

Les mini-réseaux électriques comme exemple d'application des thèses d'Elinor Ostrom sur la gouvernance polycentrique de la tragédie des communs*

JEAN-CLAUDE BERTHÉLEMY



JEAN-CLAUDE BERTHÉLEMY, Université Paris 1 Panthéon
Sorbonne (Centre d'Economie de la Sorbonne) et Ferdi.
Email : jean-claude.berthelemy@univ-paris1.fr

Résumé

Cette communication met l'accent sur les questions de gouvernance à résoudre pour progresser dans l'objectif du développement durable n°7 sur l'accès à l'énergie. Le point de départ de l'analyse est le constat de problèmes majeurs de gouvernance dans les grands réseaux électriques des pays en retard en matière d'accès à l'électricité. Ces problèmes de gouvernance, qui induisent des coûts élevés pour les utilisateurs du réseau, relèvent de l'interprétation d'Elinor Ostrom sur la tragédie des communs.

... / ...

* Communication pour la Conférence internationale de l'AFD sur le développement – 12ème édition, 1er - 2 décembre 2016 à Paris

Classification JEL : L94, O18, Q42

Mots clés : tragédie des communs, gouvernance, accès à l'électricité, décentralisation

L'auteur remercie Arnaud Millien pour ses commentaires. Ce document a été préparé dans le cadre du programme de la Ferdi sur le développement durable et a bénéficié à ce titre d'une aide de l'État français gérée par l'ANR au titre du programme « Investissements d'Avenir » portant la référence « ANR-10-LABX-14-01 ».

.../...

Les projets de mini-réseaux, dont la faisabilité technico-économique a été renforcée ces dernières années du fait des progrès en matière de production d'électricité à partir de sources renouvelables, constituent une réponse possible réaliste à ces défis, dès lors qu'une gouvernance polycentrique permettrait, comme envisagé par Elinor Ostrom, de résoudre la tragédie des communs. Quelques retours d'expérience à partir de l'observation de projets récents d'électrification rurale permettent d'identifier les facteurs clés de la réussite de ces projets.

1. Introduction

Ces dernières années, en cohérence avec l'Objectif du Développement Durable n°7, la recherche d'un accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable, a conduit à lancer plusieurs initiatives en vue de l'électrification universelle. La tendance est de privilégier pour cela les projets d'investissement dans les grands réseaux. Cependant, depuis une quinzaine d'années environ, les solutions décentralisées, sous forme de mini-réseaux en particulier, attirent de plus en plus d'intérêt. Malgré les handicaps de coût associés à l'absence d'économies d'échelles, ces mini-réseaux présentent l'intérêt de proposer des solutions face aux situations de dysfonctionnement du secteur électrique, particulièrement observées en Afrique sub-saharienne, aussi bien dans la dimension quantitative (taux d'électrification très bas) que dans la dimension qualitative (faible fiabilité du réseau). L'argument que nous proposons ici est que l'intérêt croissant pour les mini-réseaux peut être utilement interprété comme un exemple d'application des idées développées par Elinor Ostrom sur l'apport des modes de gouvernance polycentriques dans la résolution de la tragédie des communs¹. Dans de nombreux pays en développement, les grands réseaux électriques, qui ont un caractère de bien commun, ont une gouvernance déficiente, où les intérêts individuels l'emportent sur l'intérêt collectif, alors que dans le contexte de la fourniture de courant sur un mini-réseau, la gestion et l'allocation de la ressource peuvent être organisées par une structure de gouvernance locale, potentiellement mieux à même de résoudre ces problèmes d'action collective. Notre argumentation est aussi à rapprocher de la littérature sur la décentralisation comme moyen de lutter contre la corruption dans la fourniture et la gestion des infrastructures publiques (voir par exemple Shah, 2014), mais avec une problématique de la gouvernance étendue au delà de la seule question de la corruption, et avec un champ d'application focalisé sur les services publics d'électricité. Compte tenu de l'importance des investissements envisagés pour atteindre l'objectif d'électrification universelle², il est nécessaire d'approfondir la réflexion sur le choix du meilleur mix entre les grands réseaux interconnectés et

¹ Voir par exemple Elinor Ostrom (1999).

² A titre d'exemple, l'ADEA a chiffré en 2015 à 884 milliards de dollars le plan initié par Jean-Louis Borloo en vue de l'électrification universelle de l'Afrique à l'horizon 2040, et plus de la moitié de ces investissements serait consacrée à la construction de réseaux.

les mini-réseaux, et l'application des thèses d'Elinor Ostrom devrait faire pencher un peu plus ce mix en faveur des solutions décentralisées.

La section 2 développe le parallèle entre l'analyse d'Elinor Ostrom sur la gouvernance des communs et l'intérêt qu'il y a à miser sur la construction de mini-réseaux pour avancer sur la voie de l'électrification universelle. La section 3 est consacrée à documenter les coûts des dysfonctionnements de gouvernance des grands réseaux électriques, observés notamment en Afrique sub-saharienne, et illustrés par l'incapacité des opérateurs de réseau à assurer le recouvrement des coûts tout comme la qualité du courant livré aux l'approvisionnement des abonnés. L'intérêt croissant pour les mini-réseaux peut s'interpréter en partie comme une réponse à ces défauts de gouvernance, ce qui est l'objet de la section 4, qui met également en avant l'effet de la baisse des coûts des sources d'électricité renouvelables. La section 5 tire des enseignements de quelques retours d'expérience en matière d'électrification décentralisée, en vue d'identifier des bonnes pratiques. Des conclusions sont fournies dans la section 6.

2. Le choix entre grands réseaux électriques et mini-réseaux : interprétation en termes de communs.

L'analyse des communs, telle qu'elle a été en particulier développée par Elinor Ostrom, n'a pas été à notre connaissance appliquée aux réseaux électriques. Les travaux d'Elinor Ostrom et de ses successeurs se sont penchés surtout sur des biens communs associés à la conservation et l'exploitation d'une ressource naturelle, et à l'étude d'organisations rurales traditionnelles. Mais, et cela se retrouve dans les écrits d'Elinor Ostrom elle-même, l'analyse des communs ne se restreint pas nécessairement à ces situations. Elle peut tout aussi bien s'appliquer aux cas de biens communs qui ne relèvent pas de la seule exploitation d'une ressource naturelle, mais peuvent nécessiter la construction, l'exploitation et la maintenance d'une infrastructure de production, comme c'est le cas dans le domaine de l'approvisionnement en électricité.³ Dans ce contexte, il ne s'agit plus d'étudier des modes d'organisation traditionnelles. Comme on le verra dans la section 5 sur des retours d'expérience, l'organisation des mini-réseaux peut et doit intégrer des coalitions d'acteurs, mariant organisations traditionnelles et structures modernes. L'élément central des analyses développées par Elinor Ostrom et ses successeurs est le fait que les bénéficiaires du commun se connaissent, communiquent entre eux, et peuvent construire des relations de confiance. Cette proximité permet une gouvernance favorable à la prise en compte de l'intérêt collectif plutôt qu'à un équilibre non-coopératif où les intérêts individuels prédomineraient. Cette conclusion n'est pas nécessairement dépendante du contexte étudié, même si l'on comprend bien que des organisations rurales traditionnelles peuvent constituer un terrain particulièrement favorable à l'étude sociologique de ces relations de confiance. Ostrom, Gardner et Walker (1994) ont d'ailleurs utilisé des méthodes d'économie expérimentale leur permettant d'aboutir aux

³ Se rapproche de cette problématique l'article d'Orstrom (2016) sur la coproduction des infrastructures publiques locales.

mêmes conclusions dans des expériences de laboratoire que dans l'observation de terrain de communautés rurales traditionnelles.

