

Autonomie et réseaux électriques en Afrique : des expérimentations rurales aux hybridations urbaines

Sylvy Jaglin

▶ **To cite this version:**

Sylvy Jaglin. Autonomie et réseaux électriques en Afrique : des expérimentations rurales aux hybridations urbaines. Lopez F., Pellegrino M. et Coutard O. (dirs). Les territoires de l'autonomie énergétique : espaces, échelles et politiques, Iste Editions, pp.313-337, 2019, 9781784055981. halshs-03140524

HAL Id: halshs-03140524
https://shs.hal.science/halshs-03140524

Submitted on 12 Feb 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Pour citer ce chapitre : JAGLIN S., 2019, « Autonomie et réseaux électriques en Afrique : des expérimentations rurales aux hybridations urbaines », in Lopez F., Pellegrino M. et Coutard O. (dirs), *Les territoires de l'autonomie énergétique : espaces, échelles et politiques*, Londres, Iste Editions, 313-337.

Chapitre 4

Autonomie et réseau électriques en Afrique : des expérimentations rurales aux hybridations urbaines

4.1. Introduction

La révolution électrique en Afrique viendra-t-elle du déploiement de solutions décentralisées ? Contribuant à décarboner le mix énergétique et s'appuyant sur des dispositifs *off-grid* aujourd'hui partout disponibles sur le continent, l'exploitation de ressources renouvelables locales est-elle en mesure de répondre à la demande de quelque 600 millions d'Africains que les systèmes industriels dominants ont échoué à desservir, et à quelles conditions ? C'est le défi qu'entendent relever des politiques issues d'une prise de conscience tardive des carences énergétiques et de leur rôle dans le (mal) développement du continent[1], et qui constituent désormais des priorités pour l'Agenda 2063[2] et pour la Banque Africaine de développement (BAD 2017).

Au-delà des promesses de ce nouveau modèle d'électrification, nous nous intéressons dans ce chapitre aux modes et lieux de la transition sociotechnique

[1] « Le déficit des infrastructures énergétiques en Afrique constitue un obstacle majeur à la croissance économique » : Déclaration du président du Groupe de la BAD, Donald Kaberuka, au Congrès mondial de l'énergie (12-16 septembre 2010, Montréal). URL: https://www.afdb.org/fr/news-and-events/afdb-at-world-energy-congress-energy-is-key-to-africas-development-7075/

[2] Plan pour la transformation structurelle de l'Afrique adopté en mai 2013 lors du Jubilé d'or de l'Union africaine.

annoncée en interrogeant les rapports entre les grands réseaux et les solutions décentralisées, ici définies comme des modes d'accès « autonomes » à l'électricité[3].

A partir de sources énergétiques renouvelables et/ou fossiles diversement combinées, trois grandes familles de solutions décentralisées sont identifiables en Afrique subsaharienne : les mini-réseaux[4] alimentés par des centrales électriques, le plus souvent hybrides, fournissant de l'électricité à des clients finaux (ménages et entreprises artisanales) ; les kiosques énergétiques offrant des services communautaires ; les systèmes individuels (torches, lanternes et kits solaires) répondant à des usages basiques d'éclairage et de recharge des appareils électroniques (Berthélemy et Béguerie 2016). Le plus souvent proposées par des acteurs extérieurs, dans une logique d'offre voire d'opportunisme commercial, ces solutions relèvent d'un modèle d'autonomie qui, loin d'exprimer une contestation du réseau, légitime « par défaut » un imaginaire de l'autosuffisance. En ce sens, les registres interprétatifs sont ici très différents de ceux qui prévalent dans l'analyse des scènes énergétiques alternatives en Europe (Christen et Hamman 2015). Les configurations africaines observables étant récentes, les dynamiques et modalités d'autonomisation sont cependant susceptibles de se recombiner et on privilégie une définition processuelle de l'autonomie pour qualifier des relations au réseau qui peuvent en outre varier selon que l'on considère les infrastructures matérielles, les mécanismes socio-économiques ou encore les logiques politiques des solutions décentralisées (Bridge *et al.* 2013). Il s'agit donc de comprendre quand et où l'autonomie électrique est appropriée ; par quelles dynamiques collectives (éphémères ou durables) elle est portée ; dans quel projet elle s'insère, comme fin en soi ou comme étape dans un processus de long terme intégrant des modes de coordination entre accès centralisés et décentralisés à l'électricité.

Le chapitre cherche d'abord à clarifier le lien entre disette électrique et essor récent de discours, initiatives et cadres d'intervention internationaux destinés à faciliter le déploiement à vaste échelle de solutions décentralisées à partir d'énergies renouvelables (Africa Progress Panel 2017). Il montre que la diffusion des solutions décentralisées emprunte deux voies principales. L'une, institutionnalisée et médiatisée, prend la forme de projets *off-grid* eux-mêmes inscrits dans des

[3] Lorsque l'électrification est réalisée au moyen d'un dispositif *off-grid*, c'est d'abord la production locale d'électricité qui définit l'autonomie. Notons cependant que cette définition technique de la décentralisation ne prend pas en compte l'organisation du secteur électrique, un même opérateur centralisé pouvant exploiter des systèmes locaux techniquement indépendants.

[4] En fonction du nombre d'utilisateurs et de la puissance disponible sur le réseau, ils sont parfois qualifiés de *nano-grid*, *micro-grid* ou *mini-grid*. Dans ce texte, nous utiliserons le terme générique de mini-réseau.

programmes internationaux (Bloomberg NEF and Lighting Global *2016*). Ces projets, que nous proposons de considérer comme des expérimentations électriques (Hamman 2016), concernent en priorité les espaces ruraux hors des territoires de desserte des opérateurs de réseau. L'autre voie de diffusion, marchande et souvent informelle, passe par des filières d'importation (particulièrement d'équipements solaires chinois[5]), par des commerçants locaux de matériels, neufs et d'occasion, et par des pratiques d'achat au gré des opportunités économiques des clients et des informations dont ils disposent. Elle se développe partout où une demande existe, et surtout dans les villes où prospèrent les segments terminaux des « discrètes » chaînes de valeur de la mondialisation (Choplin et Pliez 2018). En d'autres termes, les dispositifs d'électrification *off-grid,* pensés pour l'autonomie rurale, sont partiellement « détournés »[6] au profit de diverses pratiques d'autonomie urbaine. Deux principales raisons l'expliquent. La première est que la division ville/campagne n'a qu'une portée opérationnelle limitée face à une urbanisation africaine de plus en plus diffuse. La seconde est que la spécialisation réseau/hors réseau n'offre pas de réponses satisfaisantes à la piètre qualité du service électrique urbain conventionnel. Bien que conçus comme une solution de pré-électrification[7] rurale, les projets *off-grid* sont aussi une réponse à l'importante demande latente des espaces urbains, dont ils influencent donc le devenir électrique.

Ce détournement de lieu et d'objectif est un résultat inattendu et trop méconnu des expérimentations d'autonomie électrique, dont les populations réinventent le mode d'emploi. Il invite à s'intéresser aux interfaces réseau/hors réseau ainsi créées dans les villes et nous conduit à l'examen des lieux et types de frottements résultant des pratiques citadines d'assemblage des dispositifs techniques disponibles. Quelles places respectives le réseau centralisé et les dispositifs autonomes occupent-ils dans l'émergence d'arrangements inédits, tant spatiaux que fonctionnels ? Ceux-ci préfigurent-ils des hybridations électriques plus pérennes ? Ces questions ouvrent un champ de recherche largement inexploré. Acteurs institutionnels et experts soulignent l'impossibilité d'effectuer des projections fiables faute de données et de recul. Tous agissent donc aujourd'hui dans un contexte de grande incertitude, entre espoir d'un essor du marché des solutions *off-grid* et crainte d'un effondrement faute de modèle économique pérenne (Payen *et al*. 2016 ; PwC 2017a). De fait, en dépit

[5] La très grande majorité des matériels *low cost* provient de Chine (Bloomberg NEF and Lighting Global 2016).

[6] Au sens proposé par Olivier de Sardan dans son analyse des projets de développement (Olivier de Sardan 1995).

[7] Entendue comme une étape préliminaire à l'électrification : « Unlike electrification, end-users are not connected to a grid or are not energy self-producer » (Tavernier and Rakotoniaina 2016 : 68).

de la profusion d'engagements, de discours et d'initiatives en faveur des solutions d'électrification décentralisées, l'ampleur réelle des réalisations reste limitée et, surtout, très mal documentée.

