



# Electrification latérale

*VERS UN NOUVEAU MODELE D'ELECTRIFICATION POUR L'AFRIQUE*

1er mai 2018



## TABLE DES MATIERES

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Pourquoi ? Nécessité d'un nouveau modèle d'électrification pour l'Afrique</b>    | <b>6</b>  |
| 1.1. <i>Contexte</i>   | 6         |
| 1.2. <i>Problématique</i>  | 8         |
| 1.3. <i>Panorama de l'accès à l'électricité en Afrique</i>                             | 10        |
| <b>2. Quoi ? Le modèle d'électrification latérale</b>                                  | <b>21</b> |
| 2.1. <i>Une approche technologique progressive</i>                                     | 21        |
| 2.2. <i>Une approche organisationnelle collaborative</i>                               | 24        |
| 2.3. <i>Une approche marketing exhaustive</i>  | 29        |
| <b>3. Comment ? Mise en œuvre du modèle d'électrification latérale</b>                 | <b>32</b> |
| 3.1. <i>Innovations matérielles</i>  | 32        |
| 3.2. <i>Innovations de modèle d'affaires</i>   | 39        |
| 3.3. <i>Innovations logicielles</i>  | 41        |
| 3.4. <i>Perspectives d'évolution des nano réseaux</i>                                  | 42        |
| <b>4. Qui ? Parties prenantes du modèle d'électrification latérale</b>                 | <b>45</b> |
| 4.1. <i>Les bailleurs de fonds internationaux de l'aide au développement</i>           | 45        |
| 4.2. <i>Les pouvoirs publics nationaux</i>   | 47        |
| 4.3. <i>Les collectivités territoriales</i>  | 48        |
| 4.4. <i>Les sociétés publiques d'électricité</i>                                       | 50        |
| 4.5. <i>Les industriels internationaux de l'énergie</i>                                | 50        |
| 4.6. <i>Le secteur privé local (hors énergie)</i>                                      | 51        |
| <b>5. Quand ? Feuille de route de déploiement du modèle d'électrification latérale</b> | <b>56</b> |
| 5.1. <i>Conditions d'un déploiement à très grande échelle</i>                          | 56        |
| 5.2. <i>Feuille de route de déploiement</i>  | 58        |
| <b>6. Combien ? Coûts de déploiement du modèle d'électrification latérale</b>          | <b>62</b> |
| 6.1. <i>Coûts d'investissement pour les opérateurs</i>                                 | 62        |
| 6.2. <i>Coûts d'exploitation pour les opérateurs</i>                                   | 65        |
| 6.3. <i>Coûts pour les usagers</i>   | 66        |
| <b>A. Annexes méthodologiques</b>  | <b>69</b> |
| A1. <i>Liste des personnes interrogées dans le cadre de l'étude</i>                    | 69        |
| A2. <i>Bibliographie</i>   | 71        |
| A3. <i>Table des Figures</i>   | 73        |

## INTRODUCTION

La présente étude s'inscrit dans le thème n°2 de l'appel à projet « Le Futur de l'énergie » lancé par la Fondation Tuck en Février 2017 : Systèmes de gestion intelligente de l'énergie ; économie et critères de sélection.

Les systèmes intelligents de gestion de l'énergie sont souvent considérés comme des solutions technologiques destinées à améliorer la fiabilité, la flexibilité, l'efficacité, la qualité et la durabilité des infrastructures électriques matures des pays développés.

L'originalité de cette étude est de se concentrer sur les solutions que les systèmes intelligents de gestion de l'énergie peuvent offrir aux enjeux énergétiques particuliers des pays africains aux infrastructures électriques sous-développées dans lesquels l'extension de la couverture électrique (ou « accès à l'énergie ») est le défi le plus urgent. Ainsi, l'étude vise à démontrer comment les systèmes intelligents de gestion de l'énergie peuvent constituer un outil puissant pour soutenir le développement durable de l'accès à l'électricité en Afrique d'une manière cohérente avec le contexte environnemental, social et économique local.

Libérer le plein potentiel de transformation des systèmes intelligents de gestion de l'énergie en Afrique est un enjeu sociétal autant que technologique. L'étude explorera donc ces deux dimensions en proposant de nouveaux concepts dans ce domaine, examinant leurs apports par rapport aux pratiques actuelles et testant leur pertinence d'un point de vue industriel et sociétal à travers une combinaison de revue bibliographique, de consultations de parties prenantes et de retour d'expériences de terrain dans le contexte malgache où la société Nanoé expérimente un nouveau modèle d'électrification.

La conviction des auteurs de l'étude est que, comme les technologies de communication mobile ont offert à l'Afrique une voie de développement des infrastructures de télécommunication différente de celle suivie par la plupart des pays développés, les systèmes intelligents de gestion de l'énergie pourraient ouvrir la voie à un nouveau modèle de développement d'infrastructures électriques en Afrique à la fois plus réaliste et plus ambitieuse que les pratiques actuelles.

L'ambition de l'étude est d'explorer une telle voie de manière holistique et systémique, en mettant l'accent sur la définition de l'« intelligence » requise pour impulser un développement rapide, pérenne avec une dimension sociale d'infrastructures électriques du XXIème siècle décentralisées, décarbonées et intelligentes sur le continent africain.

# Résumé exécutif

## RESUME EXECUTIF

L'électrification du continent africain est l'un des plus importants enjeux industriels, social et environnemental du début du XXIème siècle.

Les limites des approches actuelles d'électrification, divisées entre les solutions de réseaux électriques et les solutions d'électrification individuelles appellent l'émergence d'un nouveau modèle d'électrification à la fois plus réaliste et plus ambitieux.

Les contours d'un modèle innovant, baptisé « électrification latérale », sont définis en détail dans la présente étude. Son ambition est de répondre à la fois à l'enjeu de court-terme d'accès rapide de l'ensemble de la population africaine à un service électrique de base et à l'enjeu de long-terme de construction d'une infrastructure électrique du XXIème siècle, décarbonée, décentralisée et intelligente, à même d'accompagner le développement durable du continent.

Ce modèle, s'appuyant sur les énergies renouvelables, des systèmes intelligents de gestion de l'énergie et l'entrepreneuriat local repose sur :

- **Une approche technologique** basée sur un processus de construction progressive d'infrastructures électriques ultra-décentralisées par diffusion de briques élémentaires autonomes de production, stockage et distribution d'électricité délivrant initialement un service électrique limité aux besoins domestiques essentiels des populations hors réseau (éclairage, recharges de téléphone, multimédia, etc), et intégration progressive de ces briques élémentaires au sein de réseaux électriques d'équilibrage plus étendus pour suivre de manière économique l'augmentation naturelle de la densité de demande électrique et desservir de nouveaux usages (réfrigération, force motrice, etc).
- **Une approche organisationnelle** visant à faire émerger en Afrique une industrie électrique horizontale et collaborative composée d'une multitude de petits opérateurs locaux indépendants travaillant de manière coordonnée à la construction et l'exploitation d'infrastructures électriques de petites tailles coagulant progressivement.
- **Une approche marketing** caractérisée par une offre commerciale axée, ni sur la vente de matériel (à l'instar du modèle d'électrification par systèmes électriques individuels vendus cash ou en leasing) ni sur la vente d'électricité (à l'instar du modèle d'électrification par réseau vendant des kwh) mais sur la vente de service électrique.

Le déploiement de ce modèle d'électrification repose sur une combinaison d'innovations matérielles (systèmes intelligents de gestion de l'énergie), d'innovations logicielles (applications de supervision et de pilotage), et d'innovations de modèles d'affaires. Les solutions développées par la société Nanoé qui expérimente actuellement ce modèle dans le nord de Madagascar sont présentées en détail dans le corps de ce document.

Son déploiement à très grande échelle ne sera toutefois possible que si ce modèle parvient à fédérer l'ensemble des parties prenantes de l'électrification de l'Afrique : les bailleurs de fonds internationaux, les pouvoirs publics locaux et collectivités territoriales, les sociétés publiques d'électricité, les industriels internationaux de l'énergie, le secteur financier et les autres acteurs économiques. L'analyse des positionnement et intérêts de chacun de ces acteurs démontre que ce modèle d'électrification pourrait représenter une opportunité pour la majorité d'entre eux.

Ainsi, la force de ce modèle résidera dans sa capacité à fédérer l'ensemble de ces acteurs en démontrant la plus-value de cette approche par rapport aux solutions d'électrification tentant de se déployer sur le continent africain. Les premières expérimentations de terrain menées à Madagascar suggèrent qu'elle pourrait représenter une alternative plus répliquable, plus économique, mieux adaptée et porteuse de plus d'impacts sociaux et environnementaux que les pratiques actuelles.

1. Nécessité d'un nouveau modèle d'électrification pour l'Afrique

POURQUOI ?

# 1. POURQUOI ? NECESSITE D'UN NOUVEAU MODELE D'ELECTRIFICATION POUR L'AFRIQUE

## 1.1. CONTEXTE

A l'origine de la conviction qu'un nouveau modèle d'électrification pour l'Afrique est indispensable se trouve la volonté de tenter d'apporter une réponse à deux enjeux sociaux fondamentaux :

- L'accès à l'électricité en Afrique sub-saharienne<sup>1</sup>,
- L'accès à l'emploi des jeunes en Afrique sub-saharienne.

Ces deux enjeux correspondent à 2 des 17 objectifs de développement durable de l'agenda 2030 de l'ONU<sup>2</sup>:

- **Objectif n°7** : Garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables, modernes et abordables ;
- **Objectif n°8** : Promouvoir croissance économique soutenue, plein emploi productif et travail décent pour tous.

### 1.1.1. ACCES A L'ELECTRICITE

#### 1.1.1.1. Le problème

**Plus de 650 millions de personnes (soit plus de 7 personnes sur 10)<sup>3</sup>** vivent encore aujourd'hui sans électricité en Afrique et ce chiffre est susceptible de croître de manière significative au cours des prochaines années, la population africaine devant doubler d'ici 2050. Chaque année au rythme actuel, ce sont 10 millions d'Africains supplémentaires qui n'ont pas accès à l'électricité.



*Figure 1- Exemple de village rural africain*

L'Afrique représente à elle seule la moitié de la population mondiale n'ayant pas accès à l'électricité et devrait en représenter les 2/3 à l'horizon 2030.

Si des disparités importantes existent entre pays, la carte ci-dessous met en évidence le fait que le taux d'accès à l'électricité est inférieur à 75% dans tous les pays d'Afrique sauf un, inférieur à 50% dans la majorité d'entre eux et inférieur à 25% dans plus de la moitié d'entre eux.

<sup>1</sup> Dans la suite du document, le terme « Afrique » fera référence à l'Afrique Subsaharienne hors Afrique du Sud.

<sup>2</sup>Source :ONU 17 objectifs pour le développement durable de l'agenda 2030 <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/>

<sup>3</sup> Sources : données 2015 de l'Agence Internationale de l'Energie et de la Banque Mondiale

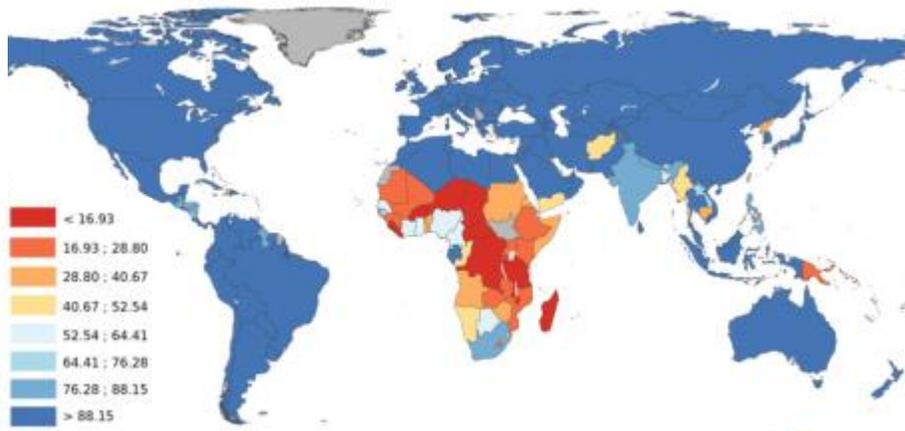


Figure 2 - Part de la population ayant accès à l'électricité (en %)<sup>4</sup>

#### 1.1.1.2. Les conséquences

Faute d'accès à un service énergétique moderne, la grande majorité des africains dépend ainsi entièrement des énergies traditionnelles :

- De bois pour se nourrir et se chauffer, avec un impact important sur leur santé et la déforestation,
- De bougies et de lampes à pétrole coûtant cher, éclairant mal, et dégageant des fumées toxiques ;
- De piles pour les lampes torches, la radio ou la télévision coûtant également très chères au regard de l'énergie fournie et dont les déchets sont particulièrement nocifs pour l'environnement.

Ainsi, l'accès à une électricité d'origine renouvelable est **une urgence** :

- **Economique** : baisse des coûts pour les ménages par rapport aux énergies traditionnelles pour un meilleur service, amélioration de la productivité (pour les artisans, c'est la possibilité de travailler au-delà des heures diurnes et d'améliorer leur productivité grâce à l'usage de force

motrice ; Pour les commerçants, c'est la possibilité d'offrir des produits frais et de rester ouvert plus tard le soir).

- **Sociale** : préservation de la santé des usagers, amélioration des conditions de vie (énergie accessible à domicile et sans effort, accès à l'information et à la culture par la radio ou la télévision, sécurité liée à l'éclairage extérieur), amélioration des conditions d'études, de travail et de soins (électrification des écoles et centres de santé, temps d'étude à la maison pour les enfants), etc
- **Environnementale** : limitation du changement climatique (diminution de l'usage de combustibles fossiles), de la pollution (absence de risque de contamination de l'air, des sols ou des eaux) et de la déforestation.

### 1.1.2. ACCES A L'EMPLOI

#### 1.1.2.1. Le problème

Les jeunes de moins de 35 ans représentent en Afrique sub-saharienne plus des deux tiers de la population. Alors que, dans le reste du monde, la population vieillit, la jeunesse de la population africaine pourrait représenter un énorme atout économique pour le continent. Pourtant, ces derniers sont majoritairement exclus des processus économiques. Le chômage frappe durement les jeunes diplômés alors que les non diplômés sont touchés par le sous-emploi, ou occupent des emplois largement informels et mal rémunérés.

Avec près de **12 millions de jeunes**<sup>5</sup> qui arriveront chaque année sur le marché du travail africain, relever le défi de l'emploi des jeunes représente un des plus grands enjeux du continent africain au cours de la prochaine décennie.

#### 1.1.2.2. Les conséquences

Les conséquences de l'absence de perspectives professionnelles pour les jeunes africains sont multiples :

<sup>4</sup> Source : Données Banque Mondiale, 2012.

<sup>5</sup> Source : L'emploi des jeunes en Afrique Subsaharienne, Rapport Banque Mondiale, 2014.

- **Menaces sur la cohésion sociale** : le sentiment généralisé d'être une « génération perdue » attise le ressentiment de la jeunesse et l'agitation sociale<sup>6</sup>.
- **Migrations** : le manque de perspectives économiques est la première cause de migrations infranationales (exode rural), intra-africaines et internationales (vers l'Europe en particulier).
- **Insécurité** : selon une enquête réalisée par la Banque mondiale<sup>7</sup>, environ 40% de ceux qui rejoignent des mouvements rebelles et terroristes seraient des jeunes motivés par le manque d'emplois.

Le graphe ci-dessous, issu du rapport sur l'emploi des jeunes en Afrique subsaharienne de la Banque Mondiale, illustre l'évolution projetée de la structure de l'emploi en Afrique à l'horizon 2020 et met en évidence le fait que l'emploi informel restera vraisemblablement la norme.

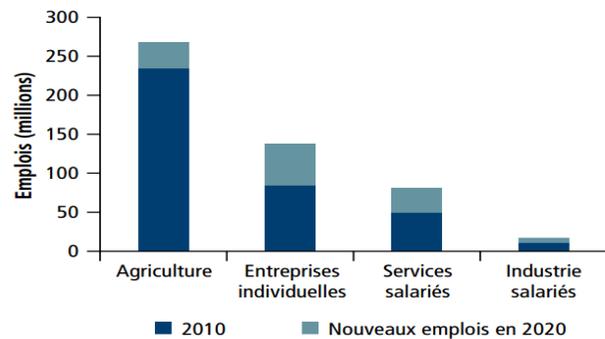


Figure 3 - Structure de l'emploi par secteur en Afrique à horizon 2020

Des millions d'emplois productifs et bien rémunérés devront donc être créés pour stimuler la croissance économique, réduire de façon significative la pauvreté et promouvoir une prospérité partagée en Afrique.

## 1.2. PROBLEMATIQUE

La conviction à l'origine de cette étude est qu'il est possible de développer conjointement l'accès à l'électricité et à l'emploi en Afrique en y bâtissant une infrastructure électrique du XXIème siècle à 2 conditions :

- Accepter le fait que le modèle d'électrification occidentale du XXème siècle est peu répliquable dans le contexte socio-économique africain et peu adapté aux enjeux énergétiques actuels et futurs du continent.
- Concevoir un modèle d'électrification du XXIème siècle s'appuyant sur des solutions technologiques et organisationnelles plus modernes et plus adaptée à ce contexte et ces enjeux.

### 1.2.1. LES LIMITES DU MODELE D'ELECTRIFICATION DU XXEME SIECLE

#### 1.2.1.1. Un modèle peu adapté au contexte socio-économique africain

Dans l'ensemble des pays aujourd'hui développés, l'accès généralisé à l'électricité a été réalisé grâce au développement de gigantesques réseaux électriques couvrant la totalité du territoire et conçus pour transporter et distribuer l'électricité produite par de grandes unités de production d'électricité centralisées jusqu'aux centres urbains les plus denses et aux zones rurales les plus reculées.

De tels programmes de développement d'infrastructures électriques « du haut vers le bas » reposant sur une planification et des investissements publics massifs à l'échelle nationale n'ont pu être réalisés que dans les pays où capacité financière publique et stabilité politique étaient durablement réunies et où la densité de la demande en énergie était d'emblée importante (soit du fait d'une grande concentration humaine, soit du fait de la présence initiale de processus industriels fortement consommateurs d'énergie).

De telles conditions ne sont malheureusement pas réunies dans les pays où vivent aujourd'hui la plupart des populations non électrifiées et ne le seront vraisemblablement toujours pas dans la majorité d'entre eux dans un avenir proche.

<sup>6</sup> Source : 51<sup>ème</sup> session de la commission du développement social, Organisation Internationale du Travail, 2013.

<sup>7</sup> Source: *Conflit, Sécurité et Développement, Rapport sur le développement dans le monde*, Banque Mondiale, 2011.

Si ce modèle montre chaque jour ses limites dans les pays les moins avancés d'Afrique, c'est qu'il se heurte à un obstacle économique majeur : la durée du temps de retour sur investissement dans des infrastructures dans un environnement économique risqué.

La réalisation de tels investissements au temps de retour sur investissement très long (15 à 20 ans) se heurte à des obstacles insurmontables dans les états fragiles qu'ils soient portés par le secteur public ou par le secteur privé :

- Portés par le secteur public, ceux-ci sont inenvisageables dans les états très endettés ou instables en raison de la faiblesse de leurs ressources budgétaires, la capacité limitée de planification de leurs administrations, et l'horizon de court-terme de leurs dirigeants politiques ;
- Portés par le secteur privé, de tels investissements s'accompagnent inévitablement de corruption et d'ingérences politiques de la part de multinationales soucieuses de sécuriser quoi qu'il en coûte leurs investissements dans la durée mais aussi d'inefficacités économiques, sociales et environnementales majeures liées aux faibles capacités de contrôle et régulation de leurs activités par les administrations locales.

Force est de constater que si la réplique du modèle d'électrification du XX<sup>ème</sup> siècle ne fait face à aucun obstacle technique, celui-ci se montre incapable depuis plusieurs dizaines d'années déjà de composer avec le contexte politique, social et économique de la majorité des états africains<sup>8</sup>.

### 1.2.1.2. Un modèle peu adapté aux enjeux énergétiques du continent

Si ce modèle d'électrification n'est que marginalement répliquable à grande échelle dans nombre de pays d'Afrique, il n'est par ailleurs pas évident qu'il apporte une réponse optimale aux enjeux énergétiques du continent !

En effet, les pays développés font aujourd'hui l'expérience des limites des infrastructures électriques hiérarchisées issues de ce modèle d'électrification et notamment dans le contexte de leurs indispensables transitions vers des

économies bas carbone. Les infrastructures de l'ensemble des pays du Nord sont à l'aube de mutations profondes, longues et coûteuses pour s'adapter à un inévitable changement de paradigme énergétique.

Si le régime énergétique du XX<sup>ème</sup> siècle s'est construit sur la nécessité de capter et exploiter des sources d'énergies concentrées en quelques points éloignés des consommateurs (champs de pétrole, mines de charbon, grandes chutes d'eau, etc), le régime énergétique du XXI<sup>ème</sup> siècle reposera sur le besoin de capter et exploiter des sources d'énergies diffuses réparties sur la totalité de la surface de la terre et proches des consommateurs (soleil, vent, biomasse, petites chutes d'eau, etc).

Si les infrastructures électriques de type centralisé demeurent, même en Afrique, une solution pertinente pour desservir les zones urbaines denses où les besoins énergétiques excèdent structurellement et largement les ressources énergétiques localement disponibles<sup>9</sup>, le principal défi énergétique du siècle à venir du plus rural des continents de la planète<sup>10</sup> est de répondre rapidement et durablement aux besoins énergétiques urgents d'une population dispersée sur de vastes territoires<sup>11</sup> riches en ressources énergétiques renouvelables.

## 1.2.2. VERS UN MODELE D'ELECTRIFICATION DU XXIEME SIECLE

### 1.2.2.1. Un contexte technologique propice à l'émergence d'un nouveau modèle d'électrification

Les infrastructures électriques du XX<sup>ème</sup> siècle se sont par ailleurs développées dans un contexte technologique radicalement différent de celui du monde que nous connaissons aujourd'hui et notamment dans les domaines de l'électronique et des télécommunications.

<sup>8</sup> Le taux d'électrification est plus faible que le taux d'augmentation de la population dans la quasi-totalité des pays africains

<sup>9</sup> Les besoins énergétiques d'un centre urbain industrialisé dépassent par exemple largement ses capacités de production solaire (même en équipant l'ensemble des toitures et surfaces aux sols disponibles de panneaux solaires à très haut rendement)

<sup>10</sup> 2/3 des subsahariens sont en effet des ruraux (Source : Banque Mondiale, 2014)

<sup>11</sup> Malgré des qualités de service et des taux de raccordement très faibles, la majorité des populations urbaines africaines ont aujourd'hui accès à des réseaux de type centralisés

Plusieurs évolutions technologiques majeures ont en effet bouleversé au cours des dernières décennies le secteur énergétique mondial et le contexte socio-technique africain. Citons pêle-mêle l'essor des technologies de:

- Production électrique solaire photovoltaïque et stockage de l'électricité,
- Electronique de puissance (électronique de comptage, conversion de l'énergie, semi-conducteurs),
- Informatique embarquée (micro-contrôleurs, micro-processeurs, stockage de données),
- Télécommunications sans fil (GSM, 3G, 4G, etc) et téléphonie mobile (Smartphone, applications mobiles)
- Gestion des données (Internet, Big Data),
- Cartographie (imageries satellites, analyse géo-spatiale, etc),
- Solutions de paiement mobile (paiement par téléphone très largement déployée en Afrique)

Ce nouveau contexte technologique ouvre aujourd'hui la voie à un modèle d'électrification à la fois plus ambitieux et plus réaliste pour l'Afrique que la réplique du modèle d'électrification qu'ont suivis les pays occidentaux au début du XXème siècle.