La production et distribution d'électricité possèdent à l'évidence des caractéristiques d'un bien commun car la production à des coûts économiquement supportables requiert la mise en œuvre d'infrastructures de production et de transport et distribution de l'électricité. Les solutions individuelles, même si elles connaissent un intérêt croissant, que nous analyserons à la section 4, ne pourront pas se substituer aux réseaux pour apporter aux populations un accès complet à l'électricité, en raison du fait qu'elles reposent sur des installations de très faible puissance.

L'organisation des systèmes électriques dans les pays avancés repose sur la construction et la gestion de grands réseaux nationaux, et même de plus en plus transnationaux, interconnectés. Les avantages de la mise en commun des ressources dans un grand réseau l'emportent sur les coûts de transport de l'électricité sur longue distance. Une gestion centralisée du réseau, renforcée par l'apparition de techniques de réseaux intelligents, permet d'apporter à tout moment à toutes les unités connectées au réseau le courant électrique dont elles ont besoin, en quantité et en qualité. La gestion de ces réseaux a par ailleurs progressé avec la mise en place d'autorités de régulation indépendantes, qui permettent de renforcer l'efficacité économique grâce à la discipline de la mise en concurrence des opérateurs.⁴ On serait ainsi dans le cas standard d'un commun tel qu'ils étaient analysés avant les travaux d'Elinor Ostrom, où une gestion centralisée de l'allocation de la ressource commune serait optimale.

Dans les pays en développement, à l'image de l'évolution observée dans les pays développés, la tendance a été pendant longtemps de tout miser sur les grands réseaux, en oubliant d'ailleurs que les grands réseaux des pays développés se sont historiquement constitués à partir de mini-réseaux initialement indépendants, et hétérogènes (avec même des normes techniques différentes d'un réseau à l'autre). Les grandes agences de financement du développement ont contribué à cette tendance, ce qui correspondait à leurs compétences en matière de financement de grands projets d'infrastructure.

Cependant, les mini-réseaux attirent depuis une quinzaine d'années de plus en plus d'intérêt dans les pays en développement. Cette nouvelle tendance n'est pas sans rapport avec les idées initiées par Elinor Ostrom sur la dominance de la gouvernance polycentrique des communs par rapport à une gouvernance centralisée. Avec l'engouement pour les mini-réseaux, on retrouve le fait que les grands réseaux, par essence centralisés, ne correspondent pas toujours et partout à la meilleure organisation possible de l'approvisionnement en électricité. À l'inverse des grands réseaux, les mini-réseaux sont susceptibles d'être gérés dans un système de gouvernance polycentrique, où interviennent, chacun dans son rôle, des autorités nationales qui définissent un cadre

⁴ La production et la distribution peuvent faire l'objet de délégations de service public sous l'autorité d'une agence de régulation, mais le rôle central joué par l'agence de régulation, tout comme l'unicité du réseau de transport de l'électricité, continuent à donner à l'approvisionnement en électricité un caractère de bien commun.

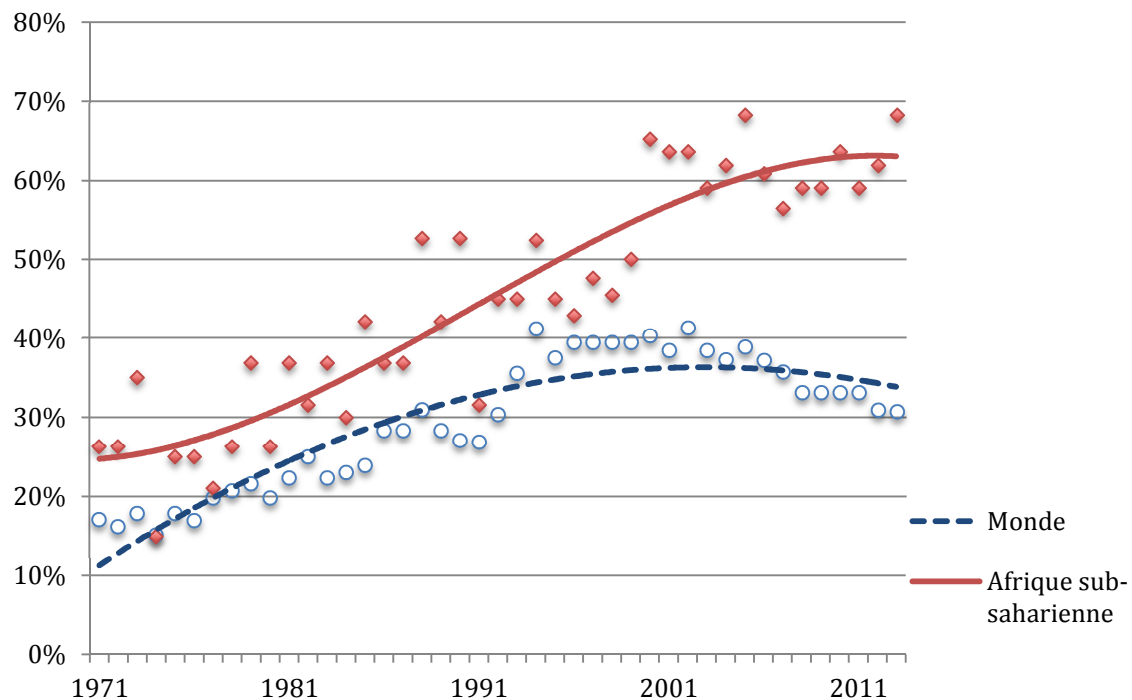
réglementaire et peuvent jouer un rôle de maître d'ouvrage dans la mise en place de délégations de service public, des autorités locales, et des organisations communautaires villageoises.

3. Les problèmes de gouvernance des réseaux électriques et leurs conséquences

L'expérience de terrain, dans des régions qui regroupent une très grande part de la population mondiale, l'Afrique sub-saharienne et l'Asie du Sud, montre que la vision centralisatrice optimiste qui a conduit à donner la priorité à la construction des grands réseaux électriques interconnectés ne fonctionne pas de manière satisfaisante. Cette situation est un cas d'école de la tragédie des communs, à la fois parce que les compagnies électriques se révèlent incapables de recouvrer leurs coûts et parce qu'elles ne parviennent pas à faire face de manière satisfaisante à la demande qui leur est adressée. Seulement 35% de la population, et 15% de la population rurale, a accès à l'électricité en Afrique sub-saharienne, et encore, comme nous l'analyserons plus loin, cet accès est faible également en qualité, en raison des problèmes de fiabilité des réseaux.

