-water-initiative>.
- « Infrastructures ». Banque Mondiale, 2019. <https://www.enterprisesurveys.org/data/exploretopics/infrastructure>.
- « Lighting Africa », <https://www.lightingafrica.org/>.
- « The National Renewable Energy Laboratory (NREL), Transforming Energy », <https://www.nrel.gov/>.
- « Objectif 7 : Garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable ». Organisation des Nations Unies. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/energy/>.
- « Open Data Platform ». Global Footprint Network. <http://data.footprintnetwork.org/#/>.
- « Le Projet Rhyviere I à Madagascar ». <https://www.gret.org/publication/le-projet-rhyviere-i-a-madagascar/>.
- « PSP Hydro in Rwanda ». MARGE. <http://www.marge.eu/PSP-Hydro-in-Rwanda>.
- Solarpraxis Engineering, <https://www.solarpraxis.com/english/>.
- Spark Meter, <https://www.sparkmeter.io/>.
- « Statistiques sur l'énergie et balances des pays non membres de l'OCDE », et « Statistiques sur l'énergie des pays membres de l'OCDE et annuaire statistique sur l'énergie de l'ONU », Agence Internationale de l'Énergie, 2018, <https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Energy%20supply&indicator=TPESbySource&mode=chart&dataTable=BALANCES>.
- « Sustainable Energy for All : SE4ALL ». <https://www.seforall.org/>.
- « The symbiotic relationship between PAYG Solar and Mobile Money ecosystems ». Climatescope, <http://2017.global-climatescope.org/en/blog/2017/06/26/GSMA/>.
- UpOwa, <https://www.upowa.energy/>.
- « Zone d'activités électrifiée au Mali (ZAE) ». GERES. <https://www.geres.eu/fr/actions/zone-dactivites-electrifiee-au-mali-zae/>.

Electrifier l'Afrique rurale

Un défi économique, un impératif humain

Les plus pauvres du monde paient l'électricité la plus chère du monde.

Pourquoi ? Est-ce irréversible ? L'électrification rurale par énergies renouvelables est riche de cinquante ans d'expériences, notamment menées en Afrique subsaharienne. Il est aujourd'hui possible et utile d'en tirer des leçons pour l'avenir, de poser un diagnostic et de formuler des préconisations d'action pour toutes les parties prenantes.

S'appuyant sur trente ans d'expertise de la Fondation Énergies pour le Monde, cet ouvrage a été écrit par des praticiens soucieux de la demande des populations rurales et de la pérennité des projets. Il bénéficie de leur connaissance du rôle de maître d'ouvrage délégué, orchestrant toute la palette des acteurs, des usagers aux ministères, en passant par les bailleurs de fonds, les opérateurs, les fournisseurs de matériel et les autorités locales.

Autant de voix qui témoignent dans l'ouvrage et sont appelées à travailler davantage à l'unisson pour changer la donne.

Les auteurs :

Yves Maigne
Gérard Madon
Etienne Sauvage
Sarah Vignoles