#### 1.2.2.2. Une opportunité à saisir

Dans ce contexte, la faiblesse du développement actuel des infrastructures électriques en Afrique représente paradoxalement une formidable opportunité de développer rapidement des infrastructures électriques s'appuyant sur ces opportunités technologiques en ignorant en partie et en apprenant des erreurs des modèles du siècle précédent.

Comme elle l'a déjà fait de manière spectaculaire pour ses infrastructures de télécommunication (en développant directement des réseaux de téléphonie mobile sans avoir jamais développé de réseaux téléphoniques filaires), l'Afrique pourrait aujourd'hui sauter une étape technologique en se détournant du modèle d'électrification du XXème siècle pour développer directement les infrastructures électriques décarbonées, décentralisées et intelligentes dont les pays industrialisés rêvent aujourd'hui.

Une telle démarche suppose de penser et déployer à grande échelle un nouveau modèle d'électrification progressif et modulaire, reposant sur les énergies renouvelables, les nouvelles technologies de l'information et de la communication et les ressources humaines locales.

**Ce modèle, c'est l'électrification latérale.**

**Electrification Latérale** : concept dont le nom est inspiré de l'économie latérale de Jeremy Rifkin, définit un système d'électrification qui n'est ni descendant, ni remontant, ni centralisé, ni décentralisé mais transversal et délocalisé qui peut s'interconnecter et permet de passer progressivement du décentralisé au centralisé.

### 1.3. PANORAMA DE L'ACCES A L'ELECTRICITE EN AFRIQUE

L'absence d'accès à l'électricité de plus de 650 millions de personnes et l'arrivée annuelle de 12 millions de jeunes sur le marché du travail africain ne sont pas seulement d'importantes problématiques sociales qu'il s'agit de résorber mais constituent également, pour le secteur privé, une réelle opportunité de marché qu'il s'agit de saisir.



*Figure 4 – Jeunes africains célébrant l'arrivée de l'électricité dans leur village*

Une demande importante de services énergétiques et d'emplois existe à la base de la pyramide et celle-ci est aujourd'hui mal satisfaite. D'où l'opportunité extraordinaire d'y répondre de manière innovante.

#### 1.3.1. UN MARCHÉ IMPORTANT EXISTE A LA BASE DE LA PYRAMIDE

Si desservir des ménages pauvres en électricité ne pouvait se concevoir il y a quelques années encore en dehors du cadre de la philanthropie, une part grandissante de cette demande apparaît aujourd'hui couvrable par le marché sous l'effet principal de deux forces :

- Une augmentation de la demande en services énergétiques décentralisés couvrables par l'électricité,
- Une chute des coûts de production des services énergétiques décentralisés à base d'électricité.

Chacun de ces deux facteurs est successivement décrit dans les deux paragraphes suivants avant de proposer une image synthétique de la structure du marché de l'accès à l'électricité en Afrique.

### 1.3.1.1. Augmentation de la demande en services énergétiques décentralisés couvrables par l'électricité

Les ménages africains pauvres ont toujours dépensé une part significative de leurs faibles revenus pour couvrir leurs besoins énergétiques (éclairage, cuisson, ventilation, etc). On estime qu'en moyenne 10% des dépenses des ménages pauvres sont liés à leurs besoins énergétiques, lesquels sont couverts par des énergies traditionnelles (bois, bougies, lampe à kérosène, etc) de mauvaise qualité, peu pratiques, souvent dangereuses pour leur santé et leur environnement.

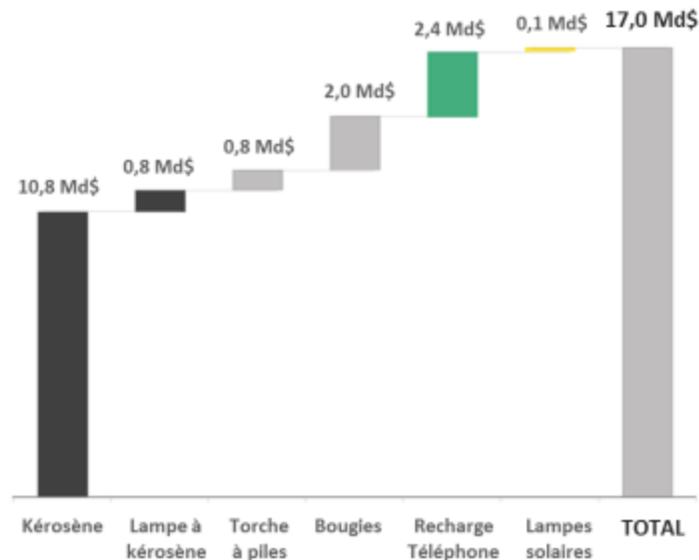
Cette demande explose toutefois aujourd'hui partout en Afrique en raison de la conjugaison de trois phénomènes :

- **L'augmentation de la population** : l'Afrique subsaharienne compte plus de 800 millions d'habitants aujourd'hui et voilà 10 ans que l'augmentation de la population du continent se maintient à des taux supérieurs à 5% par an. Selon, toutes les estimations, cette évolution devrait s'accroître et la population africaine devrait doubler d'ici 2050. Cette tendance lourde s'accompagne mécaniquement d'une augmentation des consommations énergétiques globales et d'une baisse des coûts unitaires des infrastructures électriques liées à la densification de l'habitat.
- **L'augmentation des consommations énergétiques des ménages** : le changement des modes de vie s'accompagne en Afrique comme dans le reste du monde d'une augmentation des consommations énergétiques des ménages. En Afrique, celle-ci est portée par le déploiement rapide de nouveaux usages comme le téléphone mobile (dont la majorité des utilisateurs africains ne disposent pas d'électricité à domicile) ou le multimedia (télévision, lecteur DVD, radio, Hifi, ordinateur). Il s'agit là également d'une tendance lourde qui ne devrait aller qu'en s'amplifiant.

- **L'augmentation du coût des énergies traditionnelles** : le coût des alternatives traditionnelles à l'électricité (bois, bougies, lampes à kérosènes, etc), quoique que dans une proportion très variable d'un pays à l'autre en fonction des politiques de subventionnement adoptées par les gouvernements, augmente partout en Afrique sous le double effet de l'augmentation des prix des ressources fossiles et de la déforestation (rendant la biomasse plus coûteuse à collecter). Les consommations énergétiques des ménages recourant à ces énergies étant faiblement comprimentables, cette situation tend à augmenter leurs dépenses énergétiques.

Le graphe ci-dessous, issu d'une étude de la Banque Mondiale<sup>12</sup>, illustre la répartition des dépenses annuelles des ménages africains non connectés au réseau pour leurs besoins énergétiques de base. Il met en évidence que 17 Md\$ sont dépensés annuellement par ces ménages pour leurs seuls besoins d'éclairage et de recharge de téléphone, lesquels ne représentent qu'une fraction des besoins énergétiques couvrables par l'électricité.

<sup>12</sup> Source : *Off-grid Solar Market Trends Report*, BNEF, *Lighting Global*, World Bank, 2016



*Figure 5 - Dépenses annuelles en services énergétiques de base des ménages africains non connectés au réseau (en Md\$)*

### 1.3.1.2. Chute des coûts de production des services énergétiques décentralisés à base d'électricité

L'amélioration des performances et la chute spectaculaire des coûts des principaux composants des systèmes solaires photovoltaïques autonomes au cours des dernières années permettent aujourd'hui à ces technologies d'être compétitives par rapport aux énergies traditionnelles pour couvrir les besoins de base des ménages africains non connectés au réseau.

En effet, les prix des modules photovoltaïques, des batteries et des équipements basse consommation, qui représentent plus de 85 % du coût de tels systèmes sont en chute libre :

- **Modules photovoltaïques** : le prix des modules photovoltaïques a diminué de 10% par an au cours des vingt dernières années et devrait continuer à baisser de 4 à 10% par an au cours des vingt prochaines selon les différentes projections<sup>13</sup>.
- **Batteries** : de nombreuses études tablent sur des diminutions de prix du même ordre de grandeur pour les batteries. Les prix des différentes technologies de batterie devraient vraisemblablement diminuer de 25 à 50% au cours des cinq prochaines années<sup>14</sup>.
- **Équipements basse consommation** : si la baisse du prix des modules photovoltaïques et des batteries fera une différence, ce sont les gains d'efficacité énergétique des équipements qui joueront le plus grand rôle dans la compétitivité des systèmes solaires photovoltaïques autonomes. L'utilisation de LEDs modernes en remplacement d'ampoules à incandescence permet déjà de diviser par 2,5 la capacité de production et de stockage à installer pour couvrir de manière autonome les besoins d'éclairage d'un foyer.

La même logique est en cours pour les équipements plus consommateurs comme les télévisions, ventilateurs ou réfrigérateurs. Bien que les versions efficaces énergétiquement de ces équipements coûtent toujours aujourd'hui plus chers que leurs équivalents énergivores, la différence de prix est d'ores et déjà plus que compensée par les économies qu'elles permettent sur les capacités de production et de stockage nécessaires à leur alimentation. Par ailleurs, le marché de tels équipements est également très dynamique. Les performances énergétiques des télévisions et des réfrigérateurs basse consommation pourraient par exemple diminuer de 30 à 50 %<sup>15</sup> d'ici 2020 pour des prix d'acquisition

<sup>13</sup> Source : Solar PV Technology Roadmap, IEA, 2014

<sup>14</sup> Source : Levelized Cost of Storage, Lazard, 2015

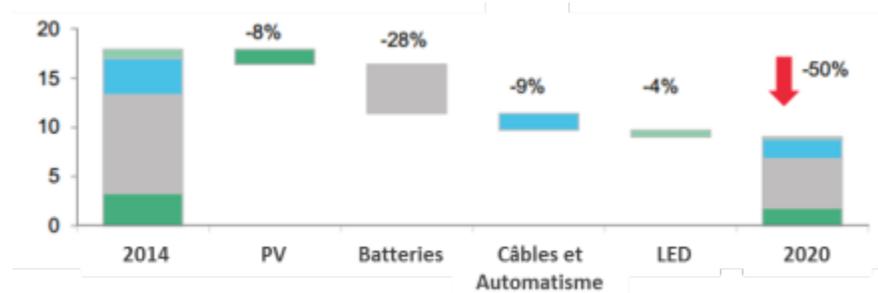
<sup>15</sup> Source : Global LEAP – The State of the Global Off-grid Appliance Market, Dalberg, 2015

inférieurs à ceux pratiqués aujourd'hui et leurs quantités produites pourraient être multipliés par 8.

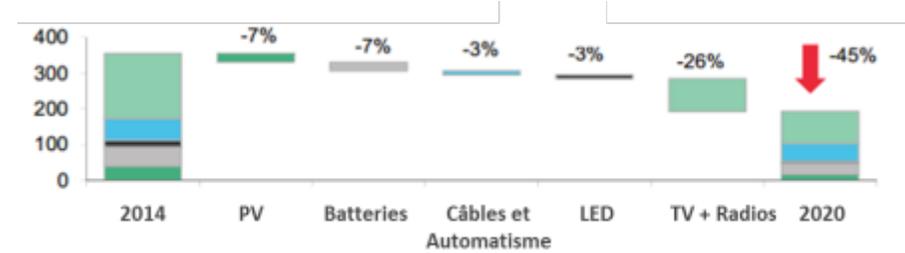


*Figure 6 – Exemple de prise pour téléphone mobile sur une installation de niveau 1*

Les deux illustrations<sup>16</sup> ci-dessous mettent en évidence les diminutions des coûts par composants attendues d'ici 2020 pour des systèmes solaires délivrant des services électriques limités aux usages domestiques.



*Figure 7 - Evolution projetée des coûts en dollars d'un système solaire autonome délivrant un service électrique de niveau 1<sup>17</sup> (i.e. lanternes mobiles)*



*Figure 8 - Evolution projetée des coûts en dollars d'un système solaire autonome délivrant un service électrique de niveau 2 (i.e. éclairage fixe + TV + Radio)*

Ainsi, si l'électricité hors réseau est aujourd'hui à la limite de la parité avec les énergies traditionnelles pour les besoins de base de beaucoup de ménages africains non connectés, il ne fait aucun doute qu'elle sera beaucoup plus compétitive que celles-ci pour une majorité d'entre eux à court-terme.

### 1.3.1.3. Structure du marché de l'accès à l'électricité en Afrique

Plusieurs études récentes sur les marchés mondiaux de l'accès à l'énergie, le marché du solaire hors réseau en Afrique ou les besoins en service énergétiques des populations à la base de la pyramide permettent d'approcher les contours du marché africain de l'accès à l'électricité.

Un cadre a notamment été développé par l'ONU et la Banque Mondiale dans le cadre de l'initiative *Sustainable Energy For All* pour décomposer le marché de l'accès à l'électricité en plusieurs segments (ou niveaux de services électriques) en fonction des usages des ménages.

Une version simplifiée de ce cadre est présentée dans le graphe ci-dessous.

<sup>16</sup> Source : *Off-grid Solar Market Trends Report*, BNEF, Lighting Global, World Bank, 2016

<sup>17</sup> Cf. Décomposition en niveau explicitée au paragraphe suivant

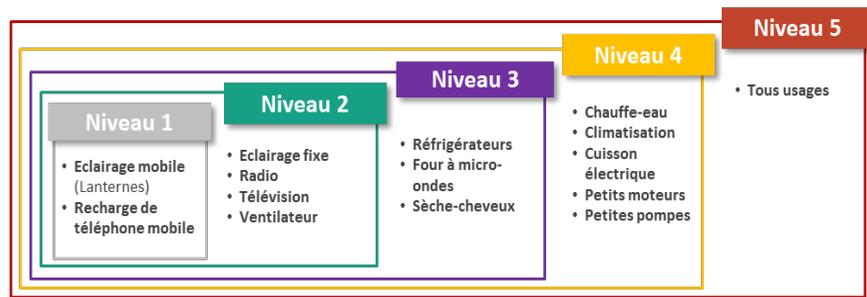


Figure 9 - Niveaux de service électrique

Plus le niveau de service est élevé, plus il permet d'usage mais plus son coût de production et son prix de vente sont élevés.

La correcte compréhension de cette décomposition en différents niveaux de service électrique est indispensable pour comparer les différentes solutions d'accès à l'électricité aujourd'hui offertes par les différents acteurs du marché.

### 1.3.2. MAIS CE MARCHÉ EST AUJOURD'HUI IMPARFAITEMENT DESSERVI

Le marché de l'accès à l'électricité dans le monde est aujourd'hui desservi de deux manières radicalement distinctes à la fois en termes de technologie et d'approche organisationnelle que sont :

- La construction et l'exploitation de réseaux électriques
- La distribution de systèmes électriques individuels hors réseau

Ces deux solutions ne répondent toutefois que partiellement ou imparfaitement aux défis de l'accès à l'électricité et à l'emploi.

Les deux paragraphes suivants présentent successivement ces deux solutions ainsi que leurs intérêts et limites respectives.

#### 1.3.2.1. Les réseaux électriques

##### Présentation

Les réseaux électriques sont des infrastructures publiques (éventuellement concédées à un opérateur privé) permettant le transport et la distribution de d'électricité entre un ou plusieurs points de production et plusieurs points de consommation. Il en existe dans le monde de toute taille du micro-réseau alimentant un petit village isolé au réseau continental interconnecté comme les réseaux européens et américains.

En Afrique, deux grands types de réseaux cohabitent :

- **Les réseaux nationaux** alimentant quelques milliers ou centaines de milliers d'usagers dans les principales villes du pays (et souvent seulement la capitale) en électricité produite dans quelques centrales thermiques et/ou hydroélectriques de plusieurs MW construites et exploitées par un ou plusieurs opérateurs différents. Les réseaux sont eux systématiquement exploités par des opérateurs uniques, en général publics mais parfois privés, disposant du monopole de la vente d'électricité à un tarif réglementé aux consommateurs finaux situés sur le territoire de concession.

Les usagers situés dans les zones de desserte de ces réseaux s'acquittent en général d'un paiement initial de l'ordre de 50 à 100 \$ au moment du raccordement de leur foyer au réseau et de paiements réguliers du service électrique souvent composés d'une part fixe mensuelle dépendant de la puissance souscrite<sup>18</sup> (en kW) et d'une part variable dépendant de la consommation d'électricité sur la période (en kWh).

Pour des raisons politiques et sociales, les prix pratiqués par les opérateurs nationaux sont inférieurs aux coûts moyens de production dans la totalité des pays d'Afrique subsaharienne, inférieurs aux coûts variables de production dans la majorité d'entre eux et inférieurs à dix fois ces derniers coûts dans plusieurs d'entre eux.

- **Les réseaux locaux** alimentant quelques dizaines (micro-réseaux) à quelques centaines d'usagers (mini-réseaux) dans les villes de moindre importance ou des villages avec une électricité souvent produite dans une unique centrale thermique, renouvelable ou hybride de quelques kW à quelques centaines de kW. Ces réseaux et les centrales les alimentant sont en général exploités par un unique opérateur (étant soit l'opérateur du réseau national soit un opérateur local privé ou communautaire).

<sup>18</sup> Puissance maximale utilisable à tout instant par le client

L'opérateur dispose du monopole de la vente d'électricité aux consommateurs finaux à un tarif qui n'est pas systématiquement réglementé. Une grande variabilité existe dans les modalités tarifaires pratiquées par les différents opérateurs même si le principe d'un paiement initial du raccordement et de paiements réguliers du service demeure la norme. Les tarifs pratiqués reflètent en général un peu mieux les coûts et arrivent dans le meilleur des cas à s'établir entre les coûts variables et les coûts moyens de production.

Ces deux types de réseau permettent théoriquement de délivrer aux ménages des services électriques de niveau 5 (c'est-à-dire compatible avec tous les usages domestiques sans limitation). En pratique toutefois, les réseaux locaux sont souvent économiquement dimensionnés pour délivrer un service de niveau 3 à 4 et les coupures fréquentes sur la plupart des réseaux nationaux<sup>19</sup> ne permettent parfois de délivrer un service de niveau 5 que quelques heures dans la journée.

### Intérêts

Les réseaux électriques représentaient jusqu'à très récemment l'unique modalité d'accès à l'électricité et ceux-ci continuent à être l'approche privilégiée par tous les pays du monde pour d'évidentes raisons qu'il convient toutefois de rappeler :

- **Efficacité économique et environnementale à long terme** : les réseaux électriques constituent une infrastructure commune permettant l'échange d'électricité en temps réel entre producteurs et consommateurs et constituent à ce titre une formidable machine à optimiser l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité à tout instant.

L'existence d'une telle plateforme de mutualisation permet de réduire significativement les capacités totales de production et de stockage à installer à l'échelle de la société comparativement à un modèle d'autoproduction généralisé. L'efficacité économique et environnementale des réseaux devient ainsi imbattable à partir d'un certain niveau moyen de consommations énergétiques<sup>20</sup>.

- **Impact sur le développement** : les réseaux électriques permettent le développement d'un spectre d'activités économiques bien plus large que celui que permet l'électrification par systèmes individuels délivrant un

niveau de service souvent limité aux besoins des foyers, commerçants ou petits artisans (éclairage, multimédia, réfrigération, etc) mais incapable de délivrer économiquement un niveau de service adapté aux besoins des gros artisans ou industriels (forces motrices, thermique, etc).

L'absence d'accès en grande quantité à une électricité fiable et peu chère, que seul un grand réseau bien exploité permet, demeure un obstacle majeur au développement industriel de l'Afrique.

- **Flexibilité du service rendu à la clientèle** : les réseaux électriques qu'ils soient locaux ou nationaux offrent en théorie une flexibilité totale à la clientèle qui peut, une fois raccordée, consommer à la demande autant d'électricité qu'elle le souhaite pour alimenter autant d'équipement qu'elle le souhaite aussi longtemps qu'elle le souhaite et quand elle le souhaite.

### Limites

L'électrification par le réseau national ou les réseaux locaux fait toutefois face en Afrique à de nombreux problèmes :

- **Longs délais de mise en œuvre** : la construction de réseaux locaux ou l'extension de réseaux nationaux sont des investissements lourds imposant des travaux préparatoires longs et complexes comprenant des études techniques et socio-économiques, des procédures administratives souvent complexes en vue de l'obtention des autorisations ou concessions d'exploitation, des opérations de recherche de financement, l'organisation d'appels d'offres pour la réalisation et la supervision des travaux, et enfin la réalisation à proprement parler des travaux et de mises en service .

Le délai minimum de montage de tels projets est de 2 à 3 ans mais la plupart mettent beaucoup plus de temps. Au-delà de leur incompatibilité avec l'urgence des besoins, de tels délais entre la conception et la réalisation d'opérations d'électrification dans des contextes évoluant rapidement sont sources de nombreux problèmes de dimensionnement.

- **Equilibre économique complexe** : l'équilibre économique d'un réseau électrique qu'il soit national ou local est une problématique complexe dont la spécificité est de nécessiter une gestion optimisée de l'équilibre offre-

<sup>19</sup> Plusieurs réseaux nationaux ne distribuent de l'électricité que 4 heures par jour

<sup>20</sup> L'impact environnemental est particulièrement positif lorsque le réseau permet de valoriser des volumes d'énergies importants issus de l'hydraulique comme on en trouve en Afrique centrale et de l'Ouest.

demande à divers horizons de temps afin de s'assurer que les capacités de production et de stockage disponibles à tout instant sont le plus proches possibles des consommations anticipées de la clientèle.

Au vu de la lourdeur des investissements, tout surdimensionnement de l'offre a un coût économique important (ce qui est le cas de la quasi-totalité des réseaux jeunes, en général construits « avec une marge ») et tout sous-dimensionnement conduit invariablement à des coupures (ce qui est le cas de la plupart des réseaux vieux n'ayant su ou pu s'adapter). Cette situation explique pourquoi la plupart des réseaux électriques africains sont soit ultra-subsidés soit peu fiables et la plupart du temps les deux.

- **Risques importants** : Cette solution d'électrification est également financièrement très risquée pour les opérateurs puisque la totalité de l'investissement initial est réalisée avant l'abonnement du premier usager dans un contexte d'incertitude extrême sur le niveau de la demande que les études menées en amont peinent à lever.

L'expérience montre que, même menées de manière sérieuse, la fiabilité de ces études de la demande basées sur des déclarations d'intention des populations cibles quelques années avant la construction du réseau est très faible et conduit généralement à surestimer significativement le nombre d'usagers qui paieront effectivement le raccordement à l'infrastructure une fois celle-ci mise en service<sup>21</sup>.

**Faible répliquabilité** : le problème principal demeure toutefois que les réseaux électriques ne sont pas économiquement réalisables partout car la rentabilité d'un réseau dépend fortement de la concentration géographique de la demande en électricité et celle-ci est initialement trop faible dans les zones rurales ou péri-urbaines où vivent la majorité des africains non électrifiés.

Par ailleurs, tous les opérateurs africains de réseaux locaux font l'expérience de la faible répliquabilité des réseaux et de la difficulté d'en gérer efficacement un nombre important. Ces deux caractéristiques limitent significativement la vitesse de diffusion de ces technologies. La lourdeur des investissements, les exigences réglementaires et les délais

de mise en œuvre associés à la logique de service public concourent à expliquer pourquoi, avec les approches actuelles et malgré leur importance pour le développement économique et social de l'Afrique, les réseaux nationaux ou locaux n'auront vraisemblablement toujours pas atteint la majorité des africains dans 20 ans.