Le recouvrement des coûts est fortement impacté par la fraude sur les réseaux électriques. Cette question a été abordée par Smith (2004). Cet auteur propose d'identifier les occurrences de fraude massive à partir des données produites par l'Agence internationale de l'énergie et publiées par la Banque mondiale sur les pertes observées dans la transmission et la distribution d'électricité. On sait que ces pertes sont inévitables, qu'elles sont variables en fonction de la qualité des équipements et des distances sur lesquels le courant électrique doit être transporté, mais que dans un système électrique correctement géré elles sont maîtrisables et ne peuvent pas représenter plus que quelques points de pourcentage de la production électrique. Smith considère que les données publiées par la Banque mondiale en matière de pertes de transmission et distribution sont de qualité variable et il propose une analyse restreinte à un sous-échantillon de 102 pays (non explicité) pour lequel il considère que les données sont utilisables. Son analyse est confortée par l'existence d'une corrélation négative significative, à l'intérieur de ce sous-échantillon, entre les pertes de transmission et distribution et la qualité de la gouvernance telle que définie par Kaufmann et al. (2002). Smith (2004) montre à partir de ces données que le problème de fraude sur les réseaux électriques s'est considérablement aggravé entre 1980 et 2000. Si l'on considère, comme le fait Smith (2004), qu'un taux de déperdition supérieur à 15% apporte indirectement la preuve d'une fraude importante sur le réseau, on constate dans la Figure 1 que l'aggravation du problème de fraude s'est arrêtée dans les années 2000, et que l'on connaît maintenant une stabilisation au niveau mondial, avec une fraude significative pour environ 1/3 des pays. Cependant, on constate aussi que le problème a continué à s'aggraver en Afrique sub-saharienne, avec une proportion de pays où la fraude est avérée passant en tendance de 1/3 en 1980 à la moitié en 2000 et 2/3 dans les années récentes.

Figure 1 : Proportions de pays dont les déperditions de transmission et distribution électrique sont supérieures à 15%



Source : calcul de l'auteur à partir de World Bank, World Development Indicators

Comme l'analyse Smith (2004), la fraude comporte plusieurs facettes, qui vont du branchement illégal à la corruption au sein des compagnies d'électricité en passant par la modification illicite des compteurs. Même si la fraude correspond à plusieurs réalités différentes, elle peut d'une manière générale être interprétée comme un problème de gouvernance du bien commun que constitue l'électricité fournie sur le réseau. En effet, la fraude est l'illustration même d'un comportement de passer clandestin, les fraudeurs s'appropriant, sans en payer le prix, la ressource commune mise à disposition sur le réseau électrique. Les outils disponibles pour mesurer et facturer la consommation d'électricité, et leurs améliorations techniques éventuelles, ne permettent pas de régler ces problèmes de fraude, qui ne peuvent l'être que dans le cadre d'une réforme de gouvernance. Une première conséquence immédiate de la fraude est que les usagers du réseau sont de moins en moins incités à jouer le jeu de l'intérêt collectif, qui serait d'avoir un système d'approvisionnement électrique où chacun supporte sa part des coûts. Plus la fraude est manifeste et plus la tentation de privilégier l'intérêt individuel au détriment de l'intérêt collectif sera grande, et moins les coûts pourront être recouverts.

Une seconde conséquence de ce problème de fraude massive sur les réseaux électriques est que les compagnies électriques perdent de l'argent, et ne disposent pas des moyens nécessaires pour assurer l'extension des réseaux et des capacités de production ainsi que leur maintenance, et donc assurer aussi un approvisionnement fiable. La fraude est, parmi d'autres éléments, un facteur qui contribue à freiner les progrès en matière d'électrification et à dégrader la fiabilité de

l'approvisionnement, en réduisant drastiquement les capacités de financement de nouvelles installations et de maintenance des installations existantes. Les compagnies d'électricité sont par ailleurs d'autant moins incitées à assurer la fiabilité de l'approvisionnement sur le réseau que la fraude est importante. Ces problèmes peuvent être particulièrement aigus dans les zones rurales, comme cela est montré par Chakravorty et al. (2014) dans le cas de l'Inde. Pour ces auteurs, les pertes de transmission et distribution atteignent 32,5% dans l'Inde rurale (contre de l'ordre de 19% au niveau national), ce qui contribuerait d'après eux à expliquer pourquoi la fiabilité du réseau y est si faible : en moyenne il y a de 14 à 16h de coupures de courant par jour dans les villages, contre 4 en ville (Krishnaswamy, 2010) Ces auteurs concluent qu'une amélioration de la gouvernance serait un facteur clé pour améliorer l'accès à l'électricité dans l'Inde rurale.

Les branchements illicites sur les réseaux contribuent également aux pannes de réseau en raison des problèmes techniques de sécurité du réseau qu'ils entraînent, ces branchements illicites étant par nature non conformes aux standards techniques qu'il est nécessaire de maintenir pour assurer le bon fonctionnement et l'intégrité des installations. Ils contribuent également à l'incapacité des compagnies d'électricité d'anticiper la demande adressée sur le réseau, en raison du fait qu'une part significative du courant consommé est le fait de consommateurs non enregistrés auprès de la compagnie d'électricité. Ceci contribue à créer des coupures de courant qui résultent de chutes de tension et de délestages sur le réseau.

Les problèmes de fiabilité du réseau sont en eux-mêmes un marqueur de la défaillance de la gouvernance des réseaux électriques centralisés : le bien commun qu'est l'approvisionnement en électricité n'est disponible pour tous que si à tout moment l'approvisionnement sur le réseau satisfait la demande qui lui est adressée, faute de quoi le réseau cesse de fonctionner.

On dispose grâce aux enquêtes auprès des entreprises mises en œuvre par la Banque mondiale autour de 2010, d'informations substantielles sur les coupures de courant, du moins telles qu'elles sont perçues par les entreprises.

Le Tableau 1 fournit les données pour les pays qui ont subi, l'année de l'enquête des coupures de courant d'une durée mensuelle totale supérieure à 50h. Ces pays sont au nombre de 22 sur près de 150 pays enquêtés et sont à plus de 60% en Afrique sub-saharienne (qui compte 29% des pays enquêtés au total). On constate, quand les données sont disponibles la même année sur les déperditions de transmission et distribution de l'électricité, que plus de 70% de ces pays sont caractérisés par une fraude sur le réseau importante, ce pourcentage passant même à plus de 90% pour les pays où la durée mensuelle des coupures dépasse 100h (la seule exception étant le Liban).