En outre, l'analyse des documents consacrés aux solutions d'électrification rurale décentralisées butte sur deux écueils : imparfaitement défini, le « rural » sert à qualifier des espaces très divers, y compris d'urbanisation diffuse (bourg, périurbain, corridor de peuplement le long des axes routiers) ; les sources, qui relèvent pour beaucoup de la littérature grise (fiches et documents de projet, sites d'organisations diverses), anticipent voire exagèrent l'impact d'interventions qui ne sont pas encore réalisées ou seulement en phase de démarrage. Il est donc difficile d'établir l'état réel du déploiement de ces dispositifs, de leur appropriation, des usages qui en sont faits, du degré de satisfaction des habitants… Les « faits » sur lesquels appuyer la réflexion sont assez peu nombreux et relèvent d'un nombre restreint d'exemples cités de manière récurrente. Ceux-ci n'offrent par ailleurs que des indications ténues en rapport avec nos hypothèses sur les hybridations d'interface, qu'il faut chercher du côté des « problèmes » rencontrés par les projets ruraux : concurrence déloyale des commerçants urbains, marchés inondés de produits importés, circulation de matériels génériques et d'occasion… autant de dynamiques dont les moteurs urbains sont le plus souvent ignorés. Le propos vise donc à dresser un « état des connaissances » sur les hybridations électriques urbaines, à partir des sources disponibles et du paysage qui s'en dégage[8]. La réflexion porte sur l'Afrique subsaharienne hors Afrique du Sud, dont les indicateurs et le développement électriques sont exceptionnels à tous égards sur le continent (Jaglin and Dubresson 2016).

La section 2 présente le contexte des projets *off-grid*, justifiés par la « crise » des systèmes centralisés dans un contexte continental de pénurie électrique, et leur contribution attendue à l'électrification du continent. La section suivante montre que l'avenir du couple réseau-hors réseau n'est pas scellé : tandis que leurs modèles économiques restent à inventer dans les territoires ruraux, les solutions décentralisées, circulant au gré des filières marchandes de longue et courte portées, font déjà partie du quotidien des citadins. La conclusion revient sur la singularité d'une physionomie africaine de l'autonomie électrique et sur les perspectives d'hybridation dans les espaces urbains connectés.

[8] La démarche s'inscrit dans le projet Hybridelec, (ANR 2017 Défi 2). Responsable scientifique : E. Verdeil (Sciences Po Paris), co-coordinatrice S. Jaglin (Latts, UPEM).

4.2. De la « crise » aux expérimentations électriques

Avec plus de 600 millions de personnes dépourvues d'accès à l'électricité sur 1 milliard d'habitants, l'Afrique subsaharienne est la région du monde présentant les plus mauvais indicateurs dans ce secteur[9] : les capacités de production et de distribution sont très insuffisantes et les consommations moyennes par habitant sont parmi les plus basses du monde (UNEP 2017).

De nombreux projets entendent remédier à cette « crise ». Certains visent à renforcer et compléter les infrastructures nationales par la construction de nouvelles capacités de production centralisée à partir d'énergies fossiles et renouvelables, l'extension des infrastructures de réseau et leur modernisation pour faciliter l'insertion des énergies intermittentes. Ces interventions représentent l'essentiel des montants à investir pour les décennies à venir et sont présentées comme indispensables à la construction de l'ossature infrastructurelle continentale (ICA 2017 ; Eberhard 2015). Longtemps exclusive, cette vision du développement électrique, intensive en capital et conforme à l'expertise interne des grandes institutions financières, est cependant en partie concurrencée par une autre, fondée sur une approche valorisant les solutions décentralisées ou *off-grid*, l'ancrage dans les territoires de proximité et le développement local endogène (Berthélemy et Béguerie 2016). Encouragée par la reconnaissance de l'accès à l'électricité comme un enjeu majeur du développement[10], cette seconde approche bénéficie d'initiatives internationales suscitant un engagement accru des gouvernements et des acteurs privés industriels, et profite d'innovations et « technologies de rupture » qui auraient désormais la capacité de « libérer l'avenir énergétique de l'Afrique » (Africa Progress Panel 2017).

[9] Faute d'accès à une énergie moderne, la biomasse traditionnelle (bois transformé ou non en charbon) reste la principale source d'énergie en Afrique sub-saharienne (80% de la consommation). Son utilisation, couplée en ville avec celle des bougies et du pétrole lampant, est à l'origine de problèmes comme la pollution de l'air dans les logements, dont la gravité fait l'objet d'une prise de conscience tardive (Muindi and Mberu 2017).

[10] La question de l'accès à l'électricité a été récemment associée aux questions de développement et de lutte contre la pauvreté. Ainsi, elle ne faisait pas partie des Objectifs du Millénaire pour le Développement définis en 2000 et il faut attendre la conférence RIO+20 en 2012 et les Objectifs du Développement Durable (2015-2030) pour que soit clairement affichée à l'échelle internationale une ambition d'accès universel à l'énergie électrique formulée dans l'objectif 7 (« Accès à une énergie propre à un coût abordable »).

4.2.1. *Disettes et émeutes électriques*

La situation de disette électrique s'explique d'abord par des capacités de production et de distribution insuffisantes. La puissance installée des pays d'Afrique subsaharienne est en 2014 de 90 GW et, sans l'Afrique du Sud, elle tombe à 40 GW. Le sous-dimensionnement et la vétusté des réseaux de distribution viennent en outre aggraver le déficit d'électricité, certains pays ayant même, au cours des années 1990, connu des contractions de leur réseau du fait des guerres ou du manque d'entretien des infrastructures (Eberhard *et al.* 2011 ; Eberhard 2015).

En 2015 le taux d'accès moyen à un service électrique en milieu urbain était de 60% et les infrastructures électriques desservaient en moyenne 20% des localités. Selon les normes internationales, la quantité d'électricité nécessaire pour satisfaire les besoins essentiels d'un ménage de 5 personnes (éclairage, ventilation, communication : téléphone mobile, radio et/ou téléviseur) se situerait autour de 250 kWh par an pour un foyer rural et de 500 kWh pour un foyer urbain (Desarnaud 2016). Les données disponibles évaluent la consommation moyenne d'un Africain (hors Afrique du Sud) à 181 kWh par an (BAD 2017) et indiquent que, même dans les villes en apparence correctement desservies par le réseau, le service électrique n'est fourni que quelques heures par jours, de manière irrégulière et avec des tensions variables, accroissant la dépendance aux groupes électrogènes.

Ce retard infrastructurel du continent et la pauvreté électrique doivent en outre être replacés dans le contexte de sociétés en rapide évolution. Deux grandes forces de changement ont ainsi un impact majeur sur la demande électrique. D'abord, une croissance démographique moyenne soutenue (+2,6%/an) : alors même que le rattrapage constitue en lui-même un défi considérable, il est rendu plus difficile encore par la perspective d'un triplement de la population urbaine d'ici 2030[11]. Ensuite, le chassé-croisé des classes moyennes mondiales (Desjeux 2011) s'accompagne au Sud d'une hausse du pouvoir d'achat et des dépenses de consommation, énergétiques notamment, ainsi que d'exigences accrues envers les gouvernements. S'il est inégal, ce processus est sensible dans de nombreuses villes africaines, régulièrement en proie à des disettes électriques provoquées par des désajustements persistants – voire croissants – entre offres et demandes. Ces disettes ont d'importants coûts économiques et politiques (« émeutes électriques ») et la priorité des autorités publiques est d'augmenter et de sécuriser la fourniture électrique notamment dans les villes.

[11] Le taux de croissance urbaine annuel moyen est de 3,4% selon les estimations des Nations Unies, soit plus que les taux de progression de l'électrification conventionnelle.

Le Sénégal en est une illustration : la crise électrique de 2011, liée à une baisse de la production elle-même provoquée par la situation financière catastrophique de la compagnie nationale Senelec, s'est traduite, dans un contexte de croissance démographique soutenue (+2,7%/an de 2000 à 2016), par une vague de coupures sur plus d'un an. Exaspérées, les populations ont manifesté leur colère dans la rue et de violents mouvements de protestations se sont exprimés à travers le pays et dans la capitale. La réponse politique du gouvernement, à court terme, a porté sur des travaux de maintenance pour améliorer le taux d'utilisation des capacités installées. A moyen terme, elle combine construction de nouvelles centrales à charbon, seules à même, dans les conditions actuelles, de produire du courant bon marché, et développement des énergies solaires (LGE n° 74-2017). Le Nigeria, pourtant premier producteur de pétrole africain, est aussi en quête de solutions rapides alors que le terminal domestique de l'aéroport international de Lagos a été plongé dans le noir en février 2016 et que les étudiants de l'Université de Lagos ont bloqué les routes d'accès à leur principal campus en avril pour protester contre « une alimentation épileptique (sic) en électricité » (LGE n° 62-2016 : 4-5).

4.2.2. *Des besoins d'investissement colossaux*

Pour remédier à ce déficit catastrophique, l'approche traditionnelle repose sur des investissements massifs dans de nouvelles capacités de production centralisées et dans l'extension des réseaux électriques nationaux. Elle vise une modernisation des systèmes électriques pour satisfaire d'emblée un niveau élevé de consommation et de service et parie sur les investisseurs privés pour apporter capital financier et technique sous la forme de partenariats public-privé (Eberhard *et al*. 2016). Cette option s'est toutefois heurtée, jusqu'à présent, à de nombreux obstacles.