### 1.3.2.2. Les systèmes individuels

#### Présentation

Les systèmes individuels regroupent différentes technologies de production autonome d'électricité pour les besoins de clients individuels.

Couvrant une large gamme de prix et de niveaux de service, ils ont en commun d'être conçus pour couvrir les besoins d'un foyer ou d'un petit commerçant indépendamment de tout réseau.

Ils peuvent être répartis en quatre grandes familles technologiques :

- **Les lanternes solaires** sont des petits équipements portables constitués d'un panneau solaire de quelques Watt et d'une capacité de stockage de quelques dizaines de minutes alimentant une lampe LED portable (parfois équipé d'une prise USB permettant un service limité de recharge de téléphone). Ces systèmes offrant typiquement des services électriques de niveau 1 se trouvent désormais facilement dans toute l'Afrique pour un coût variant entre 6 et 20 \$.
- **Les kits solaires** sont des équipements déplaçables constitués d'un panneau solaire portable de quelques dizaines de watt, d'une capacité de stockage de quelques heures et d'un ensemble d'équipements incluant plusieurs lampes LED fixes et une ou plusieurs prises pour la recharge de téléphone et le raccordement en mode plug-and-play d'une télévision ou d'une radio.

Ces systèmes offrant typiquement des services électriques de niveau 2 se trouvent assez largement à l'achat pour un coût variant entre 100 et 150 \$. Ces systèmes sont de plus en plus distribués avec des facilités de financement pouvant prendre la forme de micro-crédits à la

<sup>21</sup> Pour prendre une métaphore, cette approche revient à aller à la pêche avec une canne extrêmement chère qu'on ne peut pas déplacer une fois installée sur le lieu choisi (on dépense d'abord et on ne peut ensuite qu'espérer que les poissons mordent à l'hameçon).

consommation ou de paiements progressifs à la consommation (Pay-as-you-go).

**Les systèmes Pay-as-you-go (PAYG)** fonctionnent de la manière suivante : le client acquiert moyennant une faible contribution de départ un système verrouillé qu'il débloque temporairement selon ses besoins et capacités de paiement en achetant des crédits de consommation. Le système est définitivement débloqué au bout d'1 à 4 ans lorsque les crédits achetés ont permis de rembourser le coût total du système.

- **Les systèmes solaires domestiques** sont des installations fixes constituées de panneaux solaires de quelques centaines de watt, d'une capacité de stockage de quelques jours et alimentant généralement des installations intérieures incluant plusieurs circuits d'éclairage et de prises secteur permettant le raccordement de télévision, radios, ventilateurs et réfrigérateurs.

Les coûts d'installation de ces systèmes offrant typiquement des services électriques de niveau 3 se situent entre 250 et 500 \$. Ils sont parfois distribués avec des facilités de financement ou sur un modèle de location ou de paiement au service mais s'adressent principalement à une clientèle pouvant les acquérir cash<sup>22</sup>.

- **Les groupes électrogènes** individuels permettent de délivrer plusieurs kilowatts et d'alimenter la totalité des besoins domestiques d'un foyer (y. compris climatisation et cuisson). Ces systèmes offrant typiquement des services électriques de niveau 4 se trouvent partout en Afrique entre 300 et 1 000 \$ à l'achat.

Leurs coûts d'exploitation sont toutefois extrêmement élevés (consommations de diesel ou d'essence, coûts de maintenance) contrairement aux systèmes solaires dont les coûts d'exploitation sont limités à de petites maintenances. En outre, ils fournissent une électricité dont la forme d'onde est de qualité limitée ce qui peut nuire à la durée de vie des équipements consommateurs raccordés.



*Figure 10 - Exemples de systèmes individuels*

Ces systèmes sont en général conçus et fabriqués par des entreprises privées américaines, européennes ou chinoises rivalisant pour étendre leurs circuits de distribution jusqu'aux zones les plus reculées.

### Intérêts

Les systèmes individuels se sont diffusés de manière spectaculaire au cours de la dernière décennie et devraient continuer à proliférer au cours des prochaines années pour une seule et unique raison : Ils sont particulièrement bien adaptés aux besoins à court-terme des clients !

Ceux-ci sont en effet :

- **Accessibles facilement** : des versions de plus ou moins bonnes qualités de chacun de ces systèmes se trouvent sur les marchés et dans les quincailleries des villes et villages de plus en plus reculés.

<sup>22</sup> Les foyers ayant les moyens d'acheter un réfrigérateur et plusieurs équipements multimedia ayant généralement les moyens d'acheter ces systèmes.

- **Adaptés aux usages immédiats des clients** : pour chaque besoin (ou chaque niveau de service électrique souhaité) existe un système adapté.
- **Adaptés à leurs capacités de paiement** : toutes les gammes de prix existent et diverses modalités d'acquisition sont offertes par les différentes entreprises du secteur (achat, leasing, Pay-as-you-go, location, etc) permettant à chacun d'y trouver son compte.
- **Simple d'utilisation** : ces produits sont peu dangereux (faible risque d'électrocution) et faciles à utiliser (les potentialités étant limitées au minimum nécessaire).

### Limites

Les limites de ces systèmes sont toutefois importantes :

- **Manque de flexibilité** : les systèmes individuels n'offrent peu ou aucune flexibilité à l'usage. Groupes électrogènes mis à part, les systèmes individuels commercialisés incluent des systèmes stricts de contrôle des usages énergétiques laissant très peu de liberté à l'utilisateur ne pouvant modifier ni le nombre ni le type des prises ou des points lumineux connectés au système. Ce manque de flexibilité explique pourquoi la majorité des usagers de tels systèmes les utilisent en complément plutôt qu'en remplacement des énergies traditionnelles.
- **Absence de modularité** : les capacités des systèmes individuels sont fixes et ne peuvent être augmentées<sup>23</sup>. Dans la mesure où l'on observe l'apparition rapide de nouveaux besoins énergétiques chez les ménages nouvellement électrifiés, cette caractéristique est particulièrement limitante puisque le seul moyen d'augmenter le niveau de service électrique d'un tel système est de le remplacer par un système de capacité supérieure. Ainsi, ces systèmes n'offrent qu'une solution temporaire aux besoins énergétiques croissants des utilisateurs.
- **Non interconnectabilité** : ces systèmes individuels (à l'exception des groupes électrogènes et de certains systèmes solaires domestiques sous des conditions strictes) sont conçus pour fonctionner de manière autonome et ne sont pas connectables à un réseau électrique. Leur

déploiement tend par conséquent davantage à freiner qu'à contribuer au développement d'infrastructures électriques du XXIème siècle.

- **Coûts élevés à long terme** : si les coûts unitaires des systèmes individuels sont relativement faibles et en diminution, le coût individuel et collectif d'un modèle d'électrification fondé sur l'absence de réseau est exorbitant. Le coût individuel du parcours d'électrification d'un ménage qui passera progressivement du niveau 0 au niveau 5 au cours des 20-30 prochaines années par acquisition successive de systèmes individuels est extrêmement élevé.

Le coût collectif d'un système électrique fondé sur la nécessité d'un équilibre production-consommation à l'échelle de chaque foyer plutôt qu'à l'échelle de vastes plateformes d'échange d'électricité est également gigantesque en ce qu'il nécessite un surinvestissement massif en capacité de production et de stockage.

- **Faible valeur ajoutée sociale et locale** : si la logique marchande de ventes de biens de consommation présente l'avantage de permettre une diffusion rapide des systèmes individuels, celle-ci limite la valeur ajoutée locale au segment de la distribution. Ne nécessitant qu'une main d'œuvre locale peu nombreuse et peu qualifiée, elle limite la création d'emploi local à la portion congrue.
- **Durée de vie courte** : si les fabricants et distributeurs de ces équipements rivalisent pour annoncer des durées de vie supérieures à 5 voire 7 ans « sans maintenance », rares sont ceux proposant des garanties produits à leurs clients et aucun n'en offre sur des durées supérieures à 2 ou 3 ans. Même si le recul et les études de suivi manquent cruellement pour évaluer précisément la longévité moyenne de ces équipements en conditions réelles, ceux de meilleure qualité semble peiner à dépasser les 3 années moyennes de fonctionnement.
- **Impact environnemental mitigé** : Bien que les systèmes solaires individuels aient un impact positif sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre, celui-ci demeure limité au remplacement des émissions (relativement faibles) de lampes à kérosène. L'impact de la diffusion de ces équipements en termes de production de déchets dangereux (batteries) est en revanche significativement négatif.

<sup>23</sup> Même si la capacité des installations solaires faites sur mesure peut être augmentée sous certaines conditions (remplacement des batteries notamment), ce n'est pas le cas des

solutions standardisées tout-en-un (lampes solaires, kits solaires et systèmes solaires domestiques) dont la capacité ne peut évoluer.

Malgré les engagements volontaristes de nombreux fabricants et distributeurs pour le recyclage de ces équipements en fin de vie, leur collecte auprès de dizaines ou centaines de milliers de clients répartis et mobiles sur tout le territoire pose des problèmes logistiques pratiquement insurmontables si bien que la très grande majorité des déchets de ces équipements s'accumule aujourd'hui dans des décharges sauvages.

En conclusion, les systèmes individuels ont bouleversé au cours des dernières années le domaine de l'accès à l'énergie. En offrant une réponse rapide aux besoins urgents de populations éloignées de tout réseau électrique, ces systèmes ont d'ores et déjà permis d'améliorer les conditions de vie de millions d'africains.

Ceux-ci ne constituent toutefois pas une réponse optimale et durable aux problématiques énergétiques et économiques de l'Afrique car le développement durable du continent ne se fera pas sans une infrastructure électrique qui permette de passer progressivement d'une desserte locale limitée à une desserte plus large en termes de capacité et de couverture.

### **1.3.3. D'OU UNE OPPORTUNITE POUR DESSERVIR LE MARCHÉ AUTREMENT**

Les limites des deux approches exposées ci-dessus appellent à l'émergence d'une troisième voie permettant de concilier les besoins à court terme de chacun et les intérêts à long terme de tous.

- Répondre aux besoins à court-terme des clients, c'est leur offrir un accès à l'électricité rapide, adapté, simple, flexible et abordable.
- Servir l'intérêt à long terme des citoyens, c'est participer à la construction d'une infrastructure électrique du XXIème siècle écologique, décentralisée, collaborative, intelligente et durable.

La conjugaison de ces deux impératifs apparaît aujourd'hui possible mais nécessite la combinaison d'innovations à la fois conceptuelles, techniques et organisationnelles. Répondre à ce double impératif impose de :

- Penser un nouveau modèle d'électrification unissant les qualités du modèle d'électrification centralisée et du modèle d'autoproduction généralisée ;
- Concevoir des solutions techniques hybrides se situant entre des systèmes individuels et des réseaux ;

- Inventer des solutions organisationnelles innovantes à la frontière des logiques marchande et de service public.

## 2. Le modèle d'électrification latérale

Quoi ?

## 2. QUOI ? LE MODELE D'ELECTRIFICATION LATERALE

L'électrification latérale est un processus agile de construction « du bas vers le haut » d'une infrastructure électrique décentralisée, décarbonée et intelligente par la combinaison :

- D'une approche technologique progressive,
- D'une approche organisationnelle collaborative,
- D'une approche marketing exhaustive.

### 2.1. UNE APPROCHE TECHNOLOGIQUE PROGRESSIVE

#### 2.1.1. PRESENTATION

L'électrification latérale se distingue des approches d'électrification actuelles (systèmes individuels et réseaux classiques) par son caractère progressif tant du point de vue de la taille et la complexité de l'infrastructure électrique développée que de l'étendue du service électrique que celle-ci permet de délivrer aux usagers.

Pour s'adapter de manière flexible à l'évolution dans le temps des besoins électriques des territoires, l'électrification latérale est un processus de construction progressive d'infrastructures électriques ultra-décentralisées par :

- **Diffusion** de briques élémentaires autonomes de production, stockage et distribution d'électricité délivrant initialement un service électrique limité aux besoins domestiques essentiels des populations hors réseau (éclairage, recharges de téléphone, multimédia, etc), et
- **Intégration** progressive de ces briques élémentaires au sein de réseaux électriques d'équilibrage plus étendus pour suivre de manière économique l'augmentation naturelle de la densité de demande électrique et desservir de nouveaux usages (réfrigération, force motrice, etc).

Le schéma ci-contre illustre les différentes étapes de ce processus.

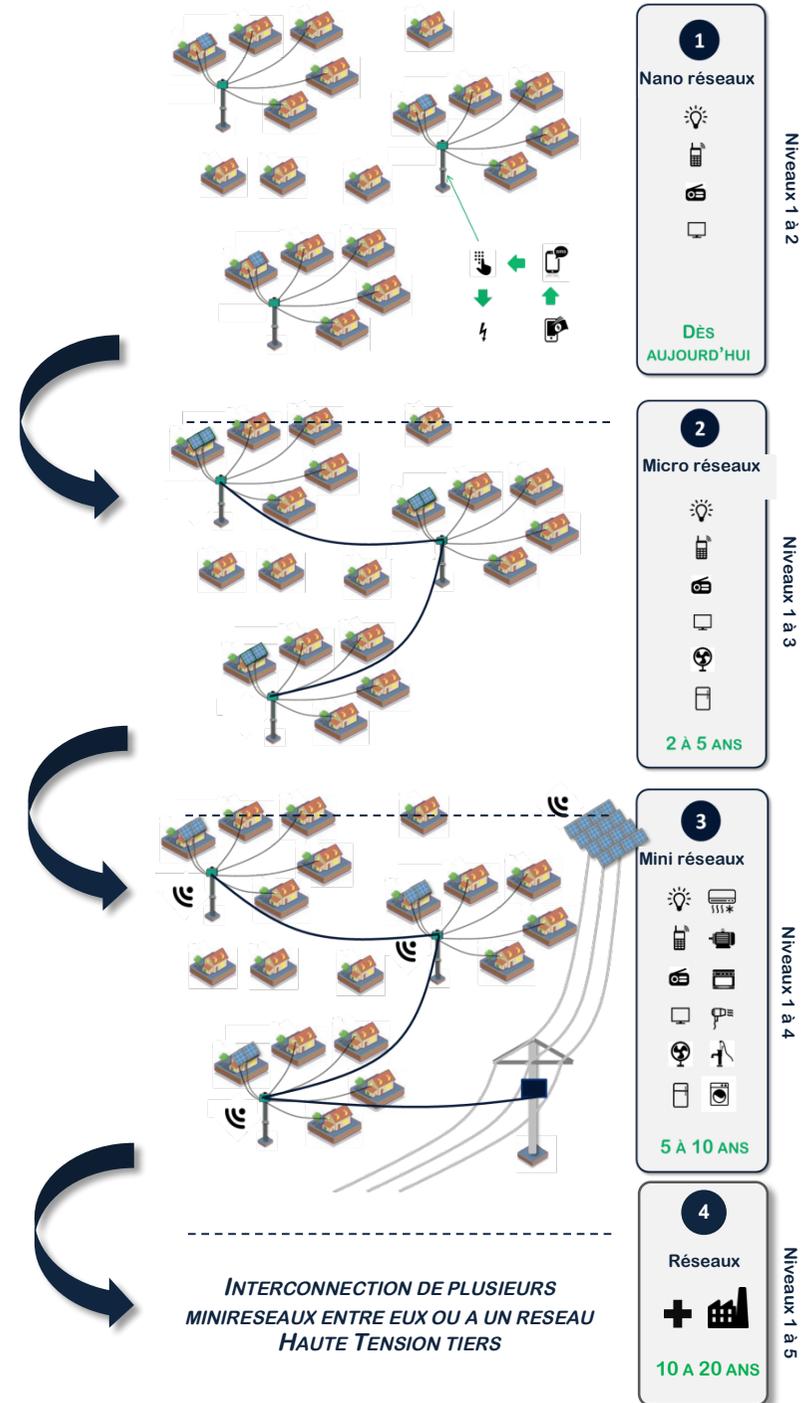


Figure 11 - Electrification latérale

Le modèle d'électrification latérale repose donc sur l'agrégation successive de systèmes électriques autonomes au sein d'ensembles d'équilibrages plus larges :

- **Le « nano-réseau »** constitue la brique élémentaire de cette approche. Ces systèmes électriques intelligents pouvant fonctionner de manière autonome ou connectés à un réseau tiers disposent des capacités de production, stockage, distribution, gestion et comptage de l'électricité nécessaires pour délivrer à quelques usagers voisins<sup>24</sup> un service électrique limité aux besoins domestiques essentiels comparable à celui de systèmes individuels (Niveaux 1 et 2). Organisés autour d'un unique poteau électrique et installable en moins d'une journée, ces systèmes peuvent être rapidement déployés quelques jours seulement après l'abonnement d'un groupe d'usagers<sup>25</sup>.
- **Le « micro-réseau »** formé par l'interconnexion de plusieurs nano-réseaux entre eux constitue la première étape d'agrégation dont le but est d'augmenter l'étendue et la disponibilité du service pour l'ensemble des usagers (Niveaux 1 à 3) grâce au foisonnement des consommations et à la mutualisation des capacités de production et stockage au sein d'une plateforme d'échange plus large<sup>26</sup>.
- **Le « mini-réseau »** formé par l'interconnexion de plusieurs micro-réseaux entre eux constitue la deuxième étape d'agrégation dans le même but d'augmentation de l'étendue et de la disponibilité du service pour l'ensemble des usagers et permettre de raccorder des usages productifs

(Niveaux 1 à 4) en jouant sur les mêmes mécanismes qu'à l'étape précédente (foisonnement et mutualisation).<sup>27</sup>

- **Le « réseau »** formé par l'interconnexion de plusieurs mini-réseaux entre eux ou leurs connexions à un réseau maître (ex : Réseau de transport national) constitue l'ultime étape d'agrégation permettant à tout type d'usagers d'accéder à un service électrique total (niveau 5)<sup>28</sup>.

### 2.1.2. FAISABILITE DE L'APPROCHE

Un débat de spécialistes a accompagné les mutations récentes du secteur de l'accès à l'énergie relatif aux potentiels de réplication comparés des solutions d'électrification individuelles et des solutions d'électrification collectives.

Pour les promoteurs de solutions individuelles, le potentiel supérieur de ces solutions repose sur :

1. Leur capacité à desservir la demande à moindre coût en faisant l'économie d'une infrastructure de distribution,
2. Leur facilité de diffusion en faisant l'économie de la construction d'une démarche collective rassemblant un groupement de potentiels usagers,
3. Leur potentiel illimité de diffusion puisque tous les ménages peuvent être théoriquement équipés sans condition de proximité avec d'autres usagers.

<sup>24</sup> Le concept émergent de « nano-réseau » (i.e. systèmes électriques collectifs raccordant moins de 10 foyers) a commencé à être exploré ces dernières années par quelques rares entreprises comme Mera Gao Power en Inde ou Sunna Design au Sénégal sous des formes et dans des logiques toutefois assez différentes de celle décrite dans la présente étude (basée sur l'approche développée et actuellement expérimentée par Nanoé à Madagascar). Les principales différences par rapport à celles-ci résident i) dans son coût d'investissement significativement inférieur par usager à niveau de service égal (cf. chapitre 6), ii) dans sa modularité permettant d'accompagner l'évolution des besoins des usagers dans le long terme, iii) dans le niveau d'intelligence embarquée au sein de chaque système permettant leur développement et exploitation dans une logique collaborative (cf. paragraphe suivant) et surtout ii) dans le caractère interconnectable de ces nano-réseaux entre eux ou avec des réseaux tiers suivant la logique de l'électrification latérale.

<sup>25</sup> Voir 2.1.2.1

<sup>26</sup> Le terme de « micro-réseau », bien que non normé, désigne généralement des systèmes électriques basse tension desservant moins d'une centaine d'usagers à l'échelle d'un village à partir d'une unique centrale électrique de quelques kW. Bien que l'échelle des micro-

réseaux présenté ici est du même ordre de grandeur, ceux-ci diffèrent notablement des micro-réseaux classiques par leur architecture décentralisée. En effet, les micro-réseaux issus du modèle d'électrification latérale ne visent pas à distribuer vers de nombreux usagers l'électricité produite en un point unique mais à équilibrer les différents points de production-consommation que sont les nano-réseaux.

<sup>27</sup> Le terme de « mini-réseau », également non normé désigne généralement des systèmes électriques pouvant comporter des portions en moyenne tension desservant quelques centaines d'usagers à l'échelle d'une commune ou d'un groupe de villages à partir d'une ou d'un petit nombre de centrales électriques de quelques dizaines ou centaines de kW. Les différences entre ce type de mini-réseaux et ceux décrits dans la présente étude sont de même nature que celles explicitées pour les micro-réseaux.

<sup>28</sup> Il convient toutefois de noter que les « réseaux » ainsi construits diffèrent des réseaux électriques classiques par l'intégration ultra-décentralisée de capacités de production, de stockage et de gestion intelligente de l'équilibre offre-demande à différentes mailles (foyers, villages, région, etc).

Si ces arguments nous paraissent justifiés en comparaison de l'approche classique de réseaux, le modèle d'électrification latérale, se positionnant à une échelle différente, nous semble remettre en cause chacun de ces éléments.

### 2.1.2.1. Faisabilité économique

A l'échelle d'un nano-réseau, le sur-investissement dans l'infrastructure de distribution nécessaire à l'alimentation de 4 à 6 ménages est plus que compensé par les économies d'échelle réalisées sur l'investissement dans des capacités de production, stockage et comptage mutualisées.

A niveau de service équivalent, l'investissement initial et les coûts d'exploitation par usager s'en trouve ainsi réduit de 20 à 40% par rapport aux solutions individuelles<sup>29</sup>.

Par ailleurs, la rapidité de construction d'un nano-réseau (1 à 2 jours) permet de ne réaliser cet investissement qu'après le paiement d'un coût initial par l'ensemble des usagers, permettant ainsi de réduire significativement les risques économiques liés aux incertitudes sur la demande auxquels font face les approches classiques de réseaux. Si la consommation de chacun des usagers n'est pas garantie au moment de l'investissement, le nombre minimum d'usagers est lui certain.

Enfin la modularité des nano-réseaux permet de diminuer ou d'augmenter facilement les capacités de production et stockage installées (donc l'investissement immobilisé) au cours de la vie du système pour optimiser l'équilibre Offre-Demande et diminuer les risques de sous-consommation des usagers et de délestage.

### 2.1.2.2. Faisabilité sociale

Si la complexité de la construction de démarches collectives à l'échelle d'un village, d'une commune ou d'une région dont les capacités techniques, politiques et administratives sont limitées est un frein majeur au développement de micro-réseaux classiques, la sollicitation de démarches collectives de la part de 4 à 6 voisins (incluant souvent plusieurs membres de la même famille) apparaît comme un accélérateur majeur de la diffusion de systèmes électriques latéraux.

En effet, l'expérimentation en cours de Nanoé à Madagascar a d'ores et déjà mis en évidence les multiples avantages de cette approche :

- La nécessité de réunir un minimum de 4 ménages proches pour installer un nano-réseau conduit les ménages intéressés à mobiliser des voisins

qui n'auraient pas systématiquement sollicités individuellement le service proposé.

- Le caractère collectif contribue également à créer un effet d'opportunité à saisir conduisant à déclencher un abonnement plus rapide qu'une démarche individuelle aisément différable dans le temps.
- Enfin, le déploiement d'un maximum de nano-réseaux communiqué aux autorités locales comme préalable à la construction d'infrastructure électrique de taille supérieure à l'échelle du village, de la commune ou de la région permet de s'assurer de leur soutien et de leur relais auprès de la population pour diffuser ces solutions.