Tableau 1 : indicateurs de dysfonctionnement des réseaux électriques

| Pays (année) | nombre de coupures par mois | durée moyenne en cas de coupure par mois | perte de production occasionnée par les coupures (%) | proportion d'entreprises qui ont un générateur de secours (%) | proportion d'entreprises pour qui l'électricité est une contrainte majeure (%) | durée totale de coupures par mois | pertes de transmission et distribution électrique (%) |
|-------------------------------|-----------------------------|--|--|---|--|-----------------------------------|---|
| Tanzanie (2013) | 8,9 | 5,1 | 15,1 | 43 | 45,8 | 56,07 | 20,5 |
| Angola (2010) | 4,7 | 11,8 | 12,6 | 79 | 35,7 | 63,45 | 11,5 |
| Ouganda (2013) | 6,3 | 6,8 | 11,2 | 52,2 | 26,8 | 63,63 | 12,6 |
| Ghana (2013) | 8,4 | 6,6 | 15,8 | 52,1 | 61,2 | 65,52 | 21,5 |
| Congo, Rep. Dem. (2013) | 12,3 | 4,9 | 7,8 | 59,5 | 52,2 | 68,88 | 7,5 |
| Bangladesh (2013) | 64,5 | 0,9 | 5,5 | 62,8 | 52 | 77,4 | 13,2 |
| Rep. Dominicaine (2010) | 17,7 | 3,1 | 4,4 | 49 | 63,1 | 79,65 | 11,8 |
| Burundi (2014) | 16,6 | 4 | 3,4 | 64,2 | 46,9 | 79,68 | .. |
| Guinée-Bissau (2006) | 5,2 | 10,1 | 5,2 | 68,4 | 74,1 | 93,08 | .. |
| Myanmar (2014) | 12,5 | 9,6 | 2,5 | 75,7 | 23,5 | 128,75 | 26,7 |
| Sierra Leone (2009) | 13,7 | 8,8 | 6,6 | 81,8 | 53,4 | 139,74 | .. |
| Gambie (2006) | 21 | 6,1 | 11,8 | 63,9 | 78,1 | 144,9 | .. |
| Chad (2009) | 19,6 | 7,5 | 3,3 | 75,4 | 74,6 | 172,48 | .. |
| Yemen, Rep, (2013) | 38,8 | 4,2 | 19,7 | 80,5 | 77,1 | 174,6 | 25,8 |
| Pap. Nouv. Guinée (2015) | 41,9 | 4,5 | 4,7 | 87,4 | 45,5 | 196,93 | .. |
| Guinée (2006) | 31,5 | 6,3 | 13,9 | 59,9 | 83,6 | 214,2 | .. |
| Rep. Centrafricaine (2011) | 29 | 7,2 | 25,1 | 81,4 | 76,1 | 234,9 | .. |
| Liban (2013) | 50,5 | 5,2 | 7 | 84,6 | 55,1 | 272,7 | 9,9 |
| Nigéria (2014) | 32,8 | 8 | 15,6 | 70,7 | 48,4 | 380,48 | 15,3 |
| Congo, Rep, (2009) | 21,5 | 29,6 | 16,4 | 81,8 | 71,1 | 737,45 | 70,3 |
| Pakistan (2013) | 75,2 | 13,2 | 33,8 | 65,4 | 75,3 | 1270,88 | 17,0 |
| Irak (2011) | 40,9 | 41,9 | 8,8 | 83,7 | 53,6 | 2331,3 | 34,8 |
| Moyenne | 26,1 | 9,3 | 11,4 | 69,2 | 57,9 | 320,3 | 21,3 |
| pour comparaison | | | | | | | |
| Médiane tous pays WBES | 2,2 | 3,1 | 1,2 | 28,5 | 29,5 | 6,5 | 13,4 |

Source : World Bank, World Business Environment Survey (WBES) & World Development Indicators

Les coupures de courant répétées et de longue durée sont donc une réalité évidente dans beaucoup de pays, notamment mais pas seulement en Afrique sub-saharienne, et cette réalité n'est pas indépendante de l'extension de la fraude sur les réseaux.

Les enquêtes de la Banque mondiale fournissent plusieurs mesures des conséquences des défaillances des réseaux électriques. Les données du Tableau 1 montrent que, dans les pays affecté par d'importantes coupures de courant, en moyenne 60% des entreprises considèrent que l'approvisionnement en électricité constitue une contrainte importante pour leur croissance, et plus de 70% d'entre elles sont équipées de générateurs électriques. Quand il y a des coupures de courant, ces coupures sont considérées comme responsables de pertes pour les entreprises évaluées en moyenne à plus de 11% de leur production. Encore ces données d'enquête peuvent-elles masquer des réalités bien plus dramatiques. Au Cameroun près de 80% des entreprises ont des pertes directes dues aux coupures de courant comprises entre 16% et 50% de leur production

(Diboma et Tatietsé, 2013), à comparer à des pertes observées dans l'enquête WBES en 2009 de seulement 4,9% de la production.

En résumé, la gouvernance des grands réseaux d'électricité est défectueuse dans de nombreux pays, et ce particulièrement en Afrique sub-saharienne, conduit à l'impossibilité d'étendre les réseaux à la mesure des besoins. Elle conduit aussi à une raréfaction de la ressource commune que constitue l'électricité livrée sur le réseau, dont les effets se font sentir directement et lourdement pour les usagers du réseau.

Au-delà de leurs coûts directs, les coupures de courant présentent des conséquences négatives indirectes qu'il faut prendre également en compte. Différentes mesures de coûts indirects ont été proposées dans la littérature, reposant notamment sur la perte de surplus des consommateurs (Woo et Pupp, 1992). Ces évaluations restent cependant restreintes aux aspects technico-économiques et ne prennent généralement pas en compte les coûts liés à l'incertitude de l'approvisionnement en électricité, qui sont associés à la mauvaise gouvernance, et qui ont des répercussions importantes en termes de comportement de précaution des entreprises comme des ménages face à cette incertitude.

La faible fiabilité de l'approvisionnement électrique constitue de ce fait un facteur de retardement du développement, et ses conséquences vont bien au-delà des pertes directes de production et des pertes de surplus des consommateurs. Au plan macroéconomique les effets des coupures de courant sur la croissance ont été quantifiés par Andersen et Daalgard (2013) à partir de données sur l'Afrique. Dans leur analyse, ces auteurs prennent le soin d'instrumenter la variable de fréquence des coupures de courant, en utilisant des données météorologiques (les épisodes de foudre, qui sont une cause exogène fréquente connue des coupures de courant). Ils montrent que la mauvaise fiabilité du réseau est responsable d'une perte de croissance très importante : si les coupures de courant avaient été aussi peu fréquentes dans la moyenne des pays africains qu'en Afrique du Sud (0,9 coupures par mois), la croissance en Afrique aurait été supérieure de deux points de pourcentage. On sait que ces exercices économétriques d'analyse des déterminants de la croissance à partir de données de comparaison internationale sont fragiles, à cause de la multitude de facteurs confondants pouvant exister. L'évaluation quantitative ainsi proposée reste donc indicative, mais elle montre néanmoins l'ampleur macroéconomique du phénomène. Chakravorty et al. (2014) montrent également, à partir de données microéconomiques de ménages ruraux en Inde, un effet négatif des problèmes de fiabilité du réseau électrique sur les revenus des ménages.