La principale raison du sous-dimensionnement chronique des infrastructures électriques tient, selon de nombreux rapports, à la vulnérabilité financière des entreprises du secteur : « the main cause of the slow progress in access expansion in SSA is the poor financial viability of electricity utilities » (Trimble *et al.* 2016 : 7). Tandis que ces entreprises ne peuvent emprunter à des taux abordables, la plupart des gouvernements africains ne sont pas en mesure de financer les projets, et les aides publiques au développement n'ont et ne pourront que très partiellement combler ce déficit. Deux autres sources de financement sont certes apparues ces dernières années : les financements privés indépendants (67 projets en Afrique subsaharienne hors Afrique du Sud depuis 1990), qui demeurent toutefois

concentrés dans un petit nombre de pays[12], et les investissements chinois (30 projets entre 1990 et 2014 dans 16 pays avec cependant une prédominance des projets hydroélectriques de grande envergure[13]) (Eberhard 2015). Il est intéressant de souligner ici que ces investisseurs chinois privilégient le financement de grandes infrastructures énergétiques dans le cadre de politiques explicites d'expansion des systèmes centralisés (OECD, IEA, 2016), répondant en cela à la demande de nombreux gouvernements. Avec plus de dix nouvelles usines hydroélectriques à l'horizon 2020, l'extension du réseau de desserte en basse tension et la construction de réseaux d'interconnexion avec les pays voisins, le plan stratégique de l'Ethiopian Electric Power Corporation (EEPCo) adopté en 2010 est emblématique de ces ambitions (Gascon 2015). Pour le moment néanmoins, en dépit de ces puissantes dynamiques de réseau, l'accès aux financements nécessaires pour améliorer le secteur électrique national reste insuffisant dans la plupart des pays.

Les montants de capitaux indispensables sont à la fois colossaux, difficiles à estimer et plus encore à sécuriser dans un environnement politique et économique instable. La comparaison des études entre elles, qui englobent les unes tous les pays du continent, les autres uniquement ceux d'Afrique subsaharienne, témoigne de la difficulté à estimer correctement les besoins (Trimble *et al*. 2016). Dans le brouillard des projections chiffrées, les données sans doute les plus proches des objectifs fixés sont fournies par *Africa Energy Outlook 2040* pour la mise en œuvre du volet énergie du PIDA (Programme for Infrastructure Development in Africa) : concernant les quatre pools électriques d'Afrique subsaharienne, elles évaluent à US$ 45,6 milliards/an les investissements nécessaires de 2014 à 2040 pour parvenir à un taux moyen d'électrification de 65% (BAD, African Union, NEPAD 2011).

Si l'évaluation des montants à investir est compliquée, leur ventilation par type de projets ne l'est pas moins. Les montants affichés concernent en effet le plus souvent les nouveaux projets sans tenir compte des besoins de rénovation ou de remplacement des réseaux existants. Or les appareils industriels des systèmes électriques africains sont pour partie obsolètes : quand le service existe, il est très coûteux (deux fois plus cher qu'en Amérique latine, trois fois plus qu'en Asie du Sud-Est : Eberhard *et al.* 2011), souvent rationné et de qualité médiocre. En théorie, les politiques d'efficacité énergétique pourraient constituer une solution alternative en libérant des capacités pour raccorder les ménages non desservis tout en améliorant le service de ceux qui sont déjà électrifiés. Selon l'exemple fourni par Desarnaud (2016), un panneau solaire de 40 W permet d'alimenter une lampe à

[12] Principalement Nigeria, Kenya, Ouganda et, plus marginalement, Côte d'Ivoire et Ghana (Eberhard 2015).

[13] 77% des projets.

incandescence de 25 W durant cinq heures ou, avec des appareils plus efficaces, deux LED durant cinq heures ainsi qu'une télévision, un ventilateur, un chargeur de téléphone mobile et une radio durant trois heures. Toutefois, l'auteur souligne aussi que les conditions techniques d'une telle évolution ne sont souvent pas réunies dans les pays africains où les produits électroniques et électroménagers les plus performants sont absents des marchés ou trop coûteux pour une majorité de ménages.

L'objectif d'une électrification *via* les systèmes électriques conventionnels paraît donc irréaliste à court ou moyen terme et les scénarios des principales initiatives énergétiques internationales ne l'envisagent d'ailleurs plus. Si la plupart des experts affirment la nécessité de lancer rapidement des projets énergétiques de grande ampleur, ils sont aussi de plus en plus nombreux à penser un développement électrique également appuyé sur des solutions décentralisées, plus rapides à mettre en œuvre et moins coûteuses (Africa Progress Panel 2017 ; BAD 2017 ; PwC 2017a).

Tel qu'envisagé aujourd'hui, le développement électrique africain pourrait ainsi combiner la consolidation des systèmes nationaux, à partir d'un mix énergétique dépendant des ressources disponibles et des opportunités de financement, et des solutions d'électrification décentralisée associant le plus souvent gazole et sources d'énergies renouvelables. Les premiers sont conçus pour soutenir la croissance économique, les secondes pour favoriser le développement des territoires, officiellement dans les espaces isolés ou de peuplement rural dispersé. Elles y incarnent un schéma d'électrification graduelle dans lequel les premiers kWh, accessibles avec un niveau de service minimal, sont considérés comme décisifs en termes de développement socio-économique.

Dans les documents, on ne trouve aucune allusion à une possible redéfinition du modèle électrique et aux conditions de sa transformation mais plutôt le pari implicite d'une combinaison avantageuse entre ces deux voies d'électrification, avec un partage des territoires et des fonctions sociales de l'électricité.

4.2.3. *EnR et dispositifs décentralisés : une troisième voie pour l'Afrique subsaharienne ?*

Le contexte est favorable au développement massif des énergies renouvelables en Afrique. Le continent dispose en abondance de ressources et les capacités de production potentiellement installables sont évaluées à 10 TW pour le solaire, 350 GW pour l'hydro, 110 GW pour l'éolien, 15 GW pour la géothermie (UNEP 2017). Même si les comparaisons sont difficiles et controversées, des études anticipent que les EnR seront rapidement compétitives. Un rapport de l'Union européenne de 2011

calcule par exemple que les solutions décentralisées fondées sur les énergies renouvelables (solaire et hydro), combinées ponctuellement à l'extension du réseau existant ou à des groupes électrogènes, rendraient possible l'électrification de l'ensemble du continent avec un coût du kilowatt-heure inférieur à 30 centimes d'euro (Monforti 2011).

De fait, les avancées technologiques et la chute des prix de certains matériels, notamment solaires (moins 80% pour les modules photovoltaïques depuis 2009) rendent possible le déploiement d'une production électrique décentralisée compétitive à partir d'énergies renouvelables (IRENA 2016). Les technologies *off-grid* sont en outre rapides à déployer : les ventes de pico-solaires en Afrique sont ainsi passées de 500 000 en 2011 à 11,3 millions en 2015 (Africa Progress Panel 2017). Elles présentent l'avantage de diversifier les ressources de manière flexible, évolutive et multi-scalaire : système individuel, mini-réseau isolé ou interconnecté, réseau national. Modulables, les technologies solaires permettent en outre la combinaison de plusieurs dispositifs pour créer un système correspondant aux besoins et aux capacités de financement du consommateur-producteur : le panneau PV peut alimenter des systèmes décentralisés raccordés aussi bien qu'autonomes ; dans ces derniers, il peut être utilisé seul « au fil du soleil », être couplé à un système de stockage et/ou intégré dans un système hybride associant le plus souvent un groupe électrogène (Pillot 2014).

Pour beaucoup d'analystes, l'avenir électrique africain relèverait donc d'un triple mouvement de transformation : production à bas coût à partir d'énergie fossile pour répondre rapidement aux impatiences des consommateurs urbains, développement des énergies renouvelables dans des installations centralisées raccordées au réseau (géothermie, fermes éoliennes et solaires de grande taille, hydroélectricité) et mobilisant une ingénierie technico-économique de pointe, déploiement accéléré de solutions décentralisées et rustiques de faible capacité, en partie alimentées par des énergies renouvelables, ajustables au pouvoir d'achat des ménages comme aux capacités limitées des acteurs publics et privés locaux. Ce bel agencement dit cependant peu de chose des logiques et résultats des transitions « par le bas », des formes d'autonomie réellement pratiquées par les citadins, des mix énergétiques de proximité.

4.3. Hybridations électriques entre autonomie pragmatique et nouvelles dépendances

La cohérence des visions prospectives ainsi dessinées contraste quelque peu avec les retours de terrain. D'une part, le déploiement des projets est lent et beaucoup ne dépassent pas le stade de l'étude (Buchsenschutz 2016). D'autre part, l'hétérogénéité

des technologies et des sources énergétiques (renouvelables et fossiles), les géographies de leur diffusion, les empilements de solutions décentralisées y compris en présence du réseau, manifestent un désordre apparent éloigné des logiques et intentions affichées. Quels sont les ressorts de cette « dissipation » ? Une approche en termes d'expérimentation électrique fournit des éclairages sur les logiques à l'œuvre.