### 2.1.2.3. Faisabilité géographique

La diffusion de solutions individuelles techniquement soumise à aucune condition de proximité avec d'autres usagers l'est dans les faits pour des raisons à la fois commerciales et opérationnelles. La difficulté d'atteindre les ménages individuels difficiles d'accès dans les zones ultra-rurales et de leur assurer économiquement une bonne qualité de service dans la durée constitue une limite significative au déploiement de ce type de solutions.

La baisse des coûts commerciaux et opérationnels liée au regroupement par 4 à 6 de ces ménages (pour partie inspirée par l'approche adoptée par les institutions de micro-finance constituant des groupes de crédits) permet ainsi aux nano-réseaux d'atteindre économiquement un nombre de ménages ultra-ruraux supplémentaires compensant le nombre de ménages isolés pouvant être desservis uniquement par les solutions individuelles.

### 2.1.3. INTERETS DE L'APPROCHE

Le principal intérêt de cette approche technologique est d'ouvrir la voie à une démarche de développement d'infrastructures électriques en Afrique à la fois ambitieuse et réaliste :

- Ambitieuse dans son objectif de construire des infrastructures électriques ultra-modernes compatibles avec les enjeux énergétiques du siècle à venir,

<sup>29</sup> Ce point est détaillé dans le dernier chapitre de l'étude

- Réaliste dans sa méthode progressive décomposant l'investissement dans de telles infrastructures en une multitude de petits investissements successifs.

Cette méthode se distingue des modes d'électrification actuellement pratiqués par son caractère incrémental et itératif.

### 2.1.3.1. Une approche incrémentale

L'électrification latérale est un mode d'électrification progressif pour les usagers comme pour les opérateurs s'articulant autour de l'augmentation parallèle de la taille des infrastructures électriques et de la qualité de service offerte à la clientèle.

Cette logique incrémentale part du constat que, si une vaste infrastructure électrique est indispensable pour offrir économiquement à une large population un service électrique « total », la construction directe de telles infrastructures dans les zones non encore électrifiées ne correspond ni aux besoins des usagers nouvellement électrifiés (consommant dans un premier temps peu d'électricité), ni aux capacités de paiement de ces usagers (notamment pour les coûts initiaux de raccordement), ni aux capacités des opérateurs locaux (ayant, par principe, une faible expérience dans la gestion d'infrastructures électriques).

Ce triple-surdimensionnement est la cause des échecs techniques et/ou économiques de la majorité des projets d'électrification menés en Afrique depuis plusieurs décennies.

### 2.1.3.2. Une approche itérative

Le caractère itératif de l'électrification latérale vise à lever la contrainte de la longueur du temps de retour sur investissement dans un environnement risqué en décomposant la construction des infrastructures électriques du XXIème siècle en une succession d'opérations d'investissement à temps de retour rapide selon une séquence de montées en grade correspondant à l'extension :

- des infrastructures (i.e. réseau et capacité de production installée),
- du service électrique délivré aux usagers.
- des compétences de l'opérateur et des outils à sa disposition.

## 2.2. UNE APPROCHE ORGANISATIONNELLE COLLABORATIVE

### 2.2.1. PRESENTATION

L'électrification latérale se distingue également des approches classiques en matière d'électrification par une organisation industrielle d'un nouveau type.

Son ambition est en effet de faire émerger en Afrique une industrie électrique de nouvelle génération ultra-décentralisée et collaborative tournée vers la captation de potentiels diffus (tant en termes de demande que de ressources énergétiques) sur un modèle différent de l'industrie électrique centralisée et intégrée ayant émergée au siècle dernier dans les pays du Nord pour capter des potentiels concentrés (également tant en termes de demande et de ressources énergétiques).

Loin du modèle des Utilities verticalement intégrées, le modèle d'électrification latérale promeut la constitution en Afrique d'une industrie horizontale composée d'une multitude d'opérateurs locaux indépendants collaborant de manière coordonnée<sup>30</sup> à la construction d'infrastructures locales qui s'interconnecteront progressivement.

Cette approche organisationnelle, rendue non seulement possible, mais aussi souhaitable par l'approche technologique présentée au paragraphe précédent est synthétisée dans le graphe de la page suivante.

<sup>30</sup> Plusieurs propositions sur la manière de coordonner ces opérateurs sont formulées au prochain chapitre.

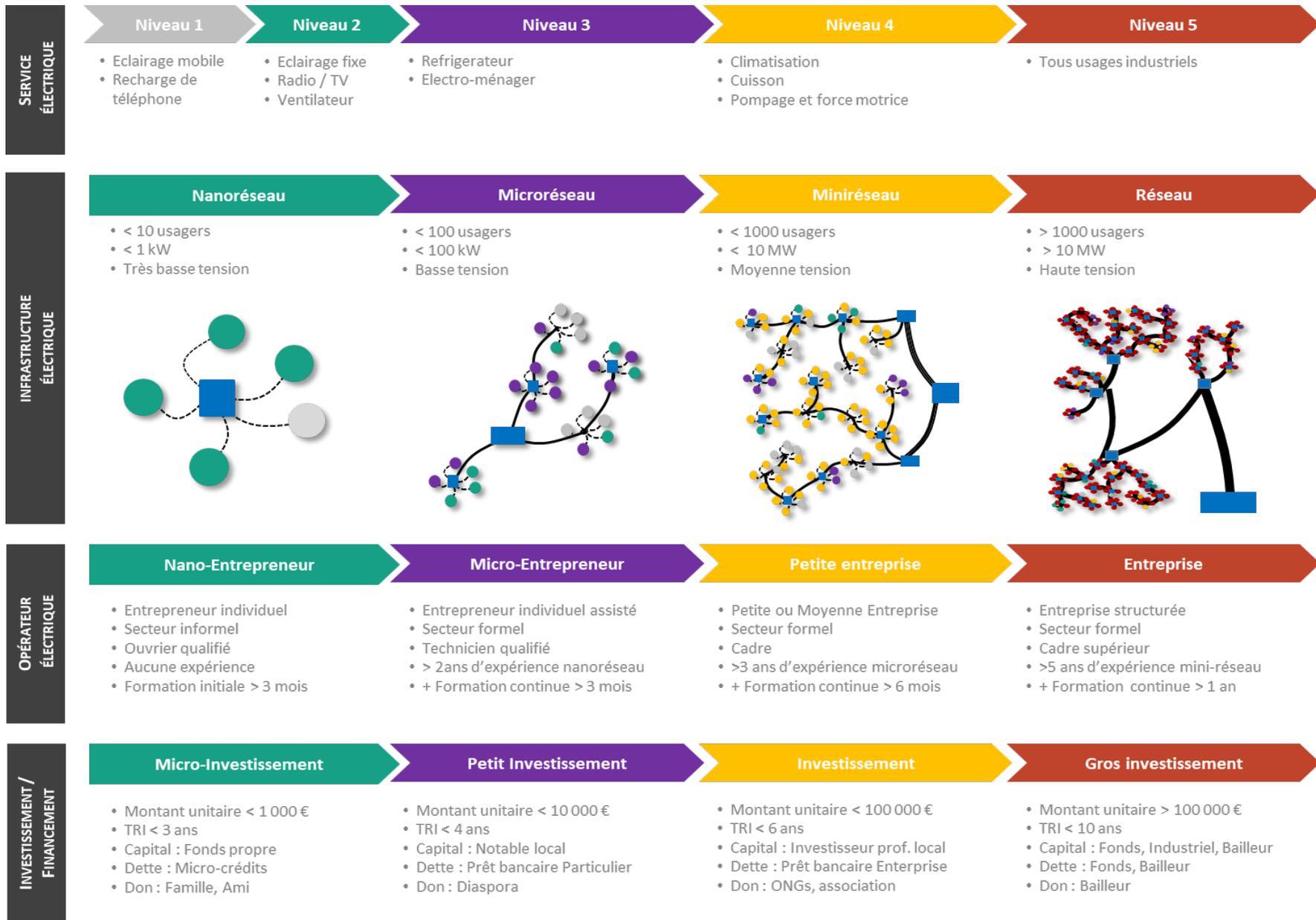


Figure 12 - Approche organisationnelle du modèle d'électrification latérale

### 2.2.1. FAISABILITE DE L'APPROCHE

Celle-ci est en effet rendue possible par le caractère incrémental de l'approche technologique mettant l'activité d'électrification rurale à la portée technique et financière de petits opérateurs ruraux se professionnalisant progressivement par la pratique.

#### 2.2.1.1. Enjeux techniques

La complexité de développement, construction et exploitation des systèmes électriques de l'électrification latérale varie avec leurs tailles, lesquelles augmentent progressivement (du nano-réseau au réseau) permettant ainsi à des opérateurs initialement peu qualifiés d'apprendre les bases des métiers du développement, de la construction et de l'exploitation d'infrastructures électriques sur des systèmes petits et simples (les nano-réseaux) et de se perfectionner progressivement en matière technique et de gestion pour devenir capable de déployer et opérer des infrastructures plus grandes et plus complexes (micro-réseaux puis mini-réseaux et/ou réseaux).

En effet, les nano-réseaux sont déployables et opérables par des très petits entrepreneurs individuels du secteur informel (niveau ouvrier qualifié), les micro-réseaux le sont par de petits entrepreneurs individuels du secteur formel (niveau technicien qualifié), les mini-réseaux par des TPE/PME et les réseaux nécessitent pour leurs parts des entreprises plus structurées.

#### 2.2.1.2. Enjeux financiers

Le montant unitaire et l'horizon de rentabilité des investissements augmentent également à chaque étape de développement des systèmes électriques latéraux rendant chaque étape successive compatible avec les capacités financières et les circuits de financement ouverts à des opérateurs se professionnalisant progressivement.

- L'investissement dans un nano-réseau (quelques centaines d'euros, TRI (Taux de Rentabilité Interne) de 2 à 3 ans) est ainsi à la portée financière d'un entrepreneur informel recourant à ses fonds propres, à des dons de son entourage ou au micro-crédit.
- L'investissement dans un micro-réseau (quelques milliers d'euros, TRI de 3 à 4 ans) devient à la portée financière d'un entrepreneur individuel

formel soutenu par des apports en capitaux de notables locaux, des dons de la diaspora ou des prêts bancaires dédiés aux particuliers.

- L'investissement dans un mini-réseau (quelques dizaines de milliers d'euros, TRI de 4 à 6 ans) est typiquement à la portée financière d'une petite ou moyenne entreprise pouvant bénéficier d'apports en capitaux d'investisseurs locaux professionnels, de dons d'associations ou d'ONGs soutenant le développement rural ou de prêts bancaires dédiés aux entreprises.
- L'investissement dans un réseau (plusieurs centaines de milliers ou millions d'euros, TRI de 6 à 10 ans) nécessitera pour sa part le recours à des financements en capital, don ou dette typiquement délivré par des fonds d'investissements, des bailleurs de fonds nationaux ou internationaux ou des industriels locaux ou étrangers.

### 2.2.2. INTERET DE L'APPROCHE

Les intérêts de cette approche sont multiples tant d'un point de vue opérationnel, que d'un point de vue sociétal.

#### 2.2.2.1. Intérêts opérationnels

Dans le contexte africain, ces modalités organisationnelles, basées sur le développement, la construction et l'exploitation des systèmes électriques latéraux par une multitude de petits exploitants indépendants propriétaires (ou quasi-propriétaires) de ses installations apparaissent particulièrement bien adaptées à la gestion de multiples d'opérations décentralisées réparties sur de vastes territoires.

En effet, cette approche permettant de responsabiliser les agents techniques et commerciaux au plus proche du terrain apparaît comme le meilleur moyen d'éviter les principales difficultés opérationnelles rencontrées par la quasi-totalité des opérateurs électriques ruraux africains :

- Les problématiques de fraude : Le retour d'expérience du commerce de l'énergie dans les zones africaines desservies par une entreprise centralisée montre que la maîtrise de la fraude<sup>31</sup> est un enjeu majeur d'équité, d'équilibre

<sup>31</sup> Des taux de « pertes non techniques » (i.e. énergie distribuée non facturée / énergie totale distribuée) supérieurs à 30 % sont communs parmi les opérateurs électriques africains et dépassent par endroit les 50%.

économique de l'activité et d'acceptabilité sociale. Bien que certains analystes continuent de chercher des explications sociologiques à ces comportements massifs de fraude, il est désormais bien établi que les causes profondes de cette situation sont avant tout d'ordre opérationnelles et que les responsabilités sont moins à chercher du côté des usagers que des agents techniques et commerciaux de terrain des opérateurs tolérant, profitant voir organisant ces comportements.

La faible responsabilisation de ces employés vis à vis du succès économique de leur entreprise, l'éloignement géographique et les faibles capacités de contrôle de leurs directions sur leurs activités quotidiennes, et leurs proximités avec les clients combinés à un environnement socio-économique où le business informel est davantage la norme que le salariat et où le paiement en espèces sans justificatifs est une habitude, poussent à son paroxysme la divergence des intérêts des opérateurs électriques et de leurs agents de terrain.

L'approche organisationnelle de l'électrification latérale vise à éliminer ces causes en rapprochant les centres de décisions du terrain et responsabilisant les agents de terrain vis-à-vis du succès ou de l'échec économique de l'activité d'électrification.

- Le maintien d'une haute qualité de service à la clientèle : La difficulté de la plupart des opérateurs électriques africains à maintenir une haute qualité de service à la clientèle s'explique dans une large mesure par les mêmes causes (i.e. déresponsabilisation des agents de terrain vis-à-vis de la réussite de l'entreprise), lesquelles ne suffisent toutefois pas à expliquer la totalité du phénomène.

L'absence de concurrence et d'alternatives pour les usagers au niveau local, l'équilibre économique précaires des modèles de réseaux classiques<sup>32</sup> et la complexité de l'exploitation de vastes systèmes électriques. L'approche entrepreneuriale locale du modèle d'électrification latérale apparaît la meilleure des réponses à l'ensemble de ces difficultés.

- La complexité et le coût des transports sur site : Le mauvais état général des infrastructures de transport plaide également pour un mode de gestion très décentralisé des infrastructures électriques.



*Figure 13 - Difficulté de transport du matériel et route inondée dans le nord de Madagascar*

- La difficulté de la planification : Le modèle d'électrification latérale privilégie l'adaptation en temps réel à la planification à priori pour réduire le temps de mise en œuvre des solutions d'électrification et répondre rapidement et de manière flexible aux besoins principaux des usagers où qu'ils se situent. Cette conception constitue un renversement de logique par rapport à l'électrification planifiée telle qu'elle est pratiquée à l'heure actuelle partout dans le monde.

Là où l'électrification planifiée tente (mais échoue bien souvent en Afrique) à construire une vision partagée entre les parties prenantes de l'infrastructure électrique cible à 10 ou 30 ans, l'électrification latérale vise à coordonner et adapter en continu les différentes opérations d'électrification émergeant de l'initiative d'une multitude de parties prenantes locales.

#### 2.2.2.2. Intérêts sociétaux

Au-delà de ses intérêts opérationnels, cette approche basée sur l'entrepreneuriat local est porteuse d'intérêts sociétaux fondamentaux. En optimisant le recours aux ressources humaines et financières locales, son impact sur l'emploi et le développement économique sont sans communes mesures avec les solutions alternatives d'électrification :

- Impact sur l'emploi : En mettant l'activité d'électrification à la portée d'entrepreneurs locaux initialement peu qualifiés, cette approche permet de maximiser l'impact de l'électrification sur l'emploi. Par ailleurs, en offrant à de nombreux entrepreneurs en devenir des opportunités économiques locales

<sup>32</sup> Investissements et coûts du capital élevés associés à des tarifs et des capacités de paiement des usagers bas. L'équilibre est encore plus compliqué lorsque les coûts d'exploitation sont

également élevés par exemple dans le cas de parcs de production majoritairement thermiques

jusque dans les zones rurales les plus reculées, elle contribue à limiter l'exode rural et à favoriser le développement économique sur l'ensemble du territoire.



*Figure 14 - Deux entrepreneurs locaux à Ambanja*

A l'opposé des pratiques d'électrification actuelles, l'électrification latérale est un mode d'électrification reposant davantage sur le capital humain que sur le capital financier. Plutôt que de reposer sur l'import de solutions technologiques et organisationnelles taillées pour les contraintes occidentales (fort coût du travail, faible coût du capital, faible coût du matériel, etc), celui-ci revendique en effet une forte intensité en main d'œuvre et une faible intensité en capital. En cela, il apparaît comme une approche particulièrement pragmatique.

- Impact sur le développement économique : Le développement d'infrastructures électriques peut-être porteur d'un double impact sur le développement économique local. Un impact direct lié à la valeur économique créée localement par l'activité d'électrification en elle-même, valeur créée par et au profit des acteurs du secteur électrique. Un impact indirect lié à la valeur économique créée localement par l'utilisation de l'électricité, valeur créée par et au profit des usagers productifs de l'électricité.

Si le modèle d'électrification par réseaux classiques est porteur d'impacts indirects incontestables, celui-ci n'a quasiment jamais en Afrique permis de générer d'impact direct local<sup>33</sup>. Le modèle d'électrification par système

individuel est pour sa part porteur d'impacts directs et indirects négligeables<sup>34</sup>.

A l'opposé, l'essentiel de la valeur économique créée par le déploiement de systèmes électriques latéraux n'est pas capté par ceux qui en fournissent les composants (nécessairement étrangers) mais par ceux qui les financent, les construisent et les exploitent (qui sont locaux). Par ailleurs, la compatibilité progressive de ces systèmes avec les usages productifs est garante d'impacts indirects certains.

<sup>33</sup> L'essentiel de la valeur ajoutée créée par le déploiement de ses solutions dont l'exploitation est rarement rentable en Afrique est en effet concentrée sur leur construction et leur financement. Celle-ci se trouve donc mécaniquement captée par des équipementiers, constructeurs et financeurs très majoritairement étrangers.

<sup>34</sup> Seule la valeur ajoutée créée par la distribution de ces solutions conçues et fabriquées à l'étranger génère un impact local direct mais celle-ci est faible. Par ailleurs, leur incompatibilité avec les usages productifs se traduit par un impact local indirect également faible.

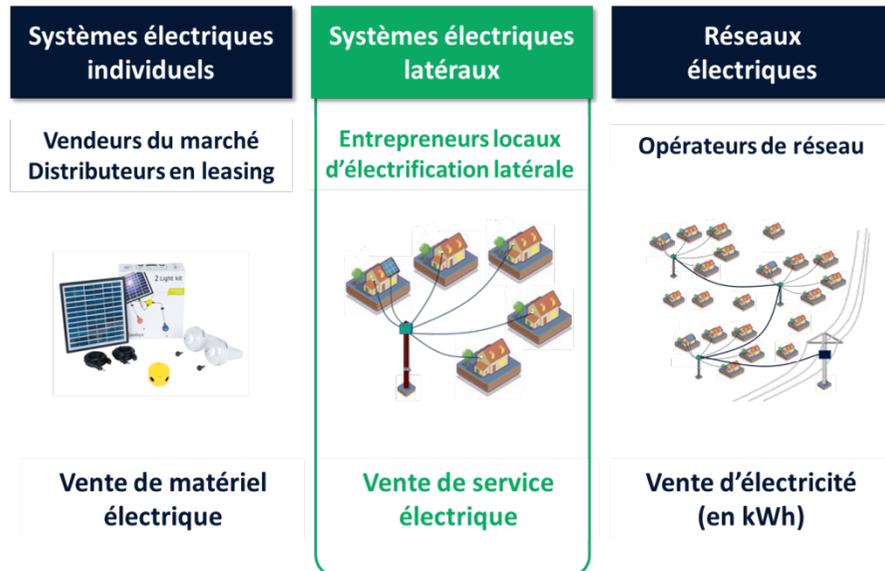
## 2.3. UNE APPROCHE MARKETING EXHAUSTIVE

### 2.3.1. PRESENTATION

L'électrification latérale se distingue enfin des approches alternatives d'électrification par une offre commerciale axée, ni sur la vente de matériel (modèle d'électrification par systèmes individuels vendus cash ou en leasing) ni sur la vente d'électricité (modèle d'électrification par réseau vendant des kwh) mais sur la vente de service électrique.

L'offre commerciale faite aux usagers est ainsi d'acheter l'accès journalier à un certain niveau de service électrique couvrant :

- L'alimentation en électricité (avec une puissance et une énergie maximum soutenable quotidiennement en fonction de plusieurs niveaux de forfaits) ;
- La fourniture, l'installation et la maintenance des équipements consommateurs (circuits intérieurs, points d'éclairage, chargeurs de téléphone, TV, Radio, etc).



— *Figure 15 - Approche marketing du modèle d'électrification latérale*

<sup>35</sup> Un village rural africain typique comptant quelques dizaines d'habitations est un marché trop petit pour 1 opérateur de réseau et 1 électricien en bâtiment mais constitue un marché très intéressant pour 1 entrepreneur d'électrification latérale combinant ces deux activités.

### 2.3.2. INTERET DE L'APPROCHE

Cette offre exhaustive présente de nombreux intérêts par rapport aux offres partielles des opérateurs de réseau classique et des distributeurs de solutions électriques individuelles.

#### 2.3.2.1. Avantages par rapport à l'offre des opérateurs de réseaux classiques

L'offre des opérateurs de réseau classique se limite à l'alimentation en énergie jusqu'à l'entrée du domicile de l'usager, les interventions sur les installations électriques intérieures relevant de la responsabilité des usagers ou d'électriciens en bâtiment.

Dans le contexte rural africain, l'absence de normes électriques convenablement respectées, le faible niveau de structuration du secteur électrique, les faibles capacités de paiement des usagers et leur dispersion géographique plaide pour une fusion de ces deux activités<sup>35</sup> pour améliorer la qualité de service globale délivrée aux usagers tout en augmentant les revenus de l'opérateur (revenus supplémentaires liés à la fourniture d'appareils électriques intérieurs) et en diminuant ses coûts d'investissement dans les capacités de production et stockage grâce à un contrôle accru des consommations des clients (les clients étant systématiquement équipés avec des appareils basse consommation).

#### 2.3.2.2. Avantages par rapport à l'offre des distributeurs de solutions électriques individuelles

A l'opposé, l'offre des distributeurs de systèmes électriques individuels couvre généralement la fourniture des équipements nécessaires à l'alimentation en électricité ainsi que les principaux équipements intérieurs d'utilisation (Circuits d'éclairage, Radio, TV, etc).

Pour les distributeurs de solutions individuelles en leasing, la propension supplémentaire des usagers à payer pour acquérir progressivement un produit (dont ils seront propriétaires au bout de 2 à 4 ans) par rapport à leur propension à payer indéfiniment pour un service ne fait aucun doute. Trois raisons principales sont avancées :

1. La propriété d'équipements individuels coûterait moins cher à terme aux usagers puisqu'ils cesseraient de payer pour leurs usages électriques à l'issue de la période de remboursement ;
2. La propriété d'équipements individuels (notamment de panneaux solaires) serait un marqueur social dans l'Afrique rurale ;
3. La propriété d'équipements individuels (i.e. l'augmentation de leur patrimoine) constituerait une sécurité pour des usagers vivant dans un environnement économique et social risqué.

Cette conviction relève, à notre avis, d'une analyse sociologique erronée du comportement socio-économique des ménages ruraux pauvres. En effet, nos constatations de terrain vont totalement à l'encontre de chacun de ces 3 arguments :

1. La durée de vie des équipements individuels distribués est rarement significativement supérieure à leur durée de remboursement et leur absence d'évolutivité conduit la majorité des ménages à s'équiper d'équipements complémentaires à l'horizon de cette durée ou à reprendre l'utilisation d'énergies traditionnelles temporairement abandonnées pour subvenir à l'augmentation progressive de leurs besoins.