Les limites de l'électrification de réseau se voient aussi en Afrique dans le fait que même quand le réseau est présent le taux de ménages qui se connectent est relativement faible, ce qui peut être une réponse rationnelle à l'incertitude de l'approvisionnement. Lee et al. (2014) ont montré à partir de données collectées au Kenya que la moitié des ménages non connectés au réseau vit à moins de 200 mètres d'un transformateur basse tension. Les coûts de raccordement expliquent une partie du phénomène, mais pour bien le comprendre il faut aussi prendre en compte la faible fiabilité du réseau. La décision de se connecter au réseau, qui entraîne des coûts fixes, est

découragée quand les consommateurs potentiels constatent une grande incertitude sur la disponibilité du courant. Ceci est montré, également à partir de données sur le Kenya, par Millien (2016). Le faible nombre de ménages qui se connectent au réseau réduit en retour le potentiel de déploiement des réseaux en raison des couts fixes qui ne peuvent être amortis que si un nombre suffisant de ménages se connectent.

La réponse classique pour pallier ces difficultés a été de subventionner souvent massivement les opérateurs électriques, et ce en général au profit des populations les plus aisées, qui sont les premières à avoir accès au réseau, et non pas des pauvres. Les grands réseaux électriques offrent ainsi, dans de nombreux pays en développement, un concentré des problèmes classiques de mauvaise gouvernance, de corruption, d'inefficacité économique et de distribution inéquitable des ressources, avec toutes les conséquences que ces désordres impliquent contre le développement économique et social. De nombreuses tentatives de réformes ont été menées, s'inspirant de l'organisation des réseaux électriques des pays avancées avec la création d'autorités de régulation supposées promouvoir une organisation efficace par la mise en concurrence des opérateurs et veiller à la qualité du service public, mais ces tentatives ont dans une large mesure échoué (Eberhard et al., 2008).

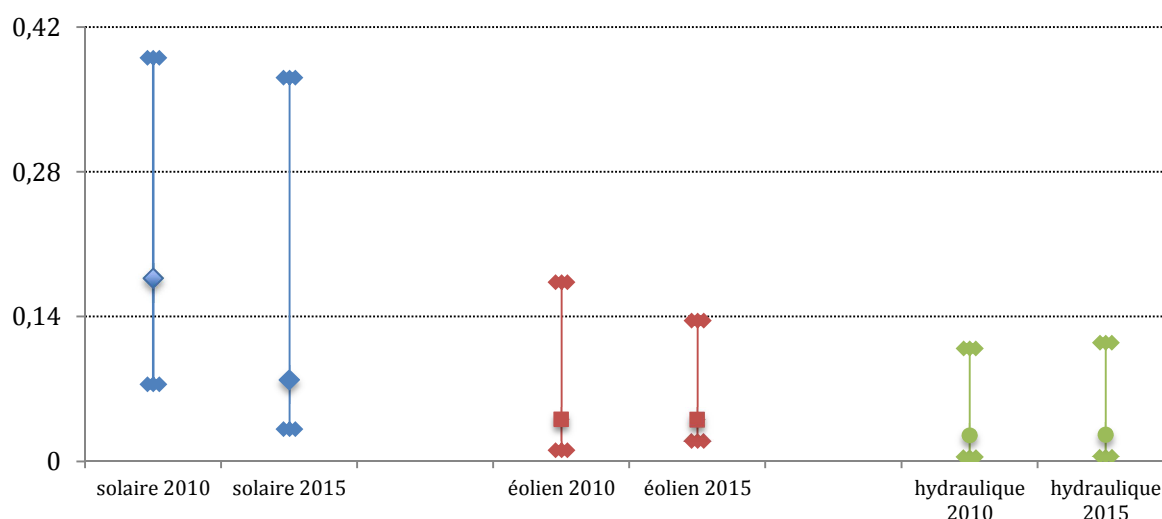
4. L'émergence des mini-réseaux, réponse partielle à la défaillance du modèle des grands réseaux

La gouvernance des grands réseaux est médiocre et s'est dégradée dans de nombreux pays en retard en matière d'électrification, ce qui à la fois entrave les progrès dans l'accès du plus grand nombre au réseau électrique, et réduit l'attractivité pour les usagers d'un approvisionnement en électricité de réseau, par comparaison à la construction de mini-réseaux, voire de solutions individuelles. A titre d'exemple, Harish et al. (2014) estiment dans le cas indien qu'un mini-réseau serait une solution économiquement rationnelle (en tenant compte des pertes de surplus du consommateur associées aux coupures de courant) dans des localités distantes d'au moins 17 km du réseau. Si, dans le contexte indien, ce résultat ne donnait d'après Harish et al. (2014) pas beaucoup d'intérêt aux mini-réseaux, il pourrait en aller autrement en Afrique sub-saharienne où l'extension des réseaux sur le territoire est encore limitée, et où les coupures de courant sont souvent comparables. Cependant un facteur supplémentaire en faveur de l'électrification décentralisée a émergé depuis : la baisse du cout de production d'électricité à partir de panneaux solaires. Dans les calculs de Harish et al. (2014), la meilleure solution d'électrification par mini-réseau reposait sur la biomasse, jugée, aux conditions technico-économiques prévalant au début des années 2010, sensiblement moins couteuse qu'un mini-réseau hybride solaire/diesel. Depuis, les données technico-économiques ont changé en faveur notamment du solaire.

L'analyse technico-économique, reposant sur une évaluation du cout actualisé de l'électricité produite, était jusque récemment en général en faveur des technologies conventionnelles (centrales thermiques) de production de l'électricité, et ces technologies conventionnelles sont

d'autant moins coûteuses qu'elles sont produites pour un grand réseau, compte tenu des économies d'échelle qui y sont associées. Cependant, la baisse des coûts de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables, notamment le solaire, change les données du problème. Dans le cas de la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables, la ressource utilisée (qu'elle soit d'origine photovoltaïque, hydraulique, éolienne, biomasse ou géothermique) est largement disséminée sur les territoires, de telle sorte que la production décentralisée peut faire sens d'un point de vue technico-économique, et ce de plus en plus à mesure de la baisse de leur coût. C'est vrai en particulier pour l'électricité d'origine photovoltaïque, dont les coûts diminuent très rapidement. Les données produites par l'IRENA (International Renewable Energy Agency) montrent que, comparé au coût actualisé standard de l'électricité produite sur les réseaux par des centrales thermiques conventionnelles (0,14 \$/kwh), le coût de production d'énergie électrique renouvelable commence à être économiquement acceptable y compris pour le solaire (Figure 2).