Renvoyant « à la fois au développement de projets temporaires et à leur mise en œuvre sur des échelles réduites » (Hamman 2016 : 2), la notion d'expérimentation s'inspire ici des travaux de la socio-anthropologie de développement (Lavigne Delville 2011 ; Olivier de Sardan 1995) et nous sert à interroger les projets d'électrification *off-grid* à la fois comme dispositifs d'action et territoires-laboratoires de solutions sociotechniques à éprouver. S'agissant de pays « sous régime d'aide », elle invite à examiner les formes d'intermédiation entre l'univers du projet et l'espace local, l'entremêlement des réappropriations et réinterprétations de l'intervention, les modes d'articulation – ou de désarticulation - entre celle-ci et les politiques publiques (Baron et Lavigne Delville 2015). A son terme, l'expérimentation électrique doit permettre d'identifier les conditions de réalisation de trois objectifs liés : tester des solutions technologiques dans différents environnements ; identifier les marchés prometteurs et les conditions d'élaboration de solutions commerciales auprès de clientèles et territoires cibles ; électrifier les territoires. Elle vise donc à favoriser des processus d'apprentissage localisés, d'une part, à parfaire la connaissance de la chaîne de valeur des solutions électriques décentralisées qui dépendent de maillons disparates et dispersés (fournisseurs de matériels, gestionnaires de services, opérateurs de téléphonie mobile, développeurs d'applications, etc.), d'autre part.

Pensées et appréhendées comme des tests de laboratoire en « plein air », les expérimentations électriques sont inscrites dans des espaces de réception mais, comme tout projet de développement, elles peuvent connaître des débordements[14] (Jacob et Lavigne Delville 2016) et sont exposées à des formes d'appropriation impliquant désarticulation, sélection et « détournement » (Olivier de Sardan 1995). Leurs effets, prometteurs ou indésirables, peuvent alimenter des dynamiques d'expérimentation plus subversives, informelles et indisciplinées, façonnant à leur

[14] En référence aux travaux de Callon sur la sociologie de la traduction, Jacob et Lavigne Delville définissent le débordement comme un processus de remise en cause de la problématisation (façon de poser le problème à traiter et d'y répondre) d'un projet de développement qui éprouve la solidité du réseau des acteurs associés (Jacob et Lavigne Delville 2016).

manière des autonomies électriques échappant aux projets, par exemple dans les espaces urbains.

Dans cette deuxième partie, on interroge ces écarts en décalant le regard et en quête des effets « déportés » des expérimentations. Il s'agit d'explorer les dynamismes sociaux par lesquels le *design* des projets peut être subverti au point que des solutions d'autonomie rurale conduisent à des hybridations électriques urbaines.

4.3.1. *Des expérimentations rurales…*

Dans les milieux ruraux, les solutions individuelles - des lanternes aux kits solaires SHS (*solar home systems*) - ont un incontestable succès. D'abord expérimentées dans le cadre de projets pilotes en Afrique de l'Est, elles sont au cœur de stratégies de construction de marché dans 11 pays africains, dont les principaux sont l'Ethiopie, le Kenya, la Tanzanie, suivis du Nigeria, de l'Ouganda, de la République démocratique du Congo et du Rwanda, où leur déploiement est assuré par de nombreuses entreprises, start-up et géants du secteur (Engie, EDF[15], Schneider Electric, Total, Philips, Orange…), notamment dans le cadre du programme Lighting Africa du Groupe Banque mondiale, qui aurait permis d'équiper environ 11 millions de ménages (Bloomberg NEF and Lighting Global 2016). Les projets reposent sur des combinaisons relativement semblables d'ingrédients. D'abord, une offre technique (le SHS Indigo Duo d'Azuri Technologies diffusé au Rwanda depuis 2013 avec le soutien de USAID comprend par exemple une unité raccordée à un panneau solaire de 2,5W, équipée d'une batterie phosphate-fer-lithium, de deux points lumineux utilisant des LED et d'adaptateurs permettant de charger un téléphone). Ensuite, un réseau local de commercialisation reposant sur des distributeurs du « dernier kilomètre », stratégiques pour l'ensemble de la chaîne de valeur et qui doivent être formés puis épaulés dans leur activité. Enfin, des mécanismes de financement, qui sont divers et peuvent s'appuyer sur le microcrédit, comme proposé par la Fondation Energies pour le Monde au Burkina Faso, ou sur le paiement à l'usage, dit PAYG (pay-as-

[15] Fin 2016, en partenariat avec la société américaine Off-Grid Electric, EDF a créé la société ZECI pour la fourniture d'énergie solaire hors réseau en Côte d'Ivoire. En 2018, EDF, Off-Grid Electric et un industriel ghanéen ont lancé la société ZEGHA et une offre de kits solaires *off grid* au Ghana. Fin 2017, Engie a racheté Fenix International, spécialisée dans les installations solaires domestiques des zones rurales et péri-urbaines en Ouganda et en Zambie, et annonçait vouloir toucher un marché de 20 millions de personnes (*Le Monde de l'énergie* [en ligne], 5 mars 2018, URL : http://www.lemondedelenergie.com/edf-afrique/2018/03/05/).

you-go)[16], facilité par le recours à des plateformes de « mobile money », comme dans les offres Light Lwengo en Ouganda, de la start-up Mahazava à Madagascar ou encore du projet Bright Light au Bénin. Ce dernier, en phase d'expérimentation en 2016, repose sur un partenariat entre un fournisseur importateur national de lampes solaires (ARESS) et un opérateur de téléphonie mobile (MTN Bénin), dont les agents assurent la distribution des équipements et dont le réseau permet l'utilisation de l'outil de paiement Easy Buy[17]. A l'arrière de ce premier front, des circuits informels de vente et réparation d'appareils prolifèrent sur les marchés locaux et amplifient la pénétration de ces dispositifs dans les foyers en réponse aux besoins d'éclairage, de recharge des téléphones, voire de fonctionnement d'une radio et d'une télévision, comme le montrent par exemple une étude au Burkina Faso (Bensch *et al.* 2016) et des observations en Basse Casamance au Sénégal (Francius *et al.* 2017). Selon une étude conduite dans sept pays africains, ces réseaux informels de vente d'équipements génériques ont un rôle décisif dans la « transition silencieuse de l'éclairage », des combustibles les plus usités (pétrole lampant et bougies) vers les torches LED alimentées par piles sèches, désormais vendues dans pratiquement toutes les échoppes (Bensch *et al.* 2015). Bien que s'adressant en principe à des clientèles rurales, ces réseaux sont concentrés dans les villes et les filières d'acheminement organisées à partir de ces dernières (Bloomberg NEF and Lighting Global 2016).

Dans les villages et bourgs, notamment le long des axes de circulation principaux, les solutions collectives - kiosques et mini-réseaux autonomes - sont *a priori* plus adaptées. Les kiosques offrent des services électriques de recharge, d'impression, d'accès à internet, de réfrigération, de télévision/cinéma… souvent couplés à un commerce de produits de base. Il en existe actuellement dans plusieurs pays africains[18] mais leur développement est freiné par un modèle commercial fragile comme le montrent des études au Togo (Galichon et Payen 2017) et à

[16] Système de location-vente permettant, après le versement initial d'une somme modeste pour l'acquisition d'un kit solaire, d'utiliser celui-ci avant d'en devenir propriétaire au moyen de paiements réguliers d'un faible montant. Le système est équipé d'un mécanisme de verrouillage en cas de défaut de paiement. Parmi les leaders de ce marché en Afrique subsaharienne : M-KOPA (Kenya, Tanzanie, Ouganda), Azuri (Rwanda), Off-grid Electric (Tanzanie, Rwanda), Mobisol (Tanzanie), Nova Lumos (Nigeria) (Bloomberg NEF and Lighting Global 2016).

[17] Voir la fiche projet sur le site du GSMA. URL: https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/programme/m4dutilities/bright-lights-for-benin-market-introduction-of-pay-as-you-go-solar

[18] Notamment Ethiopie, Kenya, Madagascar à l'initiative de quelques acteurs (EnDev, HERi Madagascar, KPLC, Solarkiosk, Schneider…). Pour une étude détaillée du modèle, voir : Hartl 2014.

Madagascar (Tavernier and Rakotoniaina 2016). Dans ce dernier pays, HERi Madagascar, entreprise sociale créée en 2011, développe un modèle de kiosques franchisés à des femmes entrepreneurs (44 en janvier 2016). Chaque kiosque est alimenté par 6 panneaux photovoltaïques (capacité totale d'environ 1 kW) et doté de deux batteries, d'un régulateur de charge et d'un onduleur de 450 W permettant de brancher des appareils fonctionnant avec du courant alternatif. Si l'exploitation d'un kiosque semble pouvoir trouver un équilibre financier au bout de deux ans, en revanche l'investissement initial et le fonctionnement d'HERi Madagascar dépendent, pour le moment, d'apports extérieurs (*idem*).