Même si le coût à long terme entre peu dans le processus de décision des ménages ruraux, celui de l'acquisition d'équipements individuels apparaît, pour la majorité des usagers, significativement supérieur à celui de l'achat d'un service évolutif pour une durée indéterminée.

2. La large diffusion de matériel solaire (panneaux, batteries, etc) et de solutions d'éclairage (circuits mobiles d'éclairage plug & play) de mauvaise qualité jusque dans les zones rurales les plus reculées a profondément entamé l'image de ces solutions désormais largement considérées comme «des solutions du pauvre ».

A contrario, le raccordement à un réseau électrique et la construction de circuits électriques intérieurs fixes demeurent plus que jamais associés à une image de modernité. En plus d'être plus visible, le raccordement à un poteau électrique apparaît dans ces zones un marqueur social beaucoup plus fort que la propriété d'un panneau solaire.

3. La propriété d'équipements individuels dans le contexte rural africain est davantage considérée par les ménages ruraux comme un risque que comme une sécurité. En effet, le transfert de propriété des équipements de production et stockage d'électricité aux consommateurs s'accompagne du transfert à celui-ci des risques associés à ces systèmes (risque de malfaçon,

risque technique, risque de vol, risque d'obsolescence, etc) d'autant plus mal accepté par les ménages que ceux-ci sont peu armés pour y faire face.

**Pour toutes ces raisons, la préférence naturelle des ménages ruraux pauvres pour un paiement au service plutôt qu'au produit nous semble démontrée.**

### 3. Mise en œuvre du modèle d'électrification latérale

COMMENT ?

### 3. COMMENT ? MISE EN ŒUVRE DU MODELE D'ELECTRIFICATION LATÉRALE

Les principes du modèle ayant été exposé au chapitre précédent, l'objectif du présent chapitre est d'exposer des modalités possibles de son déploiement à grande échelle en présentant la démarche adoptée par la société Nanoé pour mettre en œuvre ce modèle dans le Nord de Madagascar.

**La société Nanoé, à l'origine du concept d'électrification latérale, est à notre connaissance la seule organisation travaillant actuellement à la mise en œuvre de ce modèle d'électrification. D'autres modalités de mises en œuvre de ce modèle par d'autres acteurs publics, privés ou associatifs sont possibles et doivent être recherchées, expérimentées et développées.**

La démarche de déploiement de ce modèle d'électrification adoptée pour cette expérimentation repose sur une combinaison :

- d'innovations matérielles,
- d'innovations logicielles, et
- d'innovations de modèles d'affaires.

Les principales innovations de chacun de ces trois types sont successivement présentées ci-dessous en mettant en évidence les éléments où l'intelligence technologique et organisationnelle réside.

#### 3.1. INNOVATIONS MATÉRIELLES

Les principales innovations techniques mises en œuvre pour déployer le modèle d'électrification latérale sont composées :

- D'une technologie propriétaire de nano-réseaux électriques,
- De technologies en cours de développement de micro-réseaux latéraux constitués par interconnexion de plusieurs nano-réseaux.

##### 3.1.1. LE NANO-RESEAU ELECTRIQUE

Les nano-réseaux développés lors de cette expérience de terrain sont des systèmes solaires collectifs alimentant en courant continu (12 ou 24 V) 4 à 6 foyers achetant en prépaiement par mobile l'accès à la journée à un service électrique adapté.

Ces nano-réseaux constituent les briques élémentaires du modèle d'électrification latérale dans la mesure où ceux-ci regroupent localement :

- **Toutes les composantes élémentaires d'un système électrique pouvant fonctionner de manière autonome ou interconnectée :**
  - des unités de production d'électricité,
  - des unités de stockage d'électricité,
  - des ouvrages de distribution de l'électricité,
  - un système de vente de l'électricité,
  - un système de gestion dynamique de l'équilibre Offre-Demande,
- **Toutes les qualités indispensables pour servir de support à l'électrification latérale de l'Afrique :**
  - Ecologique : l'électricité produite et distribuée sur les nano-réseaux est 100% renouvelable et sans émission de gaz à effet de serre, condition indispensable à la soutenabilité environnementale de ce modèle d'électrification.
  - Economique : les nano-réseaux sont conçus de manière à pouvoir être rentabilisés en moins de 3 ans par leurs exploitants, condition indispensable à la soutenabilité économique de ce modèle d'électrification.

- **Flexible** : les nano-réseaux sont conçus pour délivrer à chaque usager un service énergétique de meilleure qualité, plus pratique et moins cher que les alternatives offertes par les énergies traditionnelles, les systèmes individuels ou les réseaux. Leur faculté à s'adapter à l'évolution des besoins et des capacités de paiement de leurs utilisateurs vise à faire abandonner définitivement à ceux-ci les énergies traditionnelles, condition indispensable à la soutenabilité sociale de ce modèle d'électrification.
- **Evolutif** : les nano-réseaux sont conçus pour pouvoir facilement s'interconnecter entre eux ou avec des réseaux tiers pour profiter des avantages apportés par des réseaux de taille supérieure au fur et à mesure de l'augmentation de la demande énergétique de ses usagers.
- **Intelligent** : les nano-réseaux sont équipés de capacités élémentaires et évolutives de gestion décentralisée de l'information (collecte, traitement, stockage, communication) relative aux usages énergétiques de leurs usagers et à leurs propres performances.

Chacune de ces cinq composantes est succinctement décrite dans les paragraphes ci-dessous.

### 3.1.1.1. La Production : Accent sur l'écologie

L'unité de production des nano-réseaux est constituée d'un ou plusieurs panneaux photovoltaïques montés sur des structures solidement ancrées sur le toit de l'un des foyers raccordés.

La capacité de production installée varie de 100 à 300 Wc<sup>36</sup> en fonction du nombre d'usagers raccordés au nano-réseau et de leurs besoins énergétiques.

### 3.1.1.2. Le Stockage : Accent sur l'économie

L'unité de stockage est constituée de batteries d'accumulateurs localisée dans un coffre dédié, aéré, et scellé, installé chez l'un des usagers raccordés ; elle est dimensionnée pour pouvoir stocker au moins 3 jours de consommations afin d'assurer un taux de disponibilité maximal du service dans les conditions locales d'ensoleillement.

<sup>36</sup> Ces capacités ont été déterminées sur la base des besoins identifiés dans la zone d'expérimentation. La mise en œuvre de systèmes de 50 à 500 Wc ne ferait toutefois face à aucune limite technique majeurs.

Les batteries étant le poste de coût le plus important du système, c'est sur elles que se fonde la performance économique du nano-réseau.

Le choix d'une technologie de batterie (à capacité et fiabilité données) résulte pour tout concepteur de systèmes solaires photovoltaïques d'un compromis entre trois critères :

- La quantité de maintenance requise (variant d'aucune à des interventions légères trimestrielles),
- La durée de vie (variant de 1 à 10 ans),
- Le prix (variant de 1 à 5).

Alors que le modèle économique des fabricants de systèmes individuels les oblige à opter pour des batteries sans maintenance et à durée de vie maximisée, le modèle de vente de service électrique permet l'utilisation de batteries ultra-économiques<sup>37</sup>. Par ailleurs, la mutualisation des capacités de production et de stockage au niveau de plusieurs ménages permet également des économies substantielles.



*Figure 16- Coffres en bois fabriqués localement servent à accueillir les batteries*

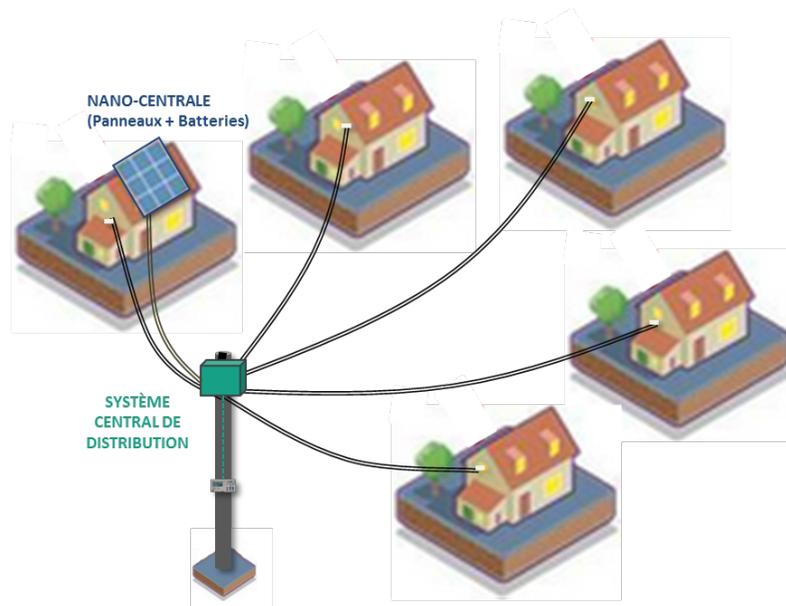
Ces particularités de conception permettent aux nano-réseaux d'être moins chers à l'installation que les systèmes individuels pour la quasi-totalité des niveaux de service électrique (au-delà du niveau 1).

<sup>37</sup> Le haut coût du capital, le faible coût du travail et la chute en cours du prix des batteries plaident pour le recours en Afrique à des batteries d'une durée de vie certes un peu plus courte et nécessitant quelques entretiens mais significativement moins cher.

### 3.1.1.3. La Distribution : Accent sur l'évolutivité

Les ouvrages de distribution des nano-réseaux sont constitués des équipements permettant la répartition de l'électricité produite des panneaux solaires vers les usagers (câbles de branchement, borniers, ancrages sur façade, poteaux électrique, protections électriques, etc).

Les ouvrages de distribution des nano-réseaux sont conçus de manière à pouvoir s'adapter facilement à l'évolution des besoins de leurs utilisateurs et des conditions environnantes (notamment aux opportunités de réalisation d'économies d'échelle par interconnexion avec des systèmes électriques voisins).



*Figure 17 - Schéma de principe d'un nano-réseau*



*Figure 18 - Nano réseau avec le contrôleur en haut du poteau de distribution et les câbles raccordés au panneau PV, à la batterie et aux habitations*

La distribution d'électricité au sein d'un nano-réseau est réalisée en courant continu très basse tension pour des raisons :

- **Economiques** : l'absence de conversion alternatif/continu de l'électricité produite par les panneaux solaires permet de réduire le coût du système et d'en améliorer le rendement,
- **Environnementales** : la disponibilité initiale de seul courant continu très basse tension contraint les utilisateurs à opter pour des équipements basse consommation dès leur première électrification (éclairage LED, etc).
- **De sécurité** : la très basse tension permet de limiter les dangers électriques auxquels sont exposés des usagers découvrant l'électricité à domicile.

La totalité des ouvrages de distribution des nano-réseaux est dimensionnée pour être compatible avec une augmentation progressive des puissances transitées vers chaque usager au rythme de leurs augmentations de forfaits ou l'augmentation de la tension de distribution lorsque les nano-réseaux s'interconnecteront entre eux ou avec un réseau tiers (i.e. Montée en gamme) et les bornes de raccordement des usagers sont conçus de manière à ce que les circuits intérieurs très basse tension courant continu puissent être conservés par

les clients au moment de cette montée en gamme et éventuellement complétés par des circuits complémentaires basse tension alternatifs.

Ces caractéristiques permettent de faire des nano-réseaux des équipements totalement évolutifs conçus pour accompagner de manière optimale les usagers dans leurs parcours d'électrification (du niveau 1 au niveau 5) et les seuls systèmes actuellement compatibles avec le modèle d'électrification latérale.

#### 3.1.1.4. Le système de vente : Accent sur la flexibilité et la sécurisation des paiements

Les nano-réseaux intègrent un système de vente de type Pay-as-you-go permettant aux usagers :

- **De choisir le niveau de service électrique souhaité** : plusieurs forfaits étant possibles en fonction du nombre de points lumineux et de prises souhaités et le passage de l'un à l'autre est réalisé de manière souple.
- **D'accéder au service électrique souscrit pendant une certaine durée** : le comptage à la journée offre le double avantage d'être plus facilement compréhensible par les usagers et significativement moins coûteux que le comptage au kilowattheure<sup>38</sup>.
- **De prépayer leurs consommations** : le prépaiement permet aux usagers d'adapter leurs consommations à leurs trésoreries plutôt que l'inverse et constitue pour l'exploitant une assurance contre le risque de non-recouvrement et de fraude<sup>39</sup>.
- **De payer en cash ou par paiement mobile** : l'accès de chaque usager au service électrique est géré par une plateforme de paiement centralisée et sécurisée pilotée par la société Nanoé recevant des paiements mobiles et envoyant par SMS des codes permettant le déblocage des systèmes pour la durée correspondante.

Les usagers disposant d'un compte mobile money auprès d'un opérateur téléphonique peuvent effectuer directement ces paiements et recevoir ces codes sur leurs téléphones personnels. Ceux n'en disposant pas peuvent payer en cash un intermédiaire réalisant la transaction pour eux (l'exploitant du nano-réseau, un ami, un voisin, un point de vente mobile money, une épicerie, etc).

L'ensemble de ces modalités permet d'offrir aux usagers de nano-réseaux une flexibilité permise par aucune autre offre d'accès à l'électricité.

#### 3.1.1.5. Le comptage et la gestion de l'équilibre Offre-Demande : Accent sur l'intelligence

L'optimisation dynamique de l'équilibre Offre-Demande est l'enjeu principal de rentabilisation de tout système électrique.

Les nano-réseaux développés pour l'expérimentation incluent des contrôleurs d'énergie dotés de :

- **Capteurs** (permettant le contrôle de la puissance et de l'énergie quotidienne souscrite par les usagers<sup>40</sup>, l'état de charge de la batterie, la détection de tentative de fraude, etc)
- **Processeurs programmables** (permettant le décodage des codes de recharge, le traitement local de données de fonctionnement, la révision des règles de distribution ou des modalités tarifaires, etc)
- **Mémoires** (permettant l'enregistrement des données de fonctionnement du système)
- **Interfaces de communication bidirectionnelles** (interfaces homme-machine compatibles avec une montée en gamme machine-à-machine)

Ce système permet non seulement d'optimiser la distribution d'électricité pour limiter les contraintes sur le stockage en temps réel mais également de collecter, prétraiter et formater un ensemble de données d'usages permettant à l'exploitant

<sup>38</sup> Le coût du comptage individuel de précision métrologique pour des usagers consommant quelques dizaines ou centaines de wattheure par jour est prohibitif et techniquement complexe.

<sup>39</sup> Lorsque les crédits d'un consommateur sont épuisés, son alimentation électrique est automatiquement coupée, non à l'entrée de chez lui, mais au niveau du contrôleur d'énergie située en haut de poteau (pour limiter le risque de fraude)

<sup>40</sup> Les mesures des consommations énergétiques ne servent pas directement à la facturation (qui se fait à la journée) mais à vérifier le non dépassement de la quantité d'énergie pouvant être soutirée quotidiennement autorisée par le forfait de l'utilisateur ce qui permet de tolérer une précision moins fine sur ces comptages et diminuer significativement le coût des équipements de comptage.

d'anticiper les besoins de changement de forfait d'un consommateur et d'étudier les opportunités d'extension de capacités ou d'interconnexion du nano-réseau.



*Figure 19 – Carte mère, compteur/contrôleur et interface de communication*

Ce système de comptage et de contrôle d'énergie est innovant sous plusieurs aspects :

- **C'est un compteur/contrôleur multi-clients.** Dans une même enveloppe<sup>41</sup>, il enregistre et contrôle de façon indépendante l'alimentation énergétique de tous les usagers raccordés au nano-réseau en permettant, sur une interface commune (située en bas de poteau), un dialogue avec chacun en lui permettant de saisir ses codes de recharges de crédits achetés par paiement mobile et lui donnant accès à son solde. Il assure l'interruption de la fourniture en cas de dépassement de seuil autorisé.
- **Le compteur/contrôleur permet l'enregistrement de données de fonctionnement multiples** (courbes de charges de chaque usager au pas 10 min, courbes de niveau de charge de la batterie, dépassements de puissance, court-circuits, heure des recharges de crédits, etc) relevables et consultables avec un smartphone par l'opérateur<sup>42</sup>.



*Figure 20 – Interface en bas de poteau*

<sup>41</sup> L'unicité de l'enveloppe réduit considérablement le coût.

<sup>42</sup> Les compteurs/contrôleurs de Nanoé n'intègrent pas de capacités de relèves à distance pour des raisons techniques (absence de réseau téléphonique dans de nombreuses zones de

déploiement de nano-réseaux) et économiques (coûts élevés du transfert de données sur les réseaux mobiles en Afrique) mais sont compatibles avec une telle évolution lorsque celle-ci deviendra pertinente.

### Quelles attentes liées à l'intelligence du système ?

Les attentes liées à l'intelligence dans les nano-réseaux ne sont pas de même nature que les attentes mises en avant dans les réseaux matures des pays développés.

Dans ces derniers, les objectifs ciblent d'abord le coût de la gestion de réseau, la qualité de la fourniture, la fluidité du parcours client, la maîtrise de la demande, la réponse à certains besoins nouveaux (insertion de la production indépendante, accroissement du parc de véhicules électriques...).

Alors que dans les pays occidentaux, l'intelligence est utilisée d'abord pour automatiser certaines fonctions afin de réduire les coûts de main d'œuvre associés, en Afrique, c'est la maîtrise du coût du capital qui est visée. La maîtrise des charges de main d'œuvre n'est pas une priorité en raison de son faible coût unitaire et de la volonté politique de développer l'emploi.

### Dans le contexte africain, les attentes vis-à-vis de l'intelligence des systèmes électriques visent les 2 priorités suivantes :

- **La sécurisation des ventes** : L'objectif recherché est de supprimer les transactions monétaires en espèces afin d'éviter les déplacements (couteux en zone rurale) et d'empêcher tout détournement de la part des agents commerciaux de terrain
- **La gestion de la rareté d'énergie** : L'analyse des consommations unitaires des clients montre que les usages réels sont souvent inférieurs aux estimations. Compte tenu du coût des investissements, il y a intérêt à cerner le mieux possible les vrais besoins.

L'intelligence des systèmes permet ce suivi et peut ainsi conduire à une réelle optimisation des équipements (panneaux et batterie). Cette fonction se met

en œuvre de manière basique dans chaque nano-réseau, puis de façon plus sophistiquée dans un groupe de nano-réseaux interconnectés.

## 3.1.2. LES MICRO-RESEAUX LATÉRAUX

### 3.1.2.1. Principes généraux de fonctionnement

Les technologies d'interconnexion en cours de développement par la société Nanoé visent à rendre possibles l'application des principes d'incrémentation, de flexibilité et de réactivité dans la construction d'infrastructures électriques latérales.

Ces technologies visent à permettre de manière souple plusieurs évolutions :

- Connexion de plusieurs nano réseaux entre eux en conservant le système très basse tension de distribution (12 ou 24 V) vers les usagers domestiques raccordés et les fonctionnalités du contrôleur des nano-réseaux. Tout en conservant leurs circuits intérieurs DC, l'installation de convertisseur DC/AC chez les usagers en faisant la demande permettra à ce stade de compléter leurs installations intérieures avec des circuits de prise 220 Vac et d'augmenter l'étendue du service électrique délivré.
- Raccordement de nouveaux usagers non domestiques alimentés directement en 220 Vac par l'intermédiaire de contrôleurs spécifiques « Gros client<sup>43</sup> ».

Pour les gros clients comme pour chaque nano-réseau interconnecté, un taux d'autosuffisance énergétique relativement élevé devra être visé, la mise en réseau servant principalement à pallier les déséquilibres temporaires<sup>44</sup>.

L'interconnexion se fera par l'intermédiaire d'un bus DC en 48V pour des raisons techniques (gestion de la stabilité du réseau plus simple en DC qu'en AC), économique

<sup>43</sup> Les gros clients considérés ici sont des petites activités économiques des zones rurales africaines (décortiquerie, petite menuiserie, salon de coiffure, boîte de nuit, etc) et non des gros clients industriels.

<sup>44</sup> Selon les modélisations effectuées pour l'expérimentation sur des villages typiques de la zone d'intervention, la puissance maximale transitée entre deux nano-réseaux serait inférieure à 1 kW.

(la multiplication des conversions DC/AC engendrerait un surcoût d'investissement important) et de sécurité (niveau de tension non létal).

L'intelligence du réseau devra permettre l'équilibrage des niveaux de charge des batteries, le pilotage de la charge en fonction de l'énergie résiduelle et le suivi des transferts d'énergie entre nano-réseaux éventuellement exploités par des opérateurs différents.

Cette intelligence décentralisée ouvre la voie à une meilleure utilisation de l'énergie au sein d'un ensemble de réseaux. En effet, l'interconnexion permet d'utiliser au mieux les effets du foisonnement entre consommations et est d'autant plus utile que les usages raccordés sont différents.

### 3.1.2.2. Mise en œuvre

La mise en œuvre de ces principes généraux nécessite le développement de plusieurs organes de réseaux dédiés :

- **Des modules d'interconnexion** : convertisseurs DC/DC bidirectionnels intelligents reliant chaque nano-réseau au bus DC d'interconnexion et permettant d'optimiser de manière dynamique les flux énergétiques entre les différents nano-réseaux<sup>45</sup>
- **Des contrôleurs Gros client** combinant les fonctions de contrôleur, modules d'interconnexion et conversion DC/AC pour les gros consommateurs non domestiques dont les principaux usages seraient en courant alternatif.

Le schéma suivant illustre la topologie envisagée pour ces micro-réseaux latéraux<sup>46</sup>.

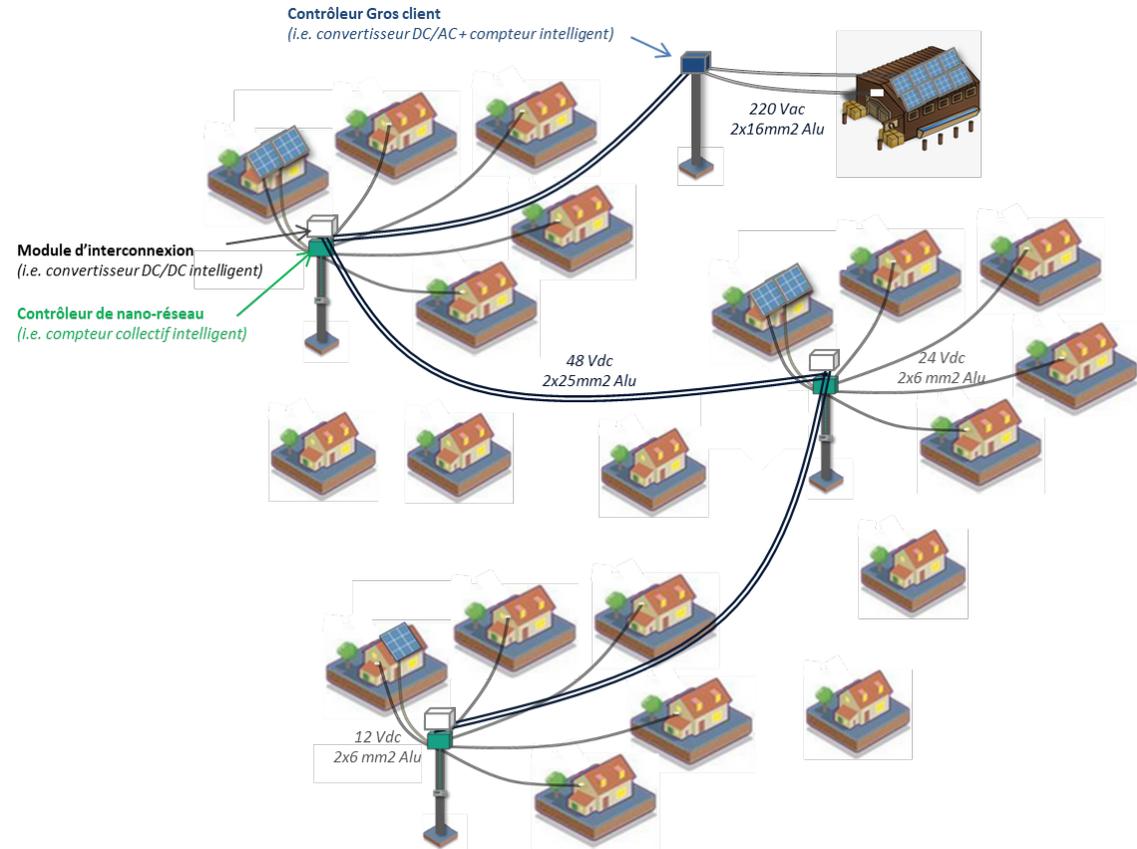


Figure 21 - Schéma de principe d'un micro-réseau latéral

<sup>45</sup> Le convertisseur de chaque nano-réseau présentant au bus DC une impédance reflétant l'état de charge de sa batterie.