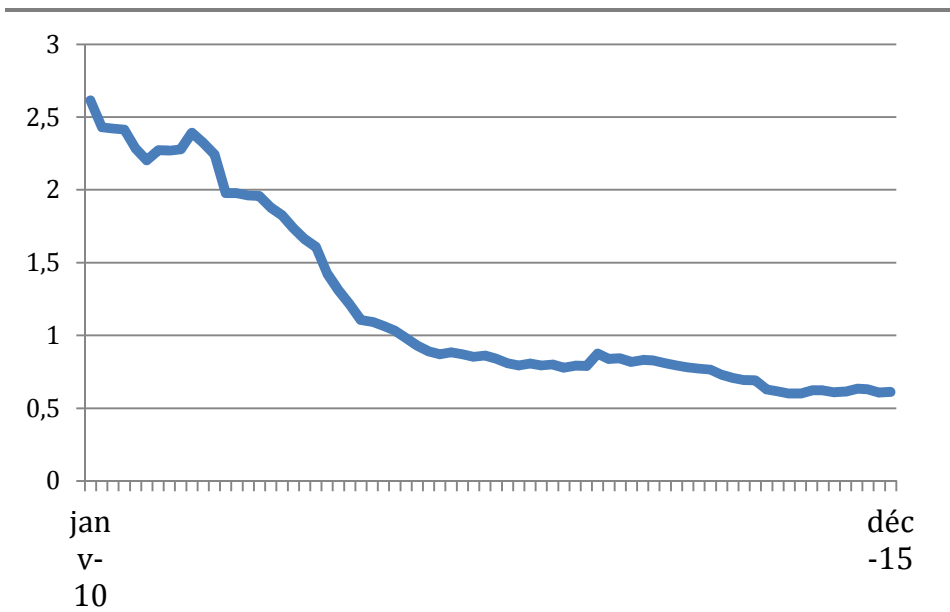
Figure 2 : évolution du coût total actualisé (maximum, moyen et minimum) des sources d'énergie électrique renouvelables (US\$/kwh)



Source : IRENA.

Cette évolution des coûts relatifs, essentiellement due à la baisse du prix des panneaux photovoltaïques (Figure 3), accroît donc aujourd'hui la pertinence économique des projets de production électrique décentralisée, et ce mouvement va probablement s'amplifier dans les années à venir.

Figure 3 : Evolution du prix moyen des panneaux solaires (US\$/wp)



Source : IRENA.

Il n'existe pas de données exhaustives sur la mise en œuvre de projets d'électrification décentralisée. A notre connaissance, la seule initiative qui ait été mise en place en vue de rassembler de manière systématique des informations sur ces projets est la base de données de World Access to Modern Energy (WAME) & EXPO 2015. La base de données de WAME contient des projets, politiques, études de cas et publications d'accès à l'énergie qui ont contribué à accroître l'accès des ménages, des organisations collectives et des entreprises aux services énergétiques essentiellement en Asie, Afrique et Amérique Latine. Les initiatives recensées dans cette base de données ont un focus particulier (mais pas exclusif) sur les énergies renouvelables et couvrent un large panel d'acteurs (bailleurs de fonds bilatéraux et multilatéraux, institutions publiques, gouvernements, ONG, entreprises privées, fondations). Sans que cette base soit exhaustive, son exploitation nous permet d'établir une première vue d'ensemble sur l'état actuel des projets d'électrification décentralisée.⁵

Avant toute analyse de ces données, il faut signaler cependant un biais de sous-estimation de l'importance des mini-réseaux, dans la mesure où l'objectif de cette base de données est de recenser des projets reposant sur les énergies renouvelables. Les mini-réseaux utilisant des générateurs diesels mis en place avant l'arrivée sur le marché de solutions renouvelables à des coûts abordables sont donc peu recensés dans cette base de données.

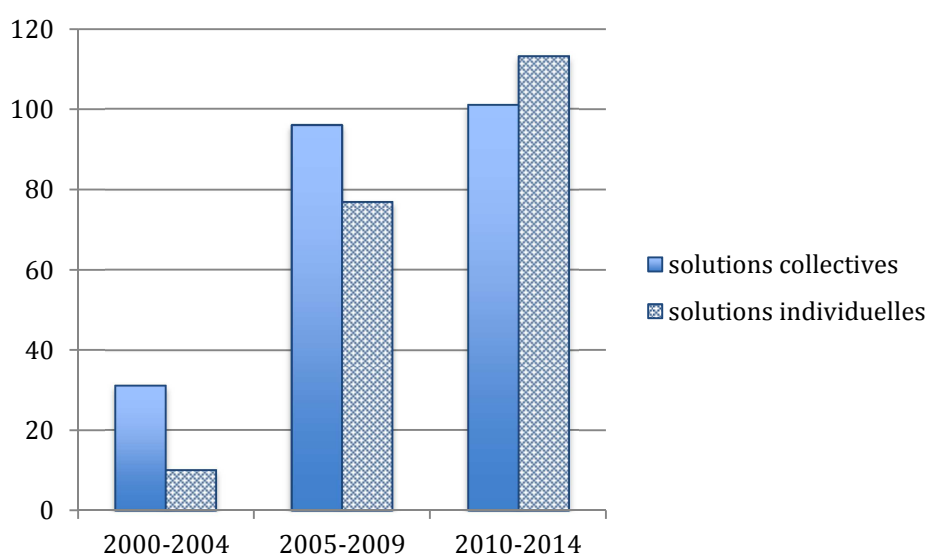
Ces données montrent une forte croissance au cours des quinze dernières années des projets réalisés (ou en cours de réalisation) en matière d'électrification décentralisée, Ces solutions peuvent prendre plusieurs formes, et ne relèvent pas toutes de l'analyse des communs. Il y a en particulier un nombre important de projets de déploiement de solutions individuelles (en général

⁵ Voir Berthélemy et Béguerie (2016).

solaires). En matière de solutions collectives, il y a un gradient assez large entre des mini-réseaux de taille variable, pouvant desservir de quelques centaines à quelques milliers de consommateurs, auxquels on peut ajouter des projets de réalisation de kiosques énergétiques, consistant en la mise en place d'une source d'électricité (en général produite à partir de panneaux solaires) utilisée pour vendre non pas de l'électricité mais des services utilisant cette électricité à la population locale immédiatement à proximité (tels que des recharges de lampes et de batteries de téléphones portables, la production de froid, des services d'impression et de photocopie, etc.).

La Figure 4 montre que l'importance relative des solutions individuelles et collectives est comparable, mais que la dynamique des solutions individuelles a été, sur la période récente, plus rapide que celle des solutions collectives. Ce constat de prédominance dynamique des solutions individuelles sur les solutions collectives sort renforcé si on tient compte du biais de sous-évaluation du nombre de projets de mini-réseaux au début de la période (mini-réseaux utilisant des générateurs diesels non pris en compte dans la base WAME). Ceci reflète le fort engouement pour les solutions solaires individuelles. Les solutions individuelles sont particulièrement nombreuses en Afrique sub-saharienne, où sont localisés les 2/3 des projets de ce type recensés dans la base WAME.