A mi-chemin entre les options individuelles et la connexion au réseau national, le mini-réseau produisant et distribuant localement l'électricité aux utilisateurs finaux est une solution possible dans les centres au peuplement plus dense : outre les besoins domestiques des foyers, ils visent à satisfaire les besoins de fonctionnement d'équipements collectifs et ceux de petites activités économiques. Dans les régions cotonnières du sud malien, l'ONG GERES promeut un modèle de « zone d'activités électrifiée », dans lequel une usine hybride solaire/agrocarburant paysan fournit de l'électricité à un groupe de très petites entreprises interconnectées (salon de coiffure, boulangerie, entreprise de soudure, etc.)[19], parfois en complément d'un mini-réseau desservant les ménages (Béguerie et Pallière 2016). Les plus anciens modèles de mini-réseaux[20], comme en Mauritanie (Munnich 2016), fonctionnent avec des groupes électrogènes au gazole ; les plus récents recourent aux énergies renouvelables, principalement solaires comme dans le nord du Burkina Faso (Fondem 2016), ou à un hybride solaire-gazole pour s'affranchir des problèmes d'intermittence (choix aujourd'hui majoritaire au Mali). Ils peuvent être déployés et gérés par les opérateurs historiques mais le principe d'une gestion privée par des opérateurs sous licence ou déléguée à des concessionnaires (entreprises ou coopératives) est aujourd'hui privilégié. Au Kenya, les mini-réseaux alimentés par groupes électrogènes au gazole de la compagnie nationale KPLC sont ainsi progressivement remplacés par des systèmes hybrides et confiés, depuis la révision juridique et réglementaire de 2016 créant des permis (<3MW) et des licences (>3MW), à des distributeurs privés (l'électricité est alors achetée en gros à KPLC) ou à des producteurs/distributeurs indépendants. Au Mali et au Sénégal, un modèle de Société de Services Décentralisés (SSD), titulaire d'une concession d'électrification pour une durée de 15 à 25 ans renouvelable, a été développé (Heuraux et Houssou 2015). Créée en 2001, la SSD Yeelen Kura a ainsi obtenu de l'Agence Malienne pour le développement de l'Energie Domestique et

[19] Voir le site du GERES. URL: http://www.geres.eu/fr/nos-actions/par-pays/afrique-de-l-ouest/geres-mali

[20] Sur l'histoire de ce modèle, voir : GVEP 2011.

l'Electrification Rurale (AMADER) une autorisation d'exploitation dans 23 communes de la zone cotonnière pour une durée de 15 ans renouvelable. Access, autre SSD malienne, exploite 12 mini-réseaux fournissant de l'électricité domestique et de l'éclairage public, principalement en milieu rural, mais elle développe aussi un projet urbain visant à compléter le réseau national par des installations solaires (GSMA 2017). Des mini-réseaux alimentés par des micro-centrales hydrauliques existent également au Zimbabwe, au Malawi et en Zambie et de nombreux observateurs s'accordent sur l'idée que les mini-réseaux représentent « un marché considérable ». Leur déploiement actuel reste toutefois entravé par l'absence de cadre réglementaire clair, des recettes d'exploitation insuffisantes, un manque général de capacités et surtout d'investissements face à des risques perçus comme trop élevés (Payen *et al.* 2016).

4.3.2. … et des hybridations urbaines

Hormis quelques exceptions, aucune de ces trois solutions décentralisées n'est officiellement conçue pour les villes mais elles y jouent pourtant une partie de leur avenir. D'abord, il faut insister sur le fait que les organisations politico-administratives de nombreux pays conduisent par convention à classer dans le rural des bourgs et petites villes qui sont au premier chef concernés par ces projets d'électrification décentralisée. Ensuite, dans les (plus grandes) villes elles-mêmes, la croissance démographique et l'étalement urbain, la forte augmentation de la demande électrique notamment des classes moyennes et aisées, l'insuffisante capacité et stabilité des réseaux existants comme, plus généralement, la médiocre qualité du service exigent aussi des solutions innovantes. Enfin, les citadins constituent un « marché » attractif pour les produits et kits techniques que les projets peinent à écouler dans les milieux ruraux du fait de la pauvreté[21] plus encore que des aléas de mise en œuvre (Allet 2016). En témoigne l'émergence de marchés locaux de produits solaires génériques, considérés par les acteurs institutionnels comme une

[21] Au Rwanda, les clients Indigo Duo appartiennent à la frange la plus aisée des ménages ruraux, tandis qu'en Ouganda, le segment de marché le plus dynamique porte sur les dispositifs les plus complets vendus sans subvention (cf. dossier « Decentralized electrification and development: initial assessment of recent projects », *Field Actions Science Reports*, second semester 2016. URL: https://factsreports.revues.org/4116). Plus généralement, les travaux conduits par Grimm et Peters dans plusieurs pays africains montrent que les ménages les plus pauvres ne sont pas en mesure de réaliser l'investissement initial nécessaire sans subvention (Grimm and Peters 2016).

concurrence déloyale et inefficace pour les entreprises du secteur[22] (PwC 2017a) mais qui sont aussi, pour de nombreux ménages ruraux, des « investissements judicieux » (Grimm and Peters 2016). Ainsi, au Burkina Faso : « We find that the adoption rate of non-branded SHS [Solar Home System] is considerably higher at 36 percent compared to eight percent for branded SHS. […] We show that non-branded SHSs provide a similar service level as branded solar, that they do not fall behind in terms of consumer satisfaction and durability, and that non-branded products are more cost-effective » (Bensch *et al*. 2016 : 3).

La présence de panneaux photovoltaïques et kits solaires dans les boutiques et sur les marchés urbains montre que les solutions individuelles pénètrent aussi les villes, où les gammes de produits semblent plus étendues (du matériel générique *low cost-low tech* des commerçants informels aux produits de marque des fournisseurs agréés) et dans des associations plus diverses (groupes électrogènes, équipements solaires, batteries). Accompagnant la « transition de l'éclairage » (Bensch *et al*. 2015) et les besoins de recharge des téléphones mobiles dans le monde rural, le recours aux solutions décentralisées est, dans les villes, une réponse à l'essor et à la diversification des demandes mais aussi une parade citadine contre les défaillances des réseaux (Bloomberg NEF and Lighting Global 2016). Les stratégies d'utilisation y sont multiples : économie sur la facture électrique (chauffe-eau solaires, panneaux photovoltaïques), sécurisation de l'approvisionnement en complément d'un service inconstant et de mauvaise qualité (groupe électrogène, batteries, *inverter* nigérian[23]), autoproduction d'électricité en l'absence de réseau (panneaux photovoltaïques non raccordés). L'idée même de solutions décentralisées réservées à la pré-électrification de populations rurales isolées s'en trouve remise en cause, comme le confirme l'expérience des vendeurs d'équipements solaires : la demande est forte, pour des matériels en moyenne plus puissants et plus coûteux, en provenance de ménages urbains raccordés mais confrontés à l'intermittence du service (Bloomberg NEF and Lighting Global 2016). Dans ces contextes urbains, les dispositifs autonomes sont d'abord un palliatif du réseau et un moyen d'accroître rapidement la satisfaction de besoins en hausse.

A travers les pratiques citadines, les systèmes *off-grid* sont ainsi *de facto* confrontés à la coexistence avec le réseau: « It is not difficult to imagine how solar

[22] « The market for cheap, generic pico-solar products – unbranded items or copies of branded ones – is at least as big as the brand-quality market in number of units sold » (Bloomberg NEF and Lighting Global 2016 : 2).

[23] Modules de puissance variable composés d'une ou plusieurs batteries et d'un onduleur, généralement connectés au réseau et éventuellement à des panneaux photovoltaïques permettant de stabiliser et de sécuriser l'approvisionnement électrique.

kits could become an integral part of the daily experience of this population, if local grids fail to meet power demand. Some manufacturers and distributors are already reporting that they target sales in urban areas, even of portable lights. These are most likely used as back-up lights during power outages » (*idem* : 44). Il en résulte deux conséquences pour les services électriques urbains : un empilement des dispositifs et des pratiques comme réponse à l'incertitude et une hybridation durable des configurations d'électrification (Jaglin 2017). Or, ces configurations sont mal appréhendées, tant par les évaluations des expérimentations rurales (Galichon and Payen 2017 ; Payen *et al*. 2016 ; Pillot 2014) que par les études urbaines, centrées sur les modes de « délivrance palliative » (Mpiana Tshitenge 2015) et les « infrastructures incrémentales » (Silver 2014). A quelques exceptions près (Andreasen et MØller-Jensen 2016 ; Tenenbaum *et al.* 2015 ; Smits 2012), reconnaissance des solutions décentralisées et futur du réseau conventionnel sont peu articulés, alors même que la géographie cloisonnée des modes d'accès à l'électricité ne résiste pas à l'examen empirique, qui révèle au contraire des logiques d'intrication entre les univers sociotechniques de production, de distribution et de consommation électrique.

4.3.3. *Off-grid sous contraintes*

Démocratisation des dispositifs *off-grid* et consolidation infrastructurelle doivent donc être appréhendées ensemble, le devenir de l'autonomie électrique se jouant moins en dehors du réseau qu'en interaction avec lui dans des configurations qui recomposent inerties et dépendances.