<sup>46</sup> Ces technologies non disponibles sur le marché sont actuellement en cours de développement et seront testées en conditions réelles par Nanoé au cours du premier semestre 2018.

## 3.2. INNOVATIONS DE MODELE D’AFFAIRES

L'approche développée vise à structurer des filières locales d'électrification décentralisée constituées de petits entrepreneurs locaux (ou « nano-entrepreneurs ») chargés d'identifier les opportunités puis de financer, construire et exploiter des nano-réseaux sous un modèle de franchise.

L'objectif des plateformes d'électrification latérale géré par le franchiseur<sup>47</sup> est de mettre localement à disposition des nano-entrepreneurs tous les éléments indispensables pour faire de l'électrification latérale une activité rentable en leur donnant accès :

- Aux savoir-faire
- Aux financements
- Aux matériels
- Aux outils
- Aux marchés

Chacun de ces cinq éléments est successivement détaillé dans les paragraphes ci-dessous.

### 3.2.1. ACCES AUX SAVOIR-FAIRE

La construction et l'exploitation de systèmes électriques, même aussi petits que des nano-réseaux, sont des activités nécessitant :

- Les compétences techniques d'un électricien pour maîtriser les technologies composant le système.
- Les compétences en gestion d'un entrepreneur pour maîtriser les données économiques de l'activité.

Le premier rôle des plateformes est de permettre aux nano-entrepreneurs d'acquérir ces savoir-faire en :

- **Les sélectionnant** sur la base de compétences minimales (lecture, écriture, calcul simple et usage d'un smartphone, connaissance de la

région) au cours de tests périodiques réalisés localement et ouverts à tous les jeunes de moins de 30 ans.

- **Les formant** de manière optimale par promotion selon un parcours accéléré de formation de 3 mois alternant théorie en salle et pratique sur le terrain de tous les savoir-faire nécessaires à l'installation et l'exploitation d'un nano-réseau (démarchage commercial, dimensionnement, installation, relation clientèle, maintenance, suivi des performances, etc). Chaque nano-entrepreneur formé installe son premier nano-réseau en cours de formation et des tests et habilitations successives permettent de s'assurer qu'il en maîtrise le fonctionnement.
- **Les accompagnant** sur le long terme par l'organisation de sessions de rappels et de cursus de formation « Micro-entrepreneurs » pour les nano-entrepreneurs souhaitant se lancer dans l'interconnexion de plusieurs nano-réseaux.
- **Les évaluant** régulièrement pour s'assurer de leur correct respect des standards de service.
- **Les assistant** au quotidien en stimulant l'entraide au sein de la communauté des nano-entrepreneurs pour régler les problématiques standards et en maintenant localement une expertise technique apte à régler les problématiques nouvelles ou complexes.

La philosophie de cette offre d'accès aux savoir-faire est de construire progressivement et par la pratique le socle de compétences locales indispensables au modèle d'électrification latérale.

### 3.2.2. ACCES AU FINANCEMENT

Le coût d'investissement dans un nano-réseau pour un entrepreneur est de quelques centaines d'euros (variable en fonction du dimensionnement du système). La totalité des éléments le composant ont une durée de vie supérieure à 20 ans à l'exception de la batterie représentant un tiers du coût du système et qui doit être remplacée tous les 4 ans (en fonction de ses conditions d'utilisation et de la qualité de la maintenance réalisée).

<sup>47</sup> En contrepartie d'une commission sur l'ensemble des ventes de services électriques par les franchiseurs aux usagers finaux et d'une exclusivité d'approvisionnement en matériels auprès du franchiseur.

Le deuxième rôle des plateformes d'électrification latérale est d'assurer aux nano-entrepreneurs un accès facilité à des solutions de financement souples afin de leur permettre d'en installer et exploiter un nombre croissant de nano-réseaux.

Ces solutions incluent :

- **Des subventions** à l'investissement dégressives pour le financement des premiers systèmes,
- **Des microcrédits** entrepreneuriaux d'une maturité de 3 ans (horizon de rentabilité du système),
- **Des participations** en capital pour les nano-entrepreneurs ayant fait leurs preuves et souhaitant changer d'échelle.

### 3.2.3. ACCES AUX MATERIELS

L'assemblage des composants des nano-réseaux est réalisé localement par les nano-entrepreneurs.

Le troisième rôle des plateformes d'électrification latérale est de mettre à leur disposition en un lieu unique tous ces composants à la provenance diverse :

- **Importation** (panneaux solaires et batteries),
- **Achat local à des importateurs** (câblage, ancrages, connectique, etc),
- **Achat local à des fabricants** (poteaux bois, boîtiers plastiques, etc), ou
- **Fabrication locale par le franchiseur** (contrôleur de nano-réseaux).

L'objectif de ce service d'accès au matériel est de permettre aux nano-entrepreneurs de bénéficier de circuits d'approvisionnement optimisés en termes de qualité, de prix et de disponibilité.

Le franchiseur organise également un marché secondaire de ces matériels pour faciliter et sécuriser les transactions entre nano-entrepreneurs et la collecte de l'ensemble des batteries usagées en vue de leurs recyclages.

### 3.2.4. ACCES AUX OUTILS

Le quatrième rôle des plateformes d'électrification latérale est d'offrir aux nano-entrepreneurs un accès à des outils partagés pour l'optimisation technique et économique de leurs activités de construction et d'exploitation.

Ces outils incluent une plateforme informatique et des plateformes logistiques.

**La plateforme informatique** développée par le franchiseur regroupe un ensemble de fonctionnalités indispensables pour accompagner et superviser le déploiement de milliers de nano-réseaux par des centaines de nano-entrepreneurs (cf. plus bas).

**Les plateformes logistiques** permettent également de mettre localement à disposition des nano-entrepreneurs un large spectre d'outils physiques indispensables pour construire ou exploiter des nano-réseaux et notamment des espaces de travail et de stockage (bureaux et ateliers partagés), des équipements informatiques, des véhicules, de l'outillage et des équipements de sécurité.

### 3.2.5. ACCES AUX MARCHES

Le dernier rôle fondamental de la plateforme d'électrification latérale est d'ouvrir des débouchés aux nano-entrepreneurs franchisés en faisant connaître et reconnaître largement la qualité du service en mutualisant :

- **La publicité sur une marque commune** par la conduite de campagnes publicitaires locales (affichage, radio, papier) et d'évènements itinérants de démonstration dans les marchés et villages alentours. Le démarchage de prospects en porte à porte par les nano-entrepreneurs est également organisé et cadré par la plateforme afin d'en assurer l'efficacité.
- **Le contrôle Qualité** pour assurer l'homogénéité de la qualité de service délivrée par les différents nano-entrepreneurs en contrôlant le respect par ceux-ci des standards de qualité du franchiseur. L'acceptation d'un tel contrôle est une condition sine qua non du rattachement d'un nano-entrepreneur à une plateforme et de l'usage par celui-ci de la marque du franchiseur.

### 3.3. INNOVATIONS LOGICIELLES

#### 3.3.1. OBJECTIFS DE LA PLATEFORME INFORMATIQUE

Superviser et coordonner l'activité d'une multitude de petits opérateurs locaux est un enjeu logistique et organisationnel majeur qui ne saurait être relevé sans outils informatiques dédiés.

Pour relever ce défi, le modèle d'électrification latérale appelle de ses vœux le développement de plateformes informatiques de services dédiés aux opérateurs d'électrification latérale sur le modèle des plateformes de l'économie collaborative<sup>48</sup> fleurissantes dans les pays en développement pour organiser et sécuriser les échanges marchands de particuliers à particuliers ou de particuliers à petits entrepreneurs notamment dans les domaines du transport (Blablacar, Uber, etc), de la livraison à domicile (Deliveroo, etc), de l'hôtellerie (Booking, Tripadvisor) ou de la vente en ligne (Amazon, LeBonCoin).

C'est la voie sur laquelle la société Nanoé a choisi de s'engager pour son expérimentation au nord de Madagascar en développant un système d'information et une suite d'applications mobiles disponibles sur Smartphone permettant de cadrer et accompagner les opérateurs d'électrification latérale dans l'ensemble des composantes de leurs activités :

- Démarchage commercial (Enquêtes de terrain et édition de devis)
- Développement de nano-réseaux (Dimensionnement, Chiffrage économique, recherche de financement, approvisionnement, etc)
- Construction de nano-réseaux (planification, suivi du matériel, MES, etc)
- Exploitation (vente de crédits, maintenance et dépannage, gestion clientèle, optimisation de parc, etc).

Les objectifs de cette plateforme informatique sont à la fois de :

- Faciliter l'activité des opérateurs en leur fournissant tous les outils logiciels nécessaires à la conduite de leur activité de manière efficace.
- Informatiser et centraliser l'ensemble des données d'activité (commerciales, techniques, financières) pour assurer une meilleure supervision par le franchiseur de l'activité de l'ensemble des franchisés, conditions indispensables à l'homogénéisation de la qualité de service délivrée.

- Organiser et traiter l'ensemble de ces données pour fournir à chaque opérateur des outils efficaces de suivis de son activité et d'aide à la décision.
- Sécuriser et automatiser l'ensemble des transactions financières liées à l'activité d'électrification latérale (paiements du service par les usagers, achats de matériels par les opérateurs, remboursements de crédits par les opérateurs ou rémunération des investisseurs tiers, prélèvements des commissions du franchiseur, etc),

#### 3.3.2. FONCTIONNALITES DE LA PLATEFORME INFORMATIQUE

La plateforme informatique développée est notamment composée par:

- Un Système d'Information Géographique de Marché répertoriant un ensemble de données cartographiées sur les usages énergétiques et les capacités de paiements des habitants. Ce SIG est alimenté par les enquêtes de terrain réalisées sur une application mobile par les nano entrepreneurs dans le cadre de leurs démarchages commerciaux. Cet outil vise à permettre d'identifier et localiser les opportunités de développement de nano-réseaux ou d'interconnexions de ces systèmes.
- Un Système d'Information Géographique d'Exploitation répertoriant un ensemble de données cartographiques sur les systèmes installés en exploitation. Ce SIG inclue des données de nature technique (capacité installée, année d'installation, N° de référence des principaux composants, etc), commerciale (nom des clients, forfaits souscrits, historique des recharges, des réclamations, etc) et d'usages (courbes de charges de chaque usager, date des recharges, historique d'évènements, etc).
- Une plateforme de prépaiement mobile permettant de centraliser et sécuriser tous les paiements de la clientèle et gérer le déblocage des systèmes.
- Des outils d'assistance à l'exploitation comme des solutions de gestion de maintenance assistée par ordinateurs permettant le suivi des maintenances réalisées sur chaque système et l'envoi d'ordres automatiques de réalisation de maintenance ou de dépannages.
- Des outils de gestion permettant l'enregistrement de l'ensemble des transactions réalisés par chaque nano-entrepreneur et le suivi comptable de son activité.

<sup>48</sup> Non obstant le fait que l'appellation « collaborative » est pour nombre d'entre elles discutable.

### 3.4. PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES NANO RESEAUX

Un des points forts de l'électrification latérale est de pouvoir s'adapter à l'évolution de la demande grâce à l'interconnexion des réseaux.

Cette stratégie d'interconnexion n'est pas encore totalement arrêtée mais les axes essentiels et les questions résiduelles sont détaillés ci-dessous.

Le besoin d'évolution viendra de deux facteurs :

- L'extension géographique d'une zone desservie et l'intérêt économique qu'il y aura à relier les réseaux pour bénéficier du foisonnement des usages
- L'augmentation des puissances unitaires des clients compte tenu de la croissance de l'activité économique permise par la desserte électrique.

#### Étape 1 : Des usages limités

Dans un premier temps, les usages attendus par les clients sont les suivants :

- Quelques lampes à LED
- Recharge téléphone
- Alimentation microordinateur
- Alimentation radio et TV

C'est le réseau en 12V continu, regroupant de 4 à 6 logements qui se justifie. Il permet l'alimentation en toute sécurité grâce à l'usage d'une solution très basse tension. En revanche, l'installation tant réseau qu'intérieure est réalisée en technique 220 V pour permettre un changement ultérieur. Notons en outre que les appareils concernés par ce niveau d'usage peuvent être alimentés aisément en très basse tension. Leur alimentation en 220 V sous-entend en effet une transformation dès l'étage d'entrée de l'appareil et les modèles 12V sont en général disponibles.

#### Étape 2 : Evolution des usages

Dans un second temps, les clients sont intéressés par des usages de froid pour la conservation des denrées alimentaires :

- Réfrigérateur : une puissance de 100W utilisée 12h par jour correspond à environ 2m<sup>2</sup> de panneau PV avec stockage
- Congélateur : une puissance de 150 W utilisée 16h par jour correspond à environ 4m<sup>2</sup> de panneau avec stockage

Cette évolution peut se réaliser selon les deux démarches suivantes :

- **Matériel 12v** alimenté directement sur le nano réseau existant en augmentant la puissance de pointe produite.

Cette solution présente l'avantage de recourir à des matériels plus économes en énergie (donc induisant une surface de panneau réduite) et de maintenir l'installation préexistante en l'état. L'inconvénient réside dans le coût des appareils, lié essentiellement à leur faible diffusion qui exclut l'effet d'échelle.

- **Matériel 220V** alimenté via un convertisseur 12 DC/220 AC

Cette solution présente l'avantage de recourir à du matériel standard, donc beaucoup moins cher. Elle permet d'engager la migration de l'installation du 12V vers le 220V classique, mais elle impose d'utiliser un convertisseur coûteux dont on connaît mal la fiabilité. En outre, le convertisseur produit une forme d'onde de qualité médiocre qui peut avoir un impact sur la durée de vie des équipements 220 V raccordés.

#### Étape 3 : Interconnexion de nano réseaux

L'interconnexion des réseaux peut être souhaitée non seulement à cause de la croissance de la charge mais aussi du fait de la proximité de nano réseaux, pour bénéficier du foisonnement entre charges et évitant ainsi le renforcement des moyens de production. Ceci est d'autant plus vrai que les premiers résultats montrent que les clients raccordés n'utilisent pas la totalité de l'énergie mise à leur disposition.

Cette interconnexion est possible si les distances sont inférieures à quelques centaines de mètres environ. Elle peut être réalisée en 12V, en 48V ou 127V avec des convertisseurs DC/DC en fonction des transits escomptés et des chutes de tension.

Cette interconnexion nécessite de clarifier les relations entre exploitants si les 2 réseaux ne sont pas exploités par les mêmes entrepreneurs.

Des essais sont en cours pour évaluer les contraintes techniques induites par un tel montage.

#### Étape 4 : au-delà des nano réseaux

Au-delà de quelques centaines de mètres, il est obligatoire de passer par un niveau de tension supérieure et de recourir à la MT. L'exploitation de la moyenne tension va exiger des compétences nouvelles notamment en matière de sécurité et de pilotage de l'équilibre offre/demande.

Quel intérêt va-t-on trouver à interconnecter des nano réseaux sur des distances de plusieurs centaines de mètres ?

Essentiellement pour profiter du foisonnement mais il faut encore prouver qu'en augmentant de façon importante le nombre de réseaux connectés, le foisonnement augmentera significativement.

Cette interconnexion permettra également l'utilisation d'une production « plus centralisée » par exemple suite à l'équipement d'un toit de grande surface (école, bâtiment public 100 m<sup>2</sup> = 10 kWc), pouvant servir à alimenter plusieurs réseaux (cas de l'école n'utilisant pas l'énergie la nuit).

Une telle interconnexion peut également rentabiliser une capacité de stockage complémentaire dont l'exploitation pourra être organisée de diverses façons.

### Quand faut-il passer du 12 V au 220 V dans le logement ?

Si un seul usage présente un surcoût important en 12V par rapport au même équipement alimenté en 220V, le surcoût est en général absorbé par les avantages rencontrés par ailleurs :

- Maintien du compteur en place
- Maintien des équipements d'éclairage

Si plusieurs usages doivent naturellement être alimentés en 220 V (petit électroménager...), le passage en 220 V de l'ensemble de l'installation doit être examiné. L'installation est déjà prévue pour cette évolution et il n'y a pas à changer les câbles et l'appareillage.

Le passage en 220 V ouvre la porte à l'alimentation de tous les équipements électroménagers classiques (mais suppose que la production pourra suivre)

En revanche, cela obligera le changement de compteur et sans doute le passage à un compteur par habitation (au lieu du compteur unique pour 6 habitations).

Il faudra également changer les équipements 12V ou équiper les prises de convertisseur 220V AC/12V DC

Un élément clé d'aide à la décision sera la vitesse de croissance de la charge correspondant à des décisions d'équipement avec de nouveaux usages. En fonction de la vitesse, les équipements en place peuvent être amortis ou non, ce qui peut changer l'approche.

La relation très forte entre les équipements à alimenter et l'évolution du réseau de desserte conduit à soulever certaines questions aujourd'hui très ouvertes :

- Sachant que l'offre de matériel est en 220 V et que le réseau qui l'alimente est en 12V DC, peut-on durablement contraindre un client à ne pas pouvoir accéder à un usage électrique qu'il souhaiterait avoir ?
- Pour les nouveaux usages, si l'opérateur veut faciliter la diffusion de nouveaux équipements, faut-il aller vers du leasing de matériel ou de l'achat de matériel par le client, l'opérateur d'électricité mettant seulement le convertisseur en leasing ?
- Quels nouveaux usages vont apparaître en premier et à quelle vitesse ? Quel sera l'effet d'entraînement sur les autres clients lorsque les premiers clients seront équipés ?

Usages pour particuliers : Réfrigérateur, ventilateur, petit électroménager, sèche-cheveux, autocuiseur à riz, autre...

Usages pour artisans : congélateur, machine-outil, scie électrique, force motrice etc. A quel moment aura-t-on l'émergence de besoins triphasés ?

- La demande peut-elle être suffisamment importante pour susciter des développements de nouveaux matériels compatibles avec la très basse tension ?

# 4. Parties prenantes du modèle d'électrification latérale

QJL?

## 4. QUI ? PARTIES PRENANTES DU MODELE D'ELECTRIFICATION LATÉRALE

Le secteur énergétique africain est composé de multiples parties prenantes nationales et internationales (Pouvoirs publics, Bailleurs de fonds de l'aide au développement, Industriels de l'énergie, Secteur financier, etc) animées par divers intérêts, suivant différentes stratégies, bénéficiant de ressources diverses et promouvant une large gamme de solutions d'électrification.

Si tous poursuivent le même objectif de parvenir à un accès universel à l'électricité sur le continent à l'horizon 2030, une vision commune de la stratégie pour y parvenir fait cruellement défaut.

L'objectif de ce chapitre est d'examiner le positionnement actuel des principales catégories de parties prenantes de l'électrification de l'Afrique ainsi que les menaces et opportunités que l'émergence du modèle d'électrification latérale pourrait représenter pour chacune d'entre elles.

Les principales parties prenantes suivantes seront successivement étudiées<sup>49</sup> :

- Les bailleurs de fonds internationaux de l'aide au développement
- Les pouvoirs publics (nationaux et locaux)
- Les sociétés publiques d'électricité
- Les industriels internationaux de l'énergie (équipementiers et énergéticiens)
- Le secteur privé (financier et non financier)

### 4.1. LES BAILLEURS DE FONDS INTERNATIONAUX DE L'AIDE AU DEVELOPPEMENT

#### 4.1.1. POSITIONNEMENT ACTUEL

Le positionnement des bailleurs de fonds internationaux de l'aide au développement (Banque Mondiale, Banque Africaine de Développement, Agence Française de Développement, UE, etc) mérite d'être examiné en premier compte tenu de leur influence considérable sur le secteur électrique africain.

Ces acteurs constituent en effet les premiers pourvoyeurs de fonds du secteur électrique dans la majorité des pays africains sous forme de supports budgétaires aux Etats, de financements directs d'investissements ou d'assistance technique aux acteurs publics et privés locaux.

Les stratégies d'intervention de ces acteurs dans le secteur électrique africain sont marquées par une multiplicité d'objectifs parfois difficilement conciliables :

- Favoriser le développement d'infrastructures électriques durables (extension de réseau, développement des énergies renouvelables, etc) ;
- Diminuer rapidement la pauvreté énergétique (ou augmenter le taux d'accès à l'électricité) ;
- Renforcer le secteur public de l'électricité (redressement ou sauvetage des compagnies nationales d'électricité) ;
- Encourager l'intervention du secteur privé ;
- Améliorer la gouvernance du secteur électrique ;

<sup>49</sup> L'analyse présentée dans ce chapitre a été établie sur la base d'entretiens avec une sélection d'experts appartenant à chacune de ces parties prenantes en France et à Madagascar. Celle-ci ne prétend pas constituer une analyse exhaustive des jeux d'acteurs en présence à

*l'échelle de l'ensemble du secteur et du continent africain mais à illustrer l'intérêt que pourrait susciter le modèle d'électrification latérale et les enjeux stratégiques auxquels son déploiement à très grande échelle pourrait faire face.*

- Favoriser la formation professionnelle dans le secteur électrique.

Si tous ces objectifs sont souvent menés de front, l'accent a particulièrement été mis depuis les années 2000 sur l'objectif de diminution de la pauvreté énergétique. Dans le sillage de l'initiative Sustainable Energy for All de l'ONU visant l'accès universel à l'énergie moderne à l'horizon 2030, l'amélioration du « taux d'accès à l'électricité » a peu à peu remplacé l'amélioration du « taux d'électrification (ou taux de raccordement à un réseau électrique) » comme principal objectif d'impact de la plupart des bailleurs de fonds dans le secteur électrique africain.

Dans une logique d'efficience économique de l'aide en vue d'atteindre cet objectif, des plans d'accès à l'électricité au moindre coût ont été développés dans de nombreux pays africains pour déterminer dans une logique top-down les solutions d'accès à l'électricité à privilégier par zone géographique (extension de réseaux, micro-réseaux, systèmes individuels). Cette approche a conduit à un quasi-consensus chez les bailleurs de fonds que les solutions de réseaux devaient être réservées aux zones urbaines et péri-urbaines et que la diffusion de solutions individuelles était l'unique solution pertinente dans la majorité des zones rurales.

D'importants programmes de soutien à la diffusion de systèmes individuels ont ainsi été mis en place dans de nombreux pays au cours de la dernière décennie dans le but de favoriser l'accès rapide d'un maximum de ménages ruraux à un service électrique minimal d'origine renouvelable<sup>50</sup>.