Figure 4 : Evolution du nombre de projets d'électrification décentralisés enregistrés dans la base WAME 2015



Source : calculs de l'auteur

L'émergence de projets d'électrification décentralisée par mini-réseaux repose donc sur deux facteurs complémentaires : les problèmes de gouvernance posés par les grands réseaux, qui pourraient en principe être mieux résolus à l'échelle locale qui est celle des mini-réseaux ; et les progrès technico-économique en matière de production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables, qui ont suscité aussi de nombreux projets de déploiement de solutions individuelles.

5. Retours d'expérience

La publication récente d'un numéro spécial de la revue FACTS Reports sur « électrification décentralisée et développement » a permis de mettre en évidence quelques retours d'expérience sur les projets d'électrification décentralisée, en considérant aussi bien les solutions individuelles que les solutions collectives. Ces projets d'électrification décentralisée contribuent de manière notable à l'électrification rurale, surtout dans des pays africains ou asiatiques où l'électrification rurale est à ce jour insuffisamment développée.

Les solutions individuelles attirent à l'heure actuelle le plus l'attention en raison de la baisse des coûts des solutions solaires individuelles et des innovations mises en œuvre pour diffuser ces solutions auprès de la population avec des systèmes de paiement de type pay-as-you-go. Ces solutions individuelles ne peuvent évidemment pas se substituer à l'électrification par réseau, car la puissance disponible est faible, ce qui limite l'usage de l'électricité pour l'essentiel à de l'éclairage et à la recharge de batteries de téléphone. L'apport de l'éclairage est certainement un facteur significatif d'amélioration des conditions de vie des populations villageoises mais il reste à faire la preuve que cet apport de solutions modernes d'éclairage a un effet de transformation socio-économique, notamment en matière de création de nouvelles activités économiques. Pour la plupart des usages professionnels de l'électricité, tels que l'utilisation de moteurs électriques, ou même la production de froid, il est nécessaire de disposer d'une puissance supérieure à celle que peuvent fournir des panneaux solaires individuels. Par ailleurs, l'intermittence de la production d'électricité par panneaux solaires constitue un obstacle important à leur utilisation générique pour promouvoir l'accès à l'électricité, compte tenu des limites technico-économiques actuelles des solutions de stockage de l'énergie électrique.

Les kiosques énergétiques constituent une solution intermédiaire intéressante, notamment dans des petites localités rurales isolées où la demande potentielle pour des services électriques modernes est au moins dans un premier temps trop limitée pour justifier la construction d'un mini-réseau. Les projets mis en œuvre dans ce domaine ne sont pas très nombreux (un peu plus de 2% des projets recensés dans la base WAME) mais pourraient prendre de l'importance dans l'avenir. Comme le montre l'exemple de l'entreprise HERI à Madagascar (Tavernier et Rakotoniana, 2016), le fonctionnement de ces solutions peut reposer sur un modèle entrepreneurial, mais l'exemple de SELCO en Inde (Subbiah et al. , 2016) montre qu'un modèle communautaire peut lui être préféré dans certaines circonstances. C'est le cas dans les communautés homogènes, sans hiérarchie sociale, où le capital social joue un rôle important et où il y a une tradition de propriété collective. On se trouve là typiquement dans des situations favorables à la résolution du problème des communs par une structure de gouvernance locale.

Les exemples de mini-réseaux étudiés dans ce numéro spécial de FACTS Reports présentent eux aussi une grande variété de situations, qui peuvent être utilement analysées à la lumière de la littérature sur la gouvernance polycentrique des communs. Dans tous les cas, ces mini-réseaux ont les caractéristiques d'un bien commun, mais leur gouvernance peut prendre des formes très

variable. En Mauritanie (Munnich, 2016), les autorités nationales ont mis en place un système de délégation de service public, dans lequel un délégataire par localité est sélectionné sur appel d'offre par l'autorité de régulation nationale. A l'inverse, au Nord Laos (Descotte, 2016) des mini-réseaux alimentés par des pico-turbines électriques ont été créés, dont la gouvernance est largement assurée par les communautés villageoises, avec notamment un rôle important joué par les organes de gouvernance propres aux villages (le chef de village, le conseil des sages, l'association des femmes et un représentant des jeunes), de sorte que les projets de mini-réseaux ont été mis en œuvre et gérés dans un cadre coopératif intégrant toutes les parties prenantes et mobilisant toutes les compétences locales. Dans le cas de Madagascar (projet Rhyviere décrit par Cerqueira, 2016), on est comme en Mauritanie dans un cadre de délégation de service public par une autorité de régulation nationale, mais il est apparu qu'il était nécessaire d'impliquer étroitement les autorités locales comme maître d'ouvrage délégué, pour pallier la faible capacité de contrôle de l'autorité nationale sur les délégataires, mais aussi pour prioriser les projets et la répartition des besoins. Cerqueira (2016) conclut qu'une clé du succès est dans la construction d'une coalition d'acteurs entre autorités nationales, entreprises privées délégataires et société civile.

L'expérience de la Mauritanie montre bien le rôle essentiel de la gouvernance. Il est arrivé pour des raisons « politiques » que la délégation de service publique soit retirée à des concessionnaires pour être confiée à la société publique d'électricité. Cela a conduit à la dégradation de la qualité du service (pannes fréquentes, délais de maintenance, taux de service en baisse) et à une augmentation du coût total du service. Le facteur clé est donc bien, au delà de la question technique du branchement au réseau national ou du fonctionnement en mini-réseau isolé, que la gouvernance décentralisée des mini-réseaux permet une organisation plus efficace, ce qui correspond bien aux enseignements des travaux d'Elinor Ostrom.

La question de la facturation de l'électricité est également centrale dans le modèle économique des mini-réseaux. On trouve, comme par exemple en Mauritanie, des systèmes classiques de tarification avec un coût fixe (abonnement, fonction éventuellement de la puissance demandée) et un coût variable. L'accès de l'électricité au plus grand nombre suppose cependant la mise en place de solutions innovantes. Ainsi, dans le projet Rhyviere réalisé à Madagascar, on a mis en place, pour les ménages les plus pauvres, un « forfait lampe » leur permettant à faible coût un accès à l'éclairage électrique. Par ailleurs la facturation de l'électricité inclut une taxe reversée aux communes pour financer l'éclairage public, les dépenses d'électricité des services publics et l'extension des réseaux. Dans le projet de mini-réseaux au Nord Laos, les tarifs ont été fixés au départ, à l'issue de discussions au sein des villages, à un montant unique et forfaitaire, et des limiteurs de tension ont été installés afin d'éviter la surconsommation de certaines familles. Toutefois ce niveau de tarification, calé de manière à permettre l'accès à l'électricité pour les familles pauvres, ne permet pas de générer des ressources pour investir dans la multiplication des équipements.