Dans la majorité des pays africains, les dynamiques d'innovation technologique et d'usage portent ainsi aujourd'hui sur les kits solaires, les panneaux photovoltaïques et les batteries. Les composants sont le plus souvent importés, le *software* est mis au point par des ONG ou des start-up bénéficiant de soutiens extérieurs, les structures de projet sont financées par l'aide internationale. D'importants efforts de recherche et de développement restent nécessaires pour passer à l'échelle supérieure : l'électrotechnique pour fiabiliser les mini-réseaux et dispositifs individuels mais aussi les modèles commerciaux de fourniture sont à inventer dans des pays où les facteurs techniques, socio-économiques et politiques sont instables, surtout aux échelles locales. Capitaux et expertises viendront, on peut l'espérer, mais il faut répondre à l'urgence : les citadins africains aspirent, *maintenant*, à un recours plus systématique à l'électricité pour des usages correspondant à leur vision d'une vie urbaine moderne. Ils se tournent donc vers une solution éprouvée : le groupe électrogène, dont le marché est en forte croissance. Critiqués, à raison, pour leurs nuisances (pollutions atmosphérique et sonore) et

leurs coûts de fonctionnement (dépendant d'un gazole souvent importé), ils ont aussi des avantages inégalés : de toutes tailles et de puissance variable, achetés en magasin ou bricolés à partir de vieux moteurs, ils sont flexibles et peuvent aussi bien répondre aux coupures ponctuelles que compenser une fourniture structurellement insuffisante. Dans toutes les villes, ils sont aujourd'hui un auxiliaire indispensable de la fourniture électrique : la croissance de leur marché serait, en Afrique, supérieure à 10%/an (Douet et Coulibaly 2015) et il y en aurait 60 millions au Nigeria (LGE n° 62 2016). Les évolutions d'ensemble sont toutefois mal connues. On observe, d'un côté, des signes de maturation du marché avec une amélioration des matériels (groupes moins bruyants et plus sobres en carburant, voire « propres » avec récupération des gaz, ou encore associés à des panneaux photovoltaïques dans des solutions hybrides) et, de l'autre, des facteurs d'incertitude liés notamment aux conditions d'approvisionnement en gazole[24] et aux problèmes d'entretien des appareils. La capacité des politiques nationales à offrir des solutions crédibles à la demande électrique, en réseau ou *off-grid*, reste cependant la variable principale de ce marché et, selon Aggreko, *leader* mondial des solutions d'alimentation temporaire gérant plus de 2 000 MW répartis dans 34 pays du continent, les « groupes électrogènes en conteneurs », de toutes tailles, ont un bel avenir devant eux…

Divers facteurs, au-delà du manque de capitaux, conditionnent aussi la réussite – ou l'échec – des solutions décentralisées et font l'objet de trop peu d'attention.

En premier lieu, l'organisation d'un environnement facilitateur requiert des mesures nationales appropriées. Le constat est largement partagé mais les mesures concrètes sont à peine ébauchées dans de nombreux pays, où le volontarisme gouvernemental est insuffisant pour adapter les cadres politiques, réglementaires et tarifaires (Africa Progress Panel 2017). Une intervention politique est aussi nécessaire pour organiser les marchés. Des réformes structurelles ont été engagées pour déréguler partiellement le monopole vertical des *utilities* nationales dans certains pays (Ghana, Nigeria, Ouganda, Kenya) mais, centrée sur le réseau conventionnel, la régulation sectorielle technique (Tenenbaum *et al*. 2016) et commerciale (Beaurain et Amoussou 2016) est en retard. Or, l'émergence de ces nouveaux marchés aiguise les convoitises : « De nombreux importateurs, installateurs et revendeurs se sont lancés dans le domaine mais, faute de règles et de contrôles, du matériel de contrefaçon est disponible à côté du très bon matériel et les acteurs peu scrupuleux sont plus nombreux que les installateurs très bien formés.

[24] Dont le coût dépend notamment de politiques nationales de subvention aux produits pétroliers aujourd'hui contestées, tandis que l'acheminement des carburants reste problématique en raison du manque d'infrastructures routières.

Pour les populations locales, généralement illettrées et mal informées, l'achat de matériel ressemble à un jeu de hasard »[25]. Pour Beaurain et Amoussou (2016), le développement du secteur doit être encadré pour protéger les jeunes entreprises et commerces délivrant du matériel certifié des pratiques « déloyales » de concurrents informels (produits de contrebandes, offres non agréées, etc.). Il doit l'être aussi pour susciter la confiance des ménages par la commercialisation d'équipements bon marché et suffisamment performants, adaptés aux conditions climatiques et environnementales (chaleur, poussière, humidité), robustes et réparables par les artisans locaux. Le rôle des matériels de marque labellisés dans ce processus est toutefois objet de débat (Bensch *et al.* 2016 ; Grimm and Peters 2016).

En deuxième lieu, les difficultés techniques et économiques ne doivent pas être sous-estimées. Etudiant le potentiel de l'énergie photovoltaïque à Djibouti, Pillot souligne ainsi que les systèmes les plus utilisés et les mieux connus dans le monde aujourd'hui sont les systèmes décentralisés raccordés au réseau en contexte d'électrification universelle ; or, ces configurations offrent peu de retours d'expérience appropriés pour les dispositifs photovoltaïques autonomes en Afrique subsaharienne (Pillot 2014). Que des systèmes autonomes individuels soient déjà largement répandus ne constitue qu'une partie de la réponse au problème car leur efficacité est toute relative, selon l'auteur, qui suggère de concentrer les efforts d'expérimentation sur les solutions de stockage couplées à des sources intermittentes en conditions réelles de fonctionnement des systèmes autonomes.

Il est aussi souvent avancé que la diffusion des solutions électriques décentralisées serait liée, en Afrique subsaharienne, à celle de l'écosystème mobile dont le GSMA[26] s'efforce de démontrer les effets leviers : les opérateurs de téléphonie mobile ont en effet besoin d'électricité pour leurs tours, souvent isolées, et peuvent en retour assurer une source de revenus fiable tout en aidant au recouvrement des factures d'électricité grâce aux applications mobiles. Plus généralement, électronique et services mobiles transforment la gestion commerciale (compteurs intelligents, prépaiement, *mobile money*) et sont susceptibles d'élargir considérablement la clientèle en adaptant les services électriques aux personnes non bancarisées du « bas du marché ». Au Mali, où 26% de la population ont accès à l'électricité mais 90% seraient couverts par les réseaux mobiles, une étude suggère

[25] Le Monde de l'énergie [en ligne], 5 septembre 2017, URL : http://www.lemondedelenergie.com/afrique-paiement-usage-solaire-individuel/2017/09/05/

[26] Association internationale d'opérateurs, fabricants et industriels du secteur de la téléphonie mobile. Voir le site du programme « Mobile for Development Utilities ». URL: www.gsma.com/mobilefordevelopment/m4dutilities

ainsi que l'utilisation de l'argent mobile et des technologies GSM M2M[27] permettrait d'accroître la rentabilité et la qualité des mini-réseaux et des installations solaires domestiques gérés par les SSD des régions méridionales (GSMA 2017).

Ces solutions prometteuses doivent toutefois encore être testées et évaluées. A défaut, le manque d'adaptation technique aux configurations locales se solde par les défaillances précoces de nombreuses solutions décentralisées[28] et une maîtrise trop partielle des conditions de réussite des différents modèles (Galichon and Payen 2017 ; Payen *et al.* 2016). Il se manifeste aussi par des décalages entre offres et besoins de consommation des ménages (une mauvaise utilisation des kits sur lesquels sont branchés trop d'appareils a été notée dans certains projets[29]) ou des artisans (dont les machines requièrent plus de puissance et de fiabilité). La « zone d'activités électrifiée » du GERES est ainsi une réponse aux limites constatées des mini-réseaux exploités par la SSD Yeelen Kura, dont l'offre de service, de 16h à 24h, limite fortement les activités des petites entreprises en journée alors même que cette demande latente représente pour la SSD un potentiel commercial inexploité[30]. Des retours d'expérience plus systématiques sont aussi nécessaires pour comparer entre elles les solutions. Ainsi, le modèle de location-vente domine en Afrique de l'Est tandis que les SSD ouest-africaines privilégient la vente de services électriques, arguant que celle-ci est plus susceptible de garantir un usage suffisant à long terme (GSMA 2017). Il faudrait une comparaison rigoureuse des effets respectifs de ces systèmes sur l'inclusion des ménages et la pérennité de leur accès à l'électricité pour informer les choix d'électrification et évaluer les enjeux d'une autonomie à géométrie variable.

Enfin, un troisième ensemble de facteurs, de nature politico-institutionnelle, mérite attention. En ce domaine, les obstacles ne viennent pas seulement « d'en haut », du manque de volonté politique des gouvernements ou de la résistance des sociétés électriques nationales. Le déploiement des solutions décentralisées butte aussi, « en bas », sur des verrous qui tiennent à la faiblesse des initiatives locales, au manque de capacités des acteurs publics, aux résistances de groupes d'intérêts (ceux, par exemple, des importateurs de groupes électrogènes et de carburant au Nigeria). Comme ailleurs (Nadaï *et al*. 2015 ; Christen et Hamman 2015), la mobilisation des ressources territoriales est décisive dans la genèse et la réussite des projets locaux de

[27] De l'anglais machine-to-machine : communication entre appareils.