Toutes solutions confondues, les modalités de l'aide apportée par les bailleurs de fonds au secteur électrique africain prennent également des formes variées : dons aux Etats, prêts souverains, investissements directs en capital ou en dettes auprès d'acteurs privés locaux, instruments de garantie, lignes de crédits vertes, soutien au secteur bancaire, assistance technique, etc.

<sup>50</sup> A titre d'exemple, un programme de soutien massif (50 M\$) à la distribution de systèmes solaires individuels est en cours de lancement par la Banque Mondiale à Madagascar.

<sup>51</sup> Source : OECD Stat (2015)

Les tendances globales sont toutefois :

- A une augmentation massive de l'aide publique au développement apportée au secteur énergétique africain dont le montant total a été multiplié par 6 entre 2003 et 2013 et représentent aujourd'hui plus de 6 milliards de dollars par an<sup>51</sup> ;
- A une augmentation de la part de l'aide attribuée au secteur privé et un accent mis sur le soutien aux partenariats public-privé ;
- A une réflexion croissante sur l'évolution des modalités de ces aides en faveur d'une part plus importante versée sur la base de résultats constatés (Output-based Aid).

#### 4.1.2. MENACES ET OPPORTUNITES DU MODELE D'ELECTRIFICATION LATERALE

Le recul manque pour analyser l'impact des programmes de soutien aux solutions solaires individuelles lancées au cours des dernières années. Plusieurs limites commencent toutefois à être perçues par les bailleurs de fonds :

- La durée de vie limitée de ces solutions remet en question la pérennité et l'efficience économique de l'approche : La distribution de lampes, kits ou systèmes solaires individuels à un ménage ne permet pas de le considérer comme ayant durablement accès à l'électricité puisque celui-ci ne le sera véritablement que pour 2 à 3 ans et l'efficience économique à long terme de cette solution d'électrification s'en trouve grandement amoindrie<sup>52</sup>.

<sup>52</sup> Les distributeurs de systèmes solaires individuels connaissent et communiquent d'ailleurs très bien sur le nombre de systèmes vendus ou installés mais sont généralement incapables de suivre le nombre de foyers ayant accès à l'électricité grâce à leur solution à un instant t.

- L'impact très limité de ces solutions sur le développement économique local pourrait remettre en cause le soutien de bailleurs internationaux dont le mandat n'est pas l'aide humanitaire mais l'aide au développement<sup>53</sup>.

Dans ce contexte, le modèle d'électrification latérale pourrait susciter un vif intérêt des bailleurs de fonds internationaux de l'aide au développement s'il démontre sa capacité à se déployer à une vitesse et à un coût comparable aux systèmes solaires individuels tout en offrant des gages de pérennité et d'impacts en termes de développement local plus importants. C'est bien là son ambition.

Par ailleurs, le modèle d'électrification latérale étant basé sur un effort important de transfert de savoir-faire à des entrepreneurs ruraux pourrait susciter l'intérêt de ces acteurs dans leurs interventions dans le domaine de la formation professionnelle ou bénéficier de fonds d'assistance technique délivrés par ces bailleurs.



*Figure 22 – Réunion d'information animée par des entrepreneurs locaux à Nosy Komba*

<sup>53</sup> Pour faire un parallèle, la création de marchés agricoles et le soutien à une agriculture de marchés (où producteurs et consommateurs échangent sur un marché) plutôt que d'une agriculture de subsistance (où chacun produit ce qu'il consomme) fait depuis longtemps consensus au sein de la communauté de l'aide au développement. Transposé dans le secteur énergétique, on peut s'interroger sur la cohérence de continuer à soutenir un modèle

Enfin, le modèle d'électrification latérale apparaît en ligne avec les tendances générales d'évolution des modalités de l'aide :

- Celui-ci repose principalement sur l'initiative privée dans le cadre de partenariats avec le secteur public local (avec les collectivités territoriales en particulier) ;
- La flexibilité de l'approche de l'électrification latérale permettrait de concevoir des modalités de soutien à cette approche basée sur les résultats constatées (i.e. nombre de ménages effectivement électrifiés, nombre d'entrepreneurs formés, quantité d'émissions évitées, etc)

## 4.2. LES POUVOIRS PUBLICS NATIONAUX

### 4.2.1. POSITIONNEMENT ACTUEL

Confrontés à un manque de ressources financières propres, de nombreux gouvernements africains ont pour objectifs d'ouvrir le système électrique au secteur privé.

Dans le secteur urbain où les infrastructures de transport et distribution relèvent traditionnellement de la responsabilité des compagnies publiques nationales, l'enjeu principal pour les Etats est d'attirer des investisseurs privés sur le segment de la production (Producteurs privés indépendants).

Dans le secteur rural très mal desservi, l'enjeu est d'attirer des investisseurs privés développant des micro-réseaux ruraux où des distributeurs de solutions individuelles.

- Les premiers se voient généralement offrir des subventions à l'investissement dans le cadre d'appels d'offres compétitifs organisés pour électrifier les zones considérées prioritaires (pour des raisons politiques ou économiques). La

*d'autoproduction (systèmes individuels) plutôt qu'un modèle de marché (réseaux) dès lors qu'une démarche peu coûteuse aurait émergée pour permettre de construire ce marché (électrification latérale).*

faiblesse des ressources allouées, les faibles capacités de planification de la plupart des agences d'électrification rurale africaines, les contraintes normatives et tarifaires imposées et la lourdeur administrative associées à ces procédures ralentissent toutefois leurs rythmes de déploiement<sup>54</sup>.

La tendance générale est toutefois dans de nombreux pays à un effort en vue de la simplification administrative et la diminution du contrôle des tarifs pratiqués par les opérateurs d'électrification rurale pour faciliter les initiatives privées dans le secteur de l'électrification rurale.

- Les seconds se voient généralement offrir des exonérations de taxes à l'importation de leurs produits, sans les exonérer toutefois de la complexité des procédures douanières. Malgré l'absence de subventionnement direct, il convient de souligner que ces exonérations pèsent lourd sur le budget d'Etats africains dont l'essentiel des recettes fiscales provient des douanes.

Les pouvoirs publics nationaux sont également généralement sensibles au contenu local des différentes solutions d'électrification et à leur impact sur la création d'emplois, appelant de leurs vœux le développement de la formation professionnelle dans le secteur de l'électricité et des énergies renouvelables sans toutefois disposer des moyens techniques et budgétaires pour mettre en place des programmes publics ambitieux dans ce domaine.

#### 4.2.2. MENACES ET OPPORTUNITES DU MODELE D'ELECTRIFICATION LATERALE

Le modèle d'électrification latérale pourrait représenter une opportunité pour les pouvoirs publics locaux à différents niveaux :

- En permettant une électrification **plus rapide et plus pérenne** des zones rurales du pays,
- En **allégeant les besoins de planification publique** du développement d'infrastructures électriques et en réorientant le rôle de l'Etat vers davantage de contrôle et de régulation,
- En proposant une approche d'électrification à **fort contenu local en emplois et un programme ambitieux de formation professionnelle** dans les métiers de l'électricité porté par le secteur privé sans recours aux ressources publiques.

L'exemple de Nanoé à Madagascar montre que le modèle d'électrification latérale peut susciter rapidement un vif intérêt de la part des pouvoirs publics nationaux (Ministère de l'Energie, Agence de Développement de l'Electrification Rurale, etc).

### 4.3. LES COLLECTIVITES TERRITORIALES

#### 4.3.1. POSITIONNEMENT ACTUEL

Le développement local est la priorité des collectivités territoriales et le développement d'infrastructures électriques est largement perçu comme une condition sine qua non de ce développement.

Les collectivités territoriales les plus décentralisées, les communes, sont à la fois les structures administratives les plus sollicitées par la population et les plus démunies pour répondre à leurs attentes en matière d'accès à l'électricité. Celles-ci n'ont en effet

<sup>54</sup> A titre d'exemple, dans un pays comme Madagascar où plus de 20 millions de personnes n'ont pas accès à un réseau électrique, ces procédures permettent de raccorder les meilleures années quelques milliers de foyers.

aucun contrôle sur la diffusion de solutions d'électrification individuelles et une marge de manœuvre très limitée pour attirer des développeurs de réseaux électriques.

Ne disposant généralement d'aucun moyen financier<sup>55</sup> et ne possédant de services techniques qu'exceptionnellement, celles-ci ne peuvent guère faire plus que déposer régulièrement des demandes de raccordement à la compagnie nationale d'électricité, à l'agence nationale d'électrification rurale et espérer faire partie des prochains plans nationaux d'électrification rurale pour conserver une chance d'être raccordée au cours des dix prochaines années.

De nombreuses communes rurales vivent par ailleurs dans l'attente de la mise en œuvre de projets auxquels elles ont donné leur accord mais dont les chances de réalisations sont faibles<sup>56</sup>.

Enfin, beaucoup de communes rurales électrifiées se trouvent pour leurs parts confrontées à des opérateurs électriques ne respectant pas leurs engagements contractuels (en termes de couverture, de qualité ou de continuité du service électrique) avec peu de recours pour les faire respecter.

En effet, leur faible expérience en termes de régulation de services publics et l'éloignement et le désintérêt des autorités de tutelles du secteur dont la priorité est d'assurer l'électrification de nouvelles zones conduisent de nombreuses communes à se trouver coincés avec un opérateur électrique défaillant bénéficiant d'un monopole sur la distribution d'électricité sur son territoire pour plusieurs dizaines d'années<sup>57</sup>.

<sup>55</sup> A Madagascar par exemple, la majorité des communes rurales disposent d'un budget permettant tout juste de régler les salaires du Maire et de quelques assistants et ne permettant de couvrir aucun investissement.

<sup>56</sup> L'accord de la commune étant généralement un préalable au lancement des études techniques, étant elles-mêmes un préalable à l'obtention des permis d'exploiter, étant eux-mêmes un préalable à la recherche de financements par les développeurs.

#### 4.3.2. MENACES ET OPPORTUNITES DU MODELE D'ELECTRIFICATION LATERALE

Le modèle d'électrification latérale constitue une énorme opportunité pour les collectivités territoriales en leur permettant de prendre en main leur avenir électrique. Les principaux avantages de cette approche pour les communes par exemple sont les suivants :

- **Elle est moins risquée que l'électrification directe par réseaux :** Contrairement aux micro-réseaux, la rentabilité rapide des nano-réseaux permet d'envisager leur déploiement sur un territoire dans un régime de libre concurrence sans accorder à un opérateur unique de concession ou de monopole temporaire de la distribution d'électricité sur ce territoire.

L'équilibre économique de micro-réseaux ou mini-réseaux latéraux pourrait rendre nécessaire l'obtention de telles autorisations de dessertes exclusives mais les communes s'engageraient alors avec des opérateurs qu'elles ont déjà appris à connaître et vus travailler.

- **Elle implique davantage la commune que la distribution de systèmes individuels :** Tout en s'accommodant d'un régime de libre concurrence et en s'adressant directement aux usagers finaux aux premières étapes de son développement (nano-réseaux), la philosophie du modèle d'électrification latérale est d'impliquer dès les premières étapes les territoires qui seront amenés à jouer un rôle de régulation de plus en plus important.

Pour ce faire, l'approche consiste à signer préalablement au déploiement de nano-réseaux des conventions de partenariats avec les communes sur leur

<sup>57</sup> A Madagascar par exemple, presque aucun opérateur de micro-réseaux électriques ne distribue d'électricité 24h/24, la plupart n'assurent qu'un service minimum de quelques heures par jour et plusieurs ont cessés de s'opérer malgré leurs obligations de continuité de service. Par ailleurs, dans la plupart des cas, les opérateurs détiennent des monopoles locaux de distribution sur des zones bien plus vastes que celles effectivement desservies par leurs réseaux et raccordent souvent moins d'un tiers de la population dans ces zones.

territoire, sorte de contrat de partenariat public-privé simplifié et évolutif fixant les engagements respectifs des parties.

- Elle rend des marges de manœuvre à la commune : Le déploiement d'une certaine densité de nano-réseaux étant un préalable à la construction de micro-réseaux latéraux permettant d'étendre le niveau de service électrique délivré à des usages plus détendus, la volonté d'atteindre cet objectif permet à l'opérateur de s'assurer du soutien actif des représentants communaux pour accélérer le déploiement de nano-réseaux sur leurs territoires (publicité, relais auprès de la population, etc) et de rendre aux communes des marges de manœuvre pour accompagner l'électrification de leurs territoires<sup>58</sup> en mobilisant leur population.

#### 4.4. LES SOCIÉTÉS PUBLIQUES D'ÉLECTRICITÉ

##### 4.4.1. POSITIONNEMENT ACTUEL

Confrontés à des déséquilibres opérationnels majeurs liés à la conjonction de tarifs bas, de coûts de production élevés et de pertes techniques et non techniques importantes, les maigres capacités d'investissement<sup>59</sup> des sociétés publiques d'électricité africaines sont principalement orientées vers le maintien d'une qualité et continuité de service minimale dans les zones urbaines où elles sont déjà implantées (ou la baisse de leurs coûts de production en tentant de diminuer la part de la production thermique de leurs parcs).

A l'exception de cas particuliers en période pré-électorale, l'extension de leurs réseaux de distribution où l'électrification de nouvelles communes rurales sont relégués relativement loin dans la liste de leurs priorités.

Par ailleurs, à Madagascar comme dans de nombreux pays africains, la persistance de tarifs inférieurs aux coûts marginaux de production conduit à une situation où l'élargissement de la base clientèle est pour ces compagnies, plus une menace qu'une

opportunité (puisque chaque nouveau client raccordé lui fait perdre un peu plus d'argent).

##### 4.4.2. MENACES ET OPPORTUNITÉS DU MODÈLE D'ÉLECTRIFICATION LATÉRALE

Le modèle d'électrification latérale représente à la fois une menace et une opportunité pour les sociétés publiques d'électricité :

- Une opportunité car le déploiement à grande échelle d'une telle approche dans les zones rurales du pays permettrait de relâcher la pression politique exercée sur elles pour faire plus dans ce domaine.
- Une menace car son déploiement à grande échelle pourrait mettre un peu plus en lumière les défaillances de ces sociétés discréditées et malaimées (voir détestées) par la population et créer une forme de concurrence dans l'opinion.

#### 4.5. LES INDUSTRIELS INTERNATIONAUX DE L'ÉNERGIE

##### 4.5.1. POSITIONNEMENT ACTUEL

Domaine quasi-réservé aux ONGs il y a peine plus de 10 ans, le marché de l'accès à l'énergie en Afrique éveille aujourd'hui l'appétit de nombreux industriels internationaux de l'énergie rivalisant pour dénicher, parmi une myriade de start-ups, les technologies et les modèles d'affaires les plus rentables et les plus répliquables sur le continent.

Tous les grands industriels français de l'énergie ont ainsi lancé au cours des dernières années des initiatives dans le secteur de l'« off-grid » africain :

<sup>58</sup> Les communes partenaires de Nanoé à Madagascar rivalisent par exemple pour être les premières à passer aux micro-réseaux.

<sup>59</sup> Provenant quasi-exclusivement de l'aide internationale.

- SCHNEIDER ELECTRIC a lancé sa propre gamme de solutions électriques individuelles destinées à ce marché (de la lampe solaire aux kits individuels) peu à peu élargie à des solutions clés en main de micro-réseaux et investit dans plusieurs start-ups distribuant des systèmes solaires individuels en pay-as-you-go (comme Fenix international en Afrique de l'Est et Simpa Network en Inde),
- TOTAL a lancé la commercialisation à grande échelle de solutions individuelles au travers de son réseau de station-service sur l'ensemble du continent dans le cadre de son programme « Awango by Total »,
- EDF, après avoir lancé plusieurs projets de micro-réseaux ruraux notamment en Afrique du Sud et au Mali, s'est récemment tourné vers les systèmes solaires domestiques en nouant un partenariat avec l'entreprise américaine Off-Grid Electric visant à distribuer cette solution en pay-as-you-go en Afrique de l'Ouest (notamment en Côte d'Ivoire et au Ghana),
- ENGIE multiplie également les investissements dans l'accès à l'électricité notamment sur les kits solaires en pay-as-you-go avec des prises de participation dans plusieurs start-ups du secteur comme PEG Ghana et le rachat en 2017 de Fenix International (Afrique de l'Est).

A l'échelle européenne, Enel et EON ont également commencé à s'intéresser à ce marché au cours des dernières années.

Bien que les solutions individuelles, considérées plus matures, aient attiré la majorité des investissements de ces industriels au cours des dernières années, l'intérêt de la complémentarité des solutions d'électrification est partagé au sein de ces entreprises.

#### 4.5.2. MENACES ET OPPORTUNITES DU MODELE D'ELECTRIFICATION LATERALE

La taille du marché permet la coexistence d'un nombre importants d'acteurs internationaux<sup>60</sup>. Le modèle d'électrification latérale pourrait être perçu comme une menace pour les petites entreprises ayant investi ce marché en se positionnant sur une unique solution (systèmes individuels ou micro-réseaux).

Celui-ci pourrait en revanche représenter une opportunité importante de différenciation pour les multinationales de l'énergie dont aucune ne revendique à ce jour de positionnement stratégique sur une unique solution d'électrification pour l'Afrique.

Cette analyse est toutefois à nuancer en fonction du métier de ces différents acteurs.

Si les équipementiers et fabricants de matériels peuvent avoir un intérêt stratégique évident à se positionner sur des solutions d'accès à l'électricité basées sur la vente de matériels, les énergéticiens (ou Utilities) dont l'expertise repose fondamentalement sur l'exploitation d'infrastructures électriques pourraient trouver un intérêt stratégique plus grand pour le modèle d'électrification latérale, apparaissant comme **une nouvelle méthode d'implantation en Afrique beaucoup plus proche de leurs cœurs de métiers que la vente d'équipements électriques.**

#### 4.6. LE SECTEUR PRIVE LOCAL (HORS ENERGIE)

##### 4.6.1. POSITIONNEMENT ACTUEL

Le secteur de l'électricité suscite en Afrique l'intérêt de nombreuses entreprises ne faisant pas partie du secteur mais prêtes à appuyer son développement considéré comme stratégique pour :

1. Améliorer leurs conditions de production,

<sup>60</sup> Contrairement aux fantasmes de quelques investisseurs, il apparaît très improbable qu'un seul acteur emporte l'ensemble du marché de l'électrification d'un continent qui comptera bientôt plus d'un milliard d'habitants.

2. Ouvrir de nouveaux débouchés à leurs produits ou services, ou
3. Légitimer leurs implantations locales dans une démarche de responsabilité sociétale.

Une ou plusieurs de ces raisons poussent de plus en plus d'entreprises africaines ou internationales à s'intéresser à l'électrification rurale. C'est notamment le cas de nombreuses sociétés des secteurs :

- Agricole ou agro-industriel
- Financier
- Télécommunication
- Télévision par satellite
- Minier ou pétrolier

L'intérêt de chacune de ces quatre catégories parties prenantes est successivement passé en revue dans les paragraphes suivants.

#### 4.6.1.1. Secteur agricole et agro-industriel

Le manque d'électricité en zones rurales est une barrière significative au développement ou à la compétitivité de certaines agro-industries locales.

A Madagascar, deux filières sont particulièrement concernées :

- Les filières de première transformation agricole comme la transformation du bois ou du riz souffrant d'un manque d'accès à une électricité fiable et

abordable pour répondre aux besoins de forces motrices des menuiseries, rizeries et décortiqueries.

- Les filières des produits de la mer (poissons, crabes, coquillages, etc) souffrant d'un manque d'accès à une électricité fiable et abordable pour répondre aux besoins de réfrigération et conservation de ces produits.

Le recours à l'auto-production électrique par des groupes électrogènes pesant fortement sur la compétitivité de ces filières souvent tournées vers l'export, de nombreuses entreprises du secteur cherchent aujourd'hui à se tourner vers les énergies renouvelables. Les coûts d'investissement importants et le manque d'expertise dans ce secteur constituent toutefois un frein d'autant plus important que ces filières sont souvent constituées de multiples petits sites de production dispersées sur de vastes territoires souvent reculés<sup>61</sup>.

Le développement de filières locales d'électrification latérale constituerait une opportunité significative pour les petits industriels de ce secteur qui pourrait se trouver rapidement raccordés à des micro-réseaux latéraux.

#### 4.6.1.2. Secteur financier

Les institutions de micro-finance et les banques commerciales constituent les deux principales catégories d'acteurs du secteur financier africain. Ces deux catégories d'acteurs ont multiplié ces dernières années les initiatives dans le secteur électrique considéré comme un axe de développement stratégique de leurs activités en particulier dans les zones rurales.

- **Pour les institutions de micro-finance** fortement implantés dans les zones rurales<sup>62</sup>, l'enjeu principal est la diversification de leurs activités de financement. Si l'essentiel de leurs micro-crédits est aujourd'hui destinés aux particuliers (micro-crédits à la consommation), c'est que celles-ci peinent à

<sup>61</sup> Au contraire du secteur minier constitué d'un nombre limité de gros sites de production.

<sup>62</sup> A Madagascar par exemple, plusieurs IMF comptent plusieurs centaines d'agences dans leur réseau alors que la plus grosse banque commerciale en compte à peine quelques dizaines.

trouver des débouchés à leurs micro-crédits entrepreneuriaux au-delà des activités agricoles et de petit commerce.

Si le financement de micro-réseaux est incompatible avec les produits financiers qu'elles proposent (montant trop élevés, maturité trop longue, etc), le financement de nano-réseaux pourraient constituer un relais de croissance important pour ces institutions. Par ailleurs, sa participation au financement de l'électrification latérale constituerait pour le secteur de la microfinance une bonne réponse aux critiques de plus en plus pressantes sur le faible impact sur le développement de leurs activités<sup>63</sup>.

- **Pour les banques commerciales**, le financement du secteur électrique africain est également un axe de développement stratégique compte tenu de la taille énorme de ce marché (les besoins de financement du secteur sur les prochaines décennies étant gigantesques). Au sein du secteur, l'électrification rurale apparaît paradoxalement plus attractive pour les banques commerciales que le secteur électrique urbain considéré plus risqué en raison de la présence prédominante de la puissance publique dans son organisation.

La distribution électrique dans les zones urbaines étant généralement un monopole public, l'intervention du secteur privé est limitée à la production indépendante, modèle considéré extrêmement risqué par le secteur bancaire dans la mesure où les producteurs font face à un acheteur unique (la compagnie nationale) dont la solvabilité est très faible.

Si les banques commerciales souhaitaient pour ces raisons privilégier les projets de ventes aux usagers finaux (souvent possibles uniquement dans les zones rurales pour le secteur privé), celles-ci se heurtent aux faiblesses de projets bancables (les projets de micro-réseaux ruraux classiques l'étant très rarement). Dans ce contexte, le modèle d'électrification latérale pourrait

susciter un intérêt très important du secteur bancaire dans de nombreux pays africains<sup>64</sup>.

#### 4.6.1.3. Secteur des télécommunications

Le secteur des télécommunications est un secteur très dynamique en Afrique notamment sur la téléphonie mobile pour lequel l'accès à l'électricité est un enjeu majeur pour ouvrir de nouveaux débouchés à leurs services.

En effet, l'absence d'accès à l'électricité de nombreuses populations est un frein considérable à la diffusion de leurs offres.

Pour les opérateurs de téléphonie mobile par exemple, améliorer l'accès à l'électricité de leur clientèle est un enjeu considérable dans la mesure où la plupart des détenteurs de téléphones portables en Afrique n'ont pas d'accès permanents à l'électricité et que les coûts de recharges des batteries de leurs téléphones sont souvent supérieurs aux coûts de leurs communications.