En termes de qualité du service, d'une manière générale les mini-réseaux analysés présentent des taux de panne très inférieurs à ceux que l'on constate sur les grands réseaux. On constate aussi que les impayés de factures sont minimes, ce qui est conforme avec des comportements qui tiennent compte de l'intérêt collectif. Les consommateurs se déclarent en général très satisfaits du système rendu. La continuité du service est toutefois difficile à assurer quand la source primaire est intermittente, ce qui est le cas de l'électricité produite par panneaux solaires. Il est donc encore fréquent à l'heure actuelle, dans le cas de mini-réseaux utilisant l'énergie solaire, que la production d'électricité soit hybride, avec l'adjonction d'un générateur diesel. Il y a là un arbitrage à réaliser, et la solution optimale peut-être dans bien des cas le recours à l'hybridation, malgré son incidence sur les coûts et sur l'environnement. Ce choix peut aussi être motivé par les besoins de puissance, pour aller au delà de l'apport d'éclairage et de recharge de petites batteries, et notamment apporter de l'électricité utilisable par des artisans ou des petites entreprises.

6. Conclusion

L'électrification par grands réseaux a constitué jusqu'à présent le paradigme dominant en matière de développement de l'électrification. Dans beaucoup de pays, notamment en Afrique où les taux d'électrification sont très bas, l'échec de ces stratégies est concomitant avec de problèmes de gouvernance. L'accès à l'électricité a toutes les caractéristiques d'un bien public, pour lequel un écueil majeur réside dans la prédominance des comportements individualistes au détriment l'intérêt collectif, dans une forme de tragédie des communs. Il en résulte une incapacité à recouvrer les coûts, à étendre le service au plus grand nombre et assurer la fiabilité de l'approvisionnement en courant électrique.

Les progrès technico-économiques récents en matière de production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables ont permis de réduire considérablement le handicap des mini-réseaux en termes de coûts. Les leçons tirées des expériences récentes restent contrastées, mais permettent déjà d'identifier des bonnes pratiques dans lesquelles l'élément décisif du succès réside dans la gouvernance de ces mini-réseaux, qui doit s'appuyer sur une coalition d'acteurs au niveau local. Tous les contextes ne s'y prêtent pas nécessairement, mais là où les communautés locales sont capables de construire une approche coopérative où l'intérêt collectif l'emporte sur les intérêts individuels, les mini-réseaux constituent une voie prometteuse pour faire progresser l'électrification rurale et s'approcher ainsi, plus rapidement que si l'on ne mise que sur l'extension des grands réseaux, de l'objectif d'accès universel à des services énergétiques fiables, durables et modernes.

Références

- ANDERSEN, Thomas Barnebeck et DALGAARD, Carl-Johan. Power outages and economic growth in Africa. *Energy Economics*, 2013, vol. 38, p. 19-23.
- BERTHÉLEMY, Jean-Claude et BÉGUERIE, Victor. Introduction. Decentralized electrification and development: initial assessment of recent projects. *Field Actions Science Reports. The journal of field actions*, 2016, no Special Issue 15, p. 4-9.
- CERQUEIRA, Julien. What coalitions of stakeholders to electrify Madagascar?. *Field Actions Science Reports. The journal of field actions*, 2016, no Special Issue 15, p. 34-45.
- CHAKRAVORTY, Ujjayant, PELLI, Martino, et MARCHAND, Beyza Ural. Does the quality of electricity matter? Evidence from rural India. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2014, vol. 107, p. 228-247.
- DESCOTTE, Gérard. Pico hydro turbines for electricity in rural areas. *Field Actions Science Reports. The journal of field actions*, 2016, no Special Issue 15, p. 26-33.
- DIBOMA, B. S. et TATIETSE, T. Tamo. Power interruption costs to industries in Cameroon. *Energy policy*, 2013, vol. 62, p. 582-592.
- EBERHARD, Anton, FOSTER, Vivien, BRICEÑO-GARMENDIA, Cecilia, et al. Underpowered: the state of the power sector in Sub-Saharan Africa. Background paper, 2008, vol. 6.
- HARISH, Santosh M., MORGAN, Granger M., et SUBRAHMANYAN, Eswaran. When does unreliable grid supply become unacceptable policy? Costs of power supply and outages in rural India. *Energy Policy*, 2014, vol. 68, p. 158-169.
- KAUFMANN, Daniel, KRAAY, Aart, et ZOIDO-LOBATON, Pablo. Governance Matters II: Updated Indicators for 2000/01, World Bank. *Policy Research Working Paper*, 2002, vol. 2772.
- KRISHNASWAMY, Srinivas. Shifting of goal posts—rural electrification in India: a progress report. *New Delhi: Vasudha Foundation*, 2010.
- Carson, et al. *Barriers to Electrification for "Under Grid" Households in Rural Kenya*. National Bureau of Economic Research, 2014.
- MILLIEN, Arnaud. *Power outages and the decision of under-grid households to connect to the grid*, Mimeo, Centre d'Economie de la Sorbonne, 2016.
- MUNNICH, David. CDS: a case of autonomous water and energy networks. *Field Actions Science Reports. The journal of field actions*, 2016, no Special Issue 15, p. 12-19.
- OSTROM, Elinor (1999), Coping with tragedies of the commons, *Annual Review of Political Science*, Vol. 2: 493-535, 1999.
- OSTROM, Elinor. Crossing the great divide: coproduction, synergy, and development. *World development*, 1996, vol. 24, no 6, p. 1073-1087.
- OSTROM, Elinor, GARDNER, Roy, et WALKER, James. *Rules, games, and common-pool resources*. University of Michigan Press, 1994.
- SHAH, Anwar. Decentralized Provision of Public Infrastructure and Corruption. 2014.
- SMITH, Thomas B. Electricity theft: a comparative analysis. *Energy Policy*, 2004, vol. 32, no 18, p. 2067-2076.
- SUBBIAH, Adritha, MANSOOR, Sahar, MISRA, Rachita, et al. Addressing Developmental Needs Through Energy Access in Informal Settlements. *Field Actions Science Reports. The journal of field actions*, 2016, no Special Issue 15, p. 80-91.
- TAVERNIER, Louis et RAKOTONIAINA, Samy. HERi Madagascar: Upscaling the energy kiosk concept. *Field Actions Science Reports. The journal of field actions*, 2016, no Special Issue 15, p. 68-79.
- WOO, Chi-Keung et PUPP, Roger L. Costs of service disruptions to electricity consumers. *Energy*, 1992, vol. 17, no 2, p. 109-126.

“Sur quoi la fondera-t-il l'économie du monde qu'il veut gouverner? Sera-ce sur le caprice de chaque particulier? Quelle confusion! Sera-ce sur la justice? Il l'ignore.”

Pascal



Créée en 2003, la **Fondation pour les études et recherches sur le développement international** vise à favoriser la compréhension du développement économique international et des politiques qui l'influencent.

Contact

www.ferdi.fr

contact@ferdi.fr

+33 (0)4 73 17 75 30