[28] Selon l'AMADER, le Mali compterait 200 mini-réseaux dont la moitié seulement en état de fonctionnement en 2017 (GSMA 2017).

[29] J. Daniélou (ENGIE Lab), communication personnelle, février 2017.

[30] Voir la fiche projet sur le site du GERES. URL: http://www.geres.eu/images/fiches/fiche-projet-mali-pep-fr-v2.pdf

transition énergétique en Afrique (Beaurain et Amoussou 2016). Or, le caractère transactionnel (Hamman 2016) des processus d'autonomisation et les représentations qu'inspirent les solutions *off-grid* sont peu interrogés. D'un côté, les projets présument que les EnR, en le rendant possible, accomplissent un désir d'autonomie électrique tandis que de nombreux ménages rêvent au contraire de connexion au réseau. Certes, les sources locales d'énergie renouvelable font surgir, en même temps que des espoirs d'électrification rapide, une « nouvelle » question de l'autonomie, de ses conditions et de sa désirabilité mais on sait peu comment celle-ci influence les représentations, géographiquement et socialement situées, des dispositifs *off-grid* et du réseau. D'un autre côté, les projets d'électrification tendent à « figer » la demande des communautés locales dont les dynamismes sociaux, politiques et économiques ne peuvent être réduits à un ensemble stable et objectivable. En dépit des apparences, l'offre électrique autonome n'arrive pas en terrain vierge et s'inscrit dans des offres existantes et des pratiques antérieures, en particulier dans les espaces urbains. Que la substitution soit totale ou partielle, elle implique un aménagement voire un déplacement des normes sociales, elle bouscule des rapports de pouvoir et peut engendrer tensions et résistances. Un projet ne s'inscrit pas d'emblée dans un monde commun, dont les modalités de construction à partir d'intérêts, capacités, visions, temporalités différents, concourent au contraire à sa réussite ou à son échec (Jacob et Lavigne Delville 2016).

En d'autres termes, la territorialisation de l'autonomie électrique résiste à la standardisation des expérimentations électriques : « Mini-grids require a mode of governance, for what is a local public good, that is appropriate to the context and enables collective maintenance management and conflict resolution in the event of disputes about how this common resource is to be shared » (Berthélémy et Béguerie 2016 : 8). Là où les collectifs sont peu structurés, trop conflictuels ou trop hétérogènes, un mini-réseau autonome a peu de chances de fonctionner durablement ; là où les conditions de départ semblent plus favorables, la pérennité d'un mini-réseau dépend souvent de la manière dont il a été conçu, dimensionné et organisé pour faciliter les apprentissages et conforter sa profitabilité (Payen *et al.* 2016). Partout, l'essor des solutions d'électrification décentralisées dépend des modes d'appropriation et de leurs effets sur des sociabilités émergentes, par exemple autour de nouveaux services électriques (espaces partagés de réfrigérateur, télévision-vidéo collective, recharge de téléphone en boutique…).

4.4. Conclusion

En dépit du compartimentage territorial des politiques d'électrification distinguant les villes réticulées des campagnes *off-grid*, des processus d'hybridation

sont à l'œuvre. Il suffit de déambuler dans les villes africaines pour constater que les pratiques sociales, chevauchant les mondes urbains et ruraux, participent aux débordements techniques et géographiques des expérimentations électriques et contribuent à introduire les solutions décentralisées jusque dans les territoires du réseau. Dans ce contexte, l'autonomie promue par les expérimentations électriques paraît à la fois fragile dans ses fondements et mal comprise dans ses implications.

D'abord, les villes étant absentes des projets à la fois comme espaces et comme acteurs, la réflexion sur les transformations à venir se prive d'observatoires particulièrement dynamiques et de laboratoires prometteurs. Elle se prive aussi d'un baromètre politique tant les défaillances des grands réseaux électriques alimentent les impatiences sociales dans de véritables chaudrons urbains (Jaglin and Verdeil 2017).

Ensuite, cette réflexion est mal équipée pour anticiper la manière dont les solutions électriques décentralisées contribuent à remodeler en profondeur la nature du service offert, très loin des systèmes électriques publics monopolistiques qui ont dominé jusqu'à présent mais aussi très différents de l'autonomie pensée pour le monde rural. Il paraît au contraire crucial de confronter les attendus des expérimentations électriques à leurs résultantes réelles et d'approfondir, par des recherches de terrain, la compréhension de leurs effets de transformation des systèmes électriques et de redéfinition des rôles respectifs du réseau et du hors réseau.

Enfin, considérer les solutions autonomes dans un schéma de pré-électrification exclusif plutôt que dans des configurations de co-fourniture avec le réseau réduit le pouvoir de ré-imaginer ce que pourrait être la ville électrique de demain. Dans « Afrique 3.0 l'autre eldorado technologique », PwC divulgue sa vision d'une transformation radicale du continent africain par l'électricité solaire et le numérique (PwC 2017b). A quelle autonomie cette révolution peut-elle conduire ? Celle de territoires isolés aux trajectoires involutives ou celle de sociétés aux « capacités » accrues, combinant entre elles les ressources d'une autonomisation électrique, d'une connectivité toujours plus grande et d'une dépendance maîtrisée au(x) réseau(x) ? Où, sinon dans les villes, ce second scénario est-il le plus probable ? Dans d'autres contextes, Daniélou et Ménard formulent l'hypothèse que « conférer une autonomie énergétique temporaire à un quartier à l'aide d'une forte densité de panneaux photovoltaïques, comme c'est le cas dans certains projets, devient une condition de survie du réseau de distribution de l'électricité » (2014 : 4). L'idée n'est pas sans pertinence pour l'Afrique subsaharienne. Flexibles, moins coûteux et risqués que les politiques d'électrification nationales fondées sur de grandes infrastructures en réseau, les dispositifs d'électrification autonomes apportent des (éléments de)

réponses au nécessaire développement économique et humain d'un continent où la croissance démographique pose des défis considérables à l'aménagement des territoires. Ils proposent aussi des (éléments de) réponses aux besoins de refonte des modes d'action en contexte de pénurie financière et de décalage entre une offre prédéfinie, conçue et planifiée « d'en-haut », et des demandes urbaines hétérogènes. Paradoxalement, les expérimentations électriques rurales inspirent ainsi des solutions nouvelles pour les villes, où les réseaux sont en sous-capacité, mais en démocratisant les dispositifs autonomes, elles y favorisent aussi une crypto-hybridation des systèmes électriques centralisés. Reconnaître ces crypto-hybridations comme parties prenantes de solutions pérennes, en repensant les relations entre réseaux et autonomie dans les espaces urbanisés, ouvrirait de nouveaux possibles.

4.5. Bibliographie

AFRICA PROGRESS PANEL, *Lumière Puissance Action - Electrifier l'Afrique - Résumé du rapport*, Africa Progress Panel, s.l., 2017.

ALLET M., « Solar Loans through a partnership approach: lessons from Africa », *Field Actions Science Reports*, Second semester, p. 128-137, 2016.

ANDREASEN M. H., MØLLER-JENSEN L., « Beyond the networks: Self-help services and post-settlement network extensions in the periphery of Dar es Salaam », *Habitat International*, n° 53, p. 39-47, 2016.

BAD, *AfDB Group's Strategy for the New Deal on Energy for Africa 2016–2025*, BAD, Abidjan, 2017.

BAD, AFRICAN UNION, NEPAD, *Africa Energy Outlook 2040. Study on Programme for Infrastructure Development in Africa*, Sofreco led Consortium for AfDB, Abidjan, 2011.

BARON C., LAVIGNE DELVILLE PH., « Introduction », dans E. VALETTE, C. BARON, F. ENTEN *et al*. (dir.), *Une action publique éclatée ?,* GRET/LEREPS, Nogent sur Marne, 2015.

BEAURAIN CH., AMOUSSOU M. B., « Les enjeux du développement de l'énergie solaire au Bénin. Quelques pistes de réflexion pour une approche territoriale », *Mondes en développement*, n° 176, p. 59-76, 2016.

BEGUERIE V., PALLIERE B., « Can rural electrification stimulate the local economy? Constraints and prospects in South-East Mali », *Field Actions Science Reports*, Second semester, p. 20-25, 2016.

BENSCH G., PETERS J., SIEVERT M., The Lighting Transition in Africa – From Kerosene to LED and the Emerging Dry-Cell Battery Problem, RWI (Ruhr Economic Papers #579), Essen, 2015.

BENSCH G., GRIMM M., HUPPERTZ M., LANGBEIN J., PETERS J., Are Promotion Programs Needed to Establish Off-Grid Solar Energy Markets? Evidence from Rural Burkina Faso, RWI (Ruhr Economic Papers #653), Essen, 2016.

BERTHELEMY J-C., BEGUERIE V., « Introduction. Decentralized electrification and development: initial assessment of recent projects », *Field Actions Science Reports*, Second semester, p. 4-9, 2016.

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE, LIGHTING GLOBAL, Off-grid solar market trends report 2016, International Finance Corporation, Washington, 2016.

BRIDGE G. et al., "Geographies of energy transition: Space, place and the low-carbon economy", Energy Policy, n° 53, p. 331–340, 2013.

BUCHSENSCHUTZ M., Développement du solaire et de l'éolien en Afrique subsaharienne : comment faire sauter les verrous ?, blog Secteur Privé & Développement animé par Proparco, 2016.

CHOPLIN A., PLIEZ O., *La mondialisation des pauvres. Loin de Wall Street et de Davos*, Seuil, Paris, 2018.

CHRISTEN G., HAMMAN PH., *Transition énergétique et inégalités environnementales : Énergies renouvelables et implications citoyennes en Alsace*, Presses Universitaires de Strasbourg, Strasbourg, 2015.

DANIELOU J., MENARD F., « L'empire du réseau », *Métropolitiques [en ligne]*, 3 novembre 2014. URL : http://www.metropolitiques.eu/L-empire-du-reseau.html.

DESARNAUD G., Électrifier durablement l'Afrique et l'Asie, IFRI, Paris, 2016.

DESJEUX D., Le chassé croisé des classes moyennes mondiales ou la consommation comme analyseur de la nouvelle donne internationale, 2011. URL: http://www.argonautes.fr/2011-04-ddesjeux-classe-moyenne-mondiale-le-chasse-croise/

DOUET M., COULIBALY N., « Énergie : en Afrique, les groupes électrogènes carburent à la crise », *Jeune Afrique*, 5 août 2015.

EBERHARD A., « Garantir l'accès à l'électricité en Afrique : les défis à relever en matière de financement et de réformes », *Revue d'économie du développement*, n° 23(3), p. 43-53, 2015.

EBERHARD A., GRATWICK K., MORELLA E., ANTMANN P., *Independent Power Projects in Sub-Saharan Africa. Lessons from Five Key Countries*, The World Bank, Washington (DC), 2016.

EBERHARD A., ROSNES O., SHKARATAN M., VENNEMO H., *Africa's Power Infrastructure. Investment, Integration, Efficiency*, The World Bank, Washington (DC), 2011.

FONDEM, 10 centrales solaires pour 40 000 ruraux dans la région nord du Burkina Faso, Fondem, Paris, 2016.

FRANCIUS R., TROMPETTE P., CHOLEZ C., « Lampes solaires, kit, batteries… Les nouveaux marchés de l'électrification rurale en Afrique », L'archicube, n° 22, p. 65-72, 2017.

GALICHON I., PAYEN L., Energy Acess in Rural Togo : The Relevance of the Energy Kiosk Solution, ENEA, Paris, 2017.

GASCON A., « L'Éthiopie des « 15 Glorieuses », moteur de l'Afrique orientale. Entre recherche de leadership et fragilités », *Afrique contemporaine*, n° 1/253, p. 37-51, 2015.

GRIMM M., PETERS J., « Solar off-grid markets in Africa. Recent dynamics and the role of branded products », *Field Actions Science Reports*, Second semester, p. 160-163, 2016.

GSMA, Le potentiel de la téléphonie mobile pour l'accès à l'énergie en milieu rural au Mali, GSMA, London, 2017.

GVEP, The history of mini-grid development in developing countries, Policy Briefing, September 2011.

HAMMAN P., « Durabilité et lien social : transitions et transactions dans l'expérimentation », *SociologieS [En ligne]*, mis en ligne le 16 juin 2016. URL: http://sociologies.revues.org/5384

HARTL J. M., The Energy Kiosk Model for Electrification. Status Quo and Future Strategies, Master thesis, Technico Lisboa, 2014.

HEURAUX CH., HOUSSOU J-C., Les Sociétés de Service Décentralisés : des partenariats novateurs pour électrifier les campagnes africaines, Secteur privé & Développement, blog animé par Proparco, 19 janvier 2015. URL: https://blog.secteur-prive-developpement.fr/2015/01/19/les-societes-de-service-decentralises-des-partenariats-novateurs/

ICA-CONSORTIUM POUR LES INFRASTRUCTURES EN AFRIQUE, Tendances du financement des infrastructures en Afrique - 2016, BAD, Abidjan, 2017.

IRENA, Solar PV in Africa: Costs and Markets, IRENA, 2016. URL: http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Solar_PV_Costs_Africa_2016.pdf

JACOB J-P., LAVIGNE DELVILLE PH., Comprendre la trajectoire des interventions de développement [Rapport de recherche], AFD-IRD-IHEID-APAD, Paris, 2016.

JAGLIN S., « Politiques d'infrastructures en Afrique subsaharienne : le réseau est-il soluble dans la transition urbaine ? », dans K. CHATZIS, G. JEANNOT, V. NOVEMBER et P. UGHETTO (dir.), *Du béton au numérique, le nouveau monde des infrastructures*, Éditions PIE Peter Lang SA, Bruxelles, 2017.

JAGLIN S., DUBRESSON A., *Eskom. Electricity and Technopolitics in South Africa*, UCT Press, Cape Town, 2016.

JAGLIN S., VERDEIL E., « Emerging countries, cities and energy: questioning transitions », dans S. BOUZAROVSKI, M. PASQUALETTI and V. CASTAN BROTO (dir.), *The Routledge Research Companion to Energy Geographies*, Routledge, London & New York, 2017.

LAVIGNE DELVILLE P., Vers une socio-anthropologie des interventions de développement comme action publique, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches Université Lyon II, 2011.

LGE-Lettre Géopolitique de l'Electricité, n° 62, avril 2016.

LGE-Lettre Géopolitique de l'Electricité, n° 74, avril 2017.

MONFORTI F. (dir.), Renewable energies in Africa: Current knowledge, European Union, Luxembourg, 2011.

MPIANA TSHITENGE J.-P., « Privatisation par le bas du réseau électrique de la SNEL dans la périphérie de la ville de Kinshasa », dans J. BOGAERT et J-M. HALLEUX (dir.), *Territoires périurbains : Développement, enjeux et perspectives dans les pays du Sud*, Les Presses agronomiques de Gembloux. Gembloux (Belgique), 2015.

MUINDI K., MBERU B., « Invisible and ignored: air pollution inside the homes of Nairobi's residents », *The Conversation*, 16 août 2017. URL: https://theconversation.com/invisible-and-ignored-air-pollution-inside-the-homes-of-nairobis-residents-81109

MUNNICH D., « CDS: a case of autonomous water and energy networks », *Field Actions Science Reports*, Second semester, p. 12-19, 2016.

NADAÏ A., LABUSSIERE O., DEBOURDEAU A., REGNIER Y., COINTE B., DOBIGNY L., « French Policy Localism: Surfing on 'Positive Energie Territories' (Tepos) », *Energy Policy*, n° 78, p. 281–29, 2014.

OECD, IEA, Boosting Power Sector in Sub-Saharan Africa. China's Involvement, OECD/IEA, Paris, 2016.

OLIVIER DE SARDAN J.-P., Anthropologie et développement. Essai en socio-anthropologie du changement social, APAD-Karthala, Paris, 1995.

PAYEN L., BORDELEAU M., YOUNG T., Developing Mini-grids in Zambia: How to build sustainable and scalable business models?, ENEA/Practical Action, Paris, 2016.

PILLOT B., Planification de l'électrification rurale décentralisée en Afrique subsaharienne à l'aide de sources renouvelables d'énergie : le cas de l'énergie photovoltaïque en République de Djibouti, Thèse de doctorat, Université de Corse Pascal Paoli, Corte, 2014.

PWC, Solutions *off-grid* : quelles perspectives en Afrique ? PricewaterhouseCoopers Advisory, 2017a.

PWC, Afrique 3.0 l'autre eldorado technologique, Décryptages #2, Mars-Avril, 2017b.

SILVER J., « Incremental infrastructures: Material improvisation and social collaboration across post-colonial Accra », *Urban Geography*, n° 35(6), p. 788–804, 2014.

SMITS M., « The Benefits and Complexities of Distributed Generation: Two Energy Trajectories in Laos and Thailand », *Forum for Development Studies*, n° 39/2, p. 185–208, 2012.

TAVERNIER L., RAKOTONIAINA S., « HERi Madagascar: upscaling the energy kiosk concept », *Field Actions Science Reports*, Second semester, p. 68-79, 2016.

TENENBAUM B., GREACEN C., SIYAMBALAPITIYA T., KNUCKLES J., *Quand la lumière vient d'en bas. Comment les petits producteurs d'électricité et les mini-réseaux peuvent promouvoir l'électrification rurale et les énergies renouvelables en Afrique*, Banque mondiale, Washington, 2015.

TRIMBLE C., KOJIMA M., PEREZ ARROYO I., MOHAMMADZADEH M., Financial Viability of Electricity Sectors in Sub-Saharan Africa. Quasi-Fiscal Deficits and Hidden Costs, World Bank Group/Energy and extractives Global Practice Group (Policy Research Paper 7788), Washington, 2016.

UNEP, *Atlas of Africa Energy Resources*, United Nations Environment Programme, Nairobi, 2017.