Beaucoup de ménages ruraux africains sous-utilisent ainsi leurs téléphones portables faute de moyens pour les recharger. C'est la raison pour laquelle de nombreux opérateurs de téléphonie mobile (comme Orange ou MTN par exemple) ont fait de l'accès à l'électricité un de leurs axes de développement stratégiques en Afrique et commencé à proposer des solutions d'électrification individuelles à leurs clients.

Il est d'ailleurs à ce sujet intéressant de constater que les distributeurs de solutions d'électrification individuelles rivalisent aujourd'hui pour s'appuyer sur le réseau de distribution des opérateurs de téléphonie mobile. Dans la mesure où les cibles des services d'accès à l'électricité et d'accès à la communication sont prêtes à dépenser beaucoup plus pour le premier service que pour le second, l'inverse pourrait paraître plus logique et plus efficace.

<sup>63</sup> En démontrant que le micro-crédit n'est pas limité au financement de la consommation de ménages pauvres mais peut servir au financement d'infrastructures locales.

<sup>64</sup> C'est par exemple déjà le cas du projet Nanoé à Madagascar.

En visant à bâtir du bas vers le haut à travers toute l'Afrique des filières locales de distribution de services énergétiques (lesquels constituent souvent le premier poste de dépenses des ménages ruraux après l'alimentation), le modèle d'électrification latérale porte l'ambition de construire des réseaux de distributions « du dernier kilomètre » plus denses et plus robustes que ceux entretenus aujourd'hui par les opérateurs de téléphonie mobile et sur lesquels ces derniers pourraient s'appuyer<sup>6566</sup>.

Par ailleurs, le modèle d'électrification latérale apparaît également pour les opérateurs de téléphonie mobile comme une opportunité intéressante d'amélioration de leurs conditions de production notamment pour l'amélioration de la couverture de leurs réseaux dans les zones ultra-rurales. La difficulté (et le coût) de l'alimentation électrique et de la maintenance de petites antennes relais constituant un obstacle important à l'extension de leurs réseaux téléphoniques dans les zones très peu denses, les opérateurs d'électrification latérale pourraient se positionner en prestataire de services d'exploitation de petites antennes relais (sorte de petites Towerco ultra-rurales).

#### 4.6.1.4. Secteur de la télévision par satellite

Les opérateurs de télévisions par satellite (comme Canal + par exemple) font face aux mêmes enjeux d'ouverture de nouveaux débouchés dans la mesure où le marché qui leur est accessible est fortement contraint par l'absence d'accès à l'électricité d'une grande majorité de la population africaine.

<sup>65</sup> De tels réseaux de distribution du dernier kilomètre en zones rurales pourraient également servir à la diffusion d'un ensemble d'autres offres (équipements électriques, eau, livraison à domicile, services financiers et assurantiels, etc) permettant de concevoir l'évolution progressive du métier des opérateurs d'électrification latérale vers la délivrance d'un ensemble large de services ruraux.

<sup>66</sup> Un petit opérateur d'électrification latérale pourrait avec beaucoup plus de facilités élargir son activité à la vente de crédits de recharges téléphoniques qu'un revendeur de crédits de recharges téléphoniques élargir la sienne à la construction et l'exploitation de systèmes électriques.

Les petits opérateurs d'électrification latérale pourraient également constituer de puissants relais à ces offres en compléments de la fourniture et maintenance d'équipements télévisuels (TV, décodeur, lecteur DVD, etc).

#### 4.6.1.5. Secteur minier ou pétrolier

Enfin, la volonté de promouvoir l'accès à l'électricité dans les zones rurales peut également relever pour certains acteurs industriels comme ceux du secteur minier ou pétrolier<sup>67</sup> par exemple d'un objectif de légitimation de leurs implantations locales dans une logique de responsabilité sociale afin de montrer leur attachement au développement local.

Des initiatives sont souvent mises en place par ces sociétés pour électrifier les villages de leurs employés où les villages alentours en les raccordant à leurs propres sites de production électrique avec plus ou moins de succès liés à la difficulté pour eux de gérer les consommations des différents usagers de manière pérenne et équitable en évitant les abus.

Ces acteurs auraient davantage intérêt à sponsoriser le développement de filières locales d'électrification latérale dans leurs zones d'intervention ce qui leur permettrait d'associer leur image à cette démarche sans se trouver en première ligne dans sa mise en œuvre et de sortir d'une logique paternaliste consistant à offrir l'électricité aux populations locales au profit d'une approche tournée vers la construction de filières économiques locales<sup>68</sup>.

<sup>67</sup> Approche évidemment non limitée à ces deux types d'acteurs mais applicable par extension à l'ensemble des industriels étrangers possédant un faible nombre de gros sites de production en zones rurales africaines. A Madagascar, les grandes plantations de cacao ou de tabac pourraient s'inscrire dans la même logique, en plus de l'auto-production évoquée au chapitre 4.6.1.1

<sup>68</sup> C'est pour cette raison que plusieurs acteurs de ce type sont prêts aujourd'hui à supporter financièrement les initiatives de Nanoé dans le Nord de Madagascar.

5. Feuille de route de  
déploiement du modèle  
d'électrification latérale

QUAND ?

## 5. QUAND ? FEUILLE DE ROUTE DE DEPLOIEMENT DU MODELE D'ELECTRIFICATION LATERALE

L'électrification latérale est aujourd'hui un modèle d'électrification au stade de concept, expérimenté dans le Nord de Madagascar.

L'objectif de cette section est de présenter succinctement les conditions de son déploiement à très grande échelle et une ébauche de feuille de route de déploiement.

### 5.1. CONDITIONS D'UN DEPLOIEMENT A TRES GRANDE ECHELLE

La principale condition d'un déploiement à très grande échelle du modèle d'électrification latérale est de parvenir à mobiliser l'ensemble des parties prenantes du secteur électrique africain et notamment :

- Convaincre les décideurs publics d'accompagner l'essor du modèle,
- Mobiliser les bailleurs internationaux pour financer l'essor du modèle,
- Rallier les industriels de l'énergie pour accélérer l'essor du modèle.

#### 5.1.1. CONVAINCRE LES DECIDEURS PUBLICS

Convaincre les décideurs publics des Etats africains est une condition sine qua non du déploiement à très grande échelle du modèle.

##### 5.1.1.1. Les enjeux

Les enjeux de ce pré-requis sont à la fois de faire tomber les obstacles et de donner l'impulsion nécessaire à la diffusion du modèle à l'échelle de chaque Etat africain :

**Les principaux obstacles potentiels au déploiement de ce modèle** sont de nature réglementaire. Les réglementations nationales dans le secteur électrique se sont en effet développées partout en Afrique avec pour seules références en têtes les solutions proposées par les opérateurs de réseaux classiques (activités très réglementées) et les distributeurs de solutions d'électrification individuelle (activités complètement déréglementées).

Dans certains pays africains<sup>69</sup>, des réglementations trop rigides ou inadaptées pourrait constituer un frein au déploiement fluide de l'électrification latérale. En particulier, appliquer les mêmes réglementations aux nano-réseaux qu'aux réseaux classiques (obtentions d'autorisation a priori sur base d'études préalables de la demande, d'avant-projets sommaires, d'avant projets détaillés, de business plan, de garanties de financement, de modèles tarifaires basées sur les consommations aux Kwh, etc) pourraient complètement bloqués la diffusion du modèle.

Par ailleurs, le soutien des décideurs publics est également nécessaire pour **donner l'impulsion nécessaire** à la diffusion du modèle notamment pour faire connaître cette solution à la population, susciter les vocations entrepreneuriales dans ce domaine et faciliter la relation avec les collectivités territoriales et les centres de formation.

#### 5.1.1.2. Les modalités

Le succès de la démarche dans un premier pays ou une première région est indispensable pour constituer une vitrine du modèle d'électrification latérale. C'est le but recherché par l'expérimentation menée dans le nord de Madagascar.

Les organes de coopération entre pays africains dans le secteur électrique pourront alors servir de relais pour faire connaître et vulgariser cette approche auprès des décideurs publics d'un maximum de pays africains. Des initiatives dans ce domaine sont en cours par l'intermédiaire du Club'ER (Association africaine des agences d'électrification rurale) et devront se multiplier dans les années à venir pour entrer dans les esprits et faire connaître au plus grand nombre les opportunités offertes par le modèle d'électrification latérale et les conditions nécessaires à son déploiement.

Des institutions internationales spécialisées dans le secteur électrique ou le développement d'infrastructure pour le développement (Agence Internationale de l'Energie, ESMAP, IRENA, NEPAD, etc) pourraient également servir de relais à ce travail de fond.

<sup>69</sup> Ce n'est pas le cas à Madagascar où le modèle est actuellement expérimenté ni dans de nombreux pays mais prendre la mesure de tels obstacles à l'échelle de l'Afrique nécessiterait

une revue exhaustive des réglementations du secteur électrique des 54 pays du continent qui dépasse largement l'ambition de la présente étude.

## 5.1.2. MOBILISER LES BAILLEURS INTERNATIONAUX

### 5.1.2.1. Les enjeux

L'ambition du modèle d'électrification latérale est de recourir essentiellement à des financements locaux pour assurer son déploiement.

L'émergence, que ce modèle promeut, d'une nouvelle industrie électrique africaine ne pourra toutefois se faire sans mobiliser de financements internationaux aux premières étapes de son développement. Ces financements devraient être prioritairement mobilisés vers l'aide au lancement de cette démarche pour lui permettre d'atteindre plus rapidement une vitesse de développement compatible avec les objectifs d'accès universel à une énergie moderne et durable d'ici 2030.

En particulier, les apports internationaux pourraient permettre de financer les efforts importants de transmission de technologies et de savoir-faires aux entrepreneurs locaux d'électrification latérale et à la structuration de telles filières.

### 5.1.2.2. Les modalités

Parvenir à mobiliser ces financements nécessite là-encore un travail important de persuasion d'acteurs dont les modalités actuelles de soutien à l'électrification rurale et à la formation professionnelle n'ont pas été conçues pour des approches comme l'électrification latérale.

Une modalité de soutien à expérimenter pourrait être de permettre aux acteurs de l'électrification latérale de valoriser (ou monétiser) l'impact économique, social et environnemental de leur activité en les rémunérant à l'impact constaté (Nombre de personnes raccordées, nombre d'opérateurs formés, émissions évitées, etc) sur le modèle des « Contrats à impacts sociaux » français ou des « Development Impact Bonds » anglo-saxons<sup>70</sup>.

Cette solution permettrait à ces financeurs de s'exonérer du risque de non réalisation et aux acteurs du modèle de bénéficier de compléments de revenus aux premières étapes de leur développement. Une telle solution, bien que relativement éloignées des modalités d'intervention habituelles des bailleurs de fonds internationaux pourrait s'apparenter à une assistance technique basée sur les résultats et répondre à leurs attentes sur l'efficacité de l'aide apportée.

## 5.1.3. RALLIER LES INDUSTRIELS DE L'ENERGIE

### 5.1.3.1. Les enjeux

Rallier les industriels de l'énergie, exploitants et équipementiers, est un enjeu majeur pour le passage à l'échelle du modèle d'électrification latérale pour des raisons différentes :

- **Exploitants électriques** : Compte tenu de leur expertise « Métier », les exploitants électriques traditionnels africains et internationaux pourraient jouer un rôle prépondérant dans la structuration de filières d'électrification latérale dans de nombreux pays africains. Sous réserve de leurs adoptions des concepts du modèle d'électrification latérale (approche technologique, approche organisationnelle et approche marketing), ceux-ci disposent de toutes les compétences et de toute la légitimité pour développer des projets d'électrification latérale en formant et/ou en franchisant des entrepreneurs locaux d'électrification latérale sur le modèle d'intervention de la société Nanoé à Madagascar.
- **Équipementiers électriques** : Si plusieurs technologies essentielles au modèle (détaillées plus haut) ont été développées ou sont en cours de développement à petite échelle par la société Nanoé, le savoir-faire des équipementiers électriques mis au service d'un nouveau modèle d'électrification permettrait d'industrialiser ces solutions techniques, de les améliorer, de faire baisser leurs coûts et probablement d'en développer de nouvelles plus adaptées ou présentant des fonctionnalités supplémentaires. Parvenir à mobiliser la capacité d'innovation et de production de masse de ces acteurs permettrait d'accélérer significativement la vitesse de déploiement du modèle d'électrification latérale.

### 5.1.3.2. Les modalités

De nombreuses possibilités s'offrent aux industriels de l'énergie souhaitant s'investir dans la diffusion du modèle d'électrification latérale :

- Développer leurs propres innovations matérielles et logicielles et mettre en œuvre leurs propres modèles d'affaires,

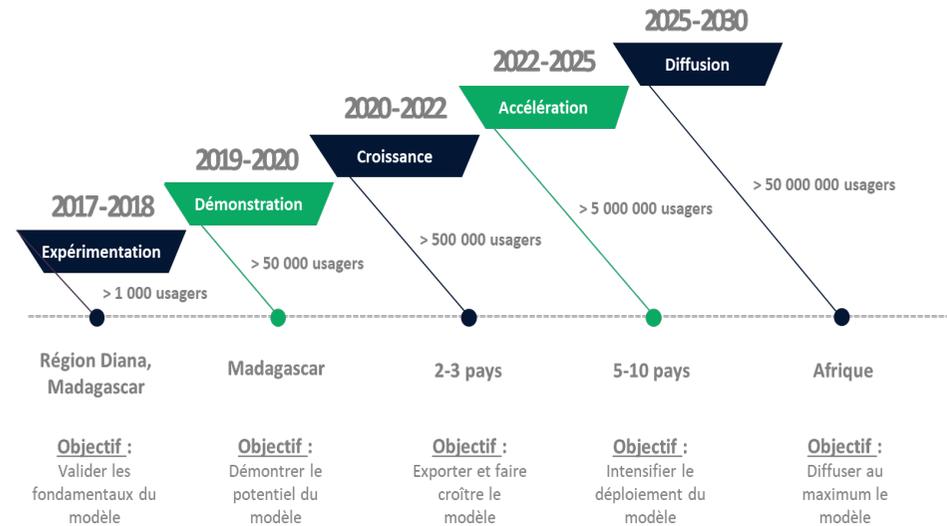
<sup>70</sup> Nanoé est par exemple aujourd'hui à la recherche d'acteurs auprès desquels valoriser l'impact de son activité afin d'augmenter son rythme de développement.

- S'allier à des acteurs existants sous formes de relations clients-fournisseurs, de franchiseurs-franchisés ou de partenariats industriels (joint-venture, investissement en capital, etc),
- Adopter un positionnement différent de celui des acteurs existants (fournisseurs de matériels dédiés à l'électrification latérale, centres de formation sans activité d'exploitation, etc).

En tout état de cause, l'électrification d'un continent ne saurait devenir une réalité sans une multiplicité d'acteurs, concurrents ou partenaires, apportant des expertises et des implantations locales variées.

## 5.2. FEUILLE DE ROUTE DE DEPLOIEMENT

Compte tenu des pré-requis présentés au paragraphe précédent, une feuille de route en 5 étapes peut être définies pour le déploiement à très grande échelle du modèle d'électrification latérale à l'horizon 2030. Celle-ci est illustrée par le schéma ci-dessous et chaque étape est successivement détaillée dans les paragraphes suivants.



*Figure 23 - Feuille de route de déploiement de l'électrification latérale*

### 5.2.1. 2017-2018 : EXPERIMENTATION

L'objectif de cette étape en cours est de valider sur le terrain l'ensemble des concepts du modèle d'électrification latérale et notamment ses solutions technologiques, organisationnelles et commerciales.

Celle-ci a débuté mi-2017 sous l'impulsion de la société Nanoé dans le Nord de Madagascar (dans le district d'Ambanja en région Diana) et les objectifs quantitatifs suivants fixés à l'horizon fin 2018 sont en ligne de mire :

- 200 nano-réseaux déployés ;
- 1 micro-réseau mis en service par interconnexion d'une dizaine de nano-réseaux ;

- 1 000 usagers raccordés ;
- 30 entrepreneurs ruraux formés et actifs ;
- 20 communes rurales partenaires.

Le graphe ci-dessous présente la zone de l'expérimentation en cours.



Figure 24 - Zone de l'expérimentation conduite par Nanoé

### 5.2.2. 2019-2020 : DEMONSTRATION

L'objectif de l'étape suivante est de mobiliser des partenaires techniques et financiers malgaches en vue de répliquer le modèle à l'échelle nationale dans le but d'attirer l'attention des parties prenantes internationales sur le potentiel d'impact du modèle d'électrification latérale.

Ses principaux objectifs quantitatifs sont d'atteindre plus de 50 000 usagers à l'horizon fin 2020 dans l'ensemble de la moitié Nord du pays, ce qui permettrait à

la société menant ce projet et son millier de franchisés de devenir le deuxième opérateur électrique du pays (derrière la compagnie nationale d'électricité), susceptible de promouvoir le modèle d'électrification latérale comme standard d'électrification du pays.

Ses objectifs qualitatifs sont de :

- Démontrer la pertinence du modèle d'électrification latérale en prouvant qu'il constitue une alternative crédible aux solutions d'électrification actuelles en répondant mieux qu'elles aux besoins d'électricité et d'emplois des populations locales,
- Sécuriser sa répliquabilité en industrialisant les solutions techniques, organisationnelles et commerciales du modèle expérimentées à l'état de prototype au cours de l'étape précédente, éventuellement en partenariats avec des industriels internationaux (exploitants ou équipementiers),
- Evaluer son impact en analysant celui-ci dans toutes ses dimensions (social, économique, environnemental) et sur toutes les parties prenantes (consommateurs, entrepreneurs, partenaires, autorités locales, riverains, etc).

Cette étape de démonstration devra s'accompagner d'un travail important de communication et sensibilisation autour du modèle d'électrification latérale auprès des décideurs publics, des bailleurs internationaux et des industriels en vue de préparer l'étape suivante de croissance.

### 5.2.3. 2020 – 2022 : CROISSANCE

L'objectif principal de la phase de croissance est de faire croître et exporter le modèle pour atteindre plus de 500 000 usagers raccordés et une dizaine de milliers de petits opérateurs d'électrification latérale à l'échelle africaine.

Ses principaux objectifs qualitatifs sont donc d'étendre le périmètre du modèle dans deux dimensions :

- **Géographiquement** : Pour couvrir l'ensemble du territoire malgache et devenir la solution d'électrification alimentant le plus grand nombre

d'utilisateurs à l'échelle nationale (notamment davantage que le réseau national) et implanter le modèle dans 2 à 3 pays supplémentaires<sup>71</sup>.

- **Economiquement** : Pour élargir l'horizon des acteurs impliqués dans ce modèle d'électrification au-delà d'une unique entreprise et de ses partenaires. A cet horizon, si le potentiel du modèle est démontré, de nombreux acteurs économiques pourraient s'en emparer pour le déployer selon des modalités<sup>72</sup> ou dans de nouvelles zones à définir.

#### 5.2.4. 2022 – 2025 : ACCELERATION

L'objectif de la phase d'accélération sera d'atteindre plus de 5 000 000 d'utilisateurs (soit plus de 25 000 000 de bénéficiaires directs) à l'horizon 2025 à travers 5 à 10 pays africains pour imposer le modèle d'électrification latérale comme la solution d'électrification se déployant le plus rapidement sur le continent.

Ces objectifs ne pourront être atteints qu'avec l'arrivée d'un nombre important de nouveaux entrants rivalisant d'innovations pour structurer des filières locales d'électrification latérale à moindre coûts et une spécialisation des acteurs de cette nouvelle industrie. Il apparaît en effet difficilement concevable que des acteurs intégrés intervenant sur l'ensemble de la chaîne de valeur (conception/fabrication de composants matériels, développement de solutions logicielles, formations d'entrepreneurs, exploitations sous forme de franchise, ventes de matériels, financement, etc) comme c'est le cas aujourd'hui puissent à cet horizon continuer à être compétitifs sur l'ensemble de ces segments.

Une déverticalisation du secteur, similaire à celle que l'industrie électrique occidentale a connue il y a quelques dizaines d'années et que l'industrie des systèmes individuels commence à connaître aujourd'hui devrait naturellement toucher le modèle d'électrification latérale et servir son développement.

#### 5.2.5. 2025 – 2030 : DIFFUSION

Les quatre étapes antérieures pourraient permettre à l'industrie de l'électrification latérale d'atteindre à l'horizon 2025 une maturité suffisante pour permettre à ces solutions de se diffuser très largement de manière progressive et de contribuer significativement à l'atteinte des objectifs internationaux d'accès universel à

l'électricité à l'horizon 2030 en assurant un tel accès à plus de 50 000 000 d'utilisateurs (soit plus de 250 000 000 d'africains).

<sup>71</sup> Ces pays ne sont pas identifiés à ce stade mais plusieurs pays francophones d'Afrique de l'ouest francophone et de l'océan indien pourraient présenter des conditions favorables au déploiement du modèle.

<sup>72</sup> De la même manière que de nombreux acteurs sont entrés sur le marché des systèmes solaires individuels en pay-as-you-go quelques années après les premiers succès des pionniers.

# 6. Coûts de déploiement du modèle d'électrification latérale

COMBIEN ?

## 6. COMBIEN ? COÛTS DE DEPLOIEMENT DU MODELE D'ELECTRIFICATION LATÉRALE

Cette dernière section vise à réaliser une analyse comparative des coûts du modèle d'électrification latérale par rapport aux solutions alternatives d'électrification.

Le premier paragraphe traite des coûts d'investissements dans les systèmes électriques latéraux pour les opérateurs, le second des coûts d'exploitation pour ces mêmes opérateurs et le dernier fournit une analyse comparative des coûts pour les usagers.

### 6.1. COÛTS D'INVESTISSEMENT POUR LES OPERATEURS

Le coût d'investissement dans des systèmes électriques latéraux se décompose en une suite de petits investissements successifs au rythme de la montée en grade des systèmes.

#### 6.1.1. A L'ETAPE « NANO-RESEAUX »

##### 6.1.1.1. Coûts d'investissements pour les opérateurs de nano-réseaux

**Le coût d'investissement dans un nano-réseau s'élève pour l'opérateur entre 100 et 300 € par usager.** Ce montant d'investissement inclut l'ensemble des composants de production, stockage, régulation, distribution et comptage (mais pas le coût des installations intérieures prises en charge par l'utilisateur) ainsi que les coûts de main d'œuvre pour le démarchage des usagers et la construction du système.

Ce coût dépend principalement du nombre d'utilisateurs raccordés (pouvant varier de 4 à 6), du forfait souscrit par chacun (pouvant varier de 2 ampoules à 8 ampoules + recharge Téléphone + Radio + TV + Décodeur ou lecteur DVD)<sup>73</sup> et dans une moindre mesure de la distance entre les différents utilisateurs raccordés.

- Le coût d'investissement dans un nano-réseau composé de 5 utilisateurs souscrivant un forfait leur garantissant suffisamment d'énergie pour alimenter quotidiennement 3 ampoules de 500 lumens et une prise de recharges de

téléphone (ou une radio) pendant 5 heures s'élève à environ 600 € soit 120 €/utilisateur.

- Le coût d'investissement dans un nano-réseau composé de 4 utilisateurs souscrivant un forfait leur garantissant suffisamment d'énergie pour alimenter quotidiennement 4 ampoules de 500 lumens, une prise de recharge de téléphone, une radio et une télévision pendant 5 heures s'élève à environ 840 € soit 210 €/utilisateur.

La décomposition des coûts d'investissement par utilisateur par principaux postes est présentée pour chacun de ces deux cas dans le graphique ci-dessous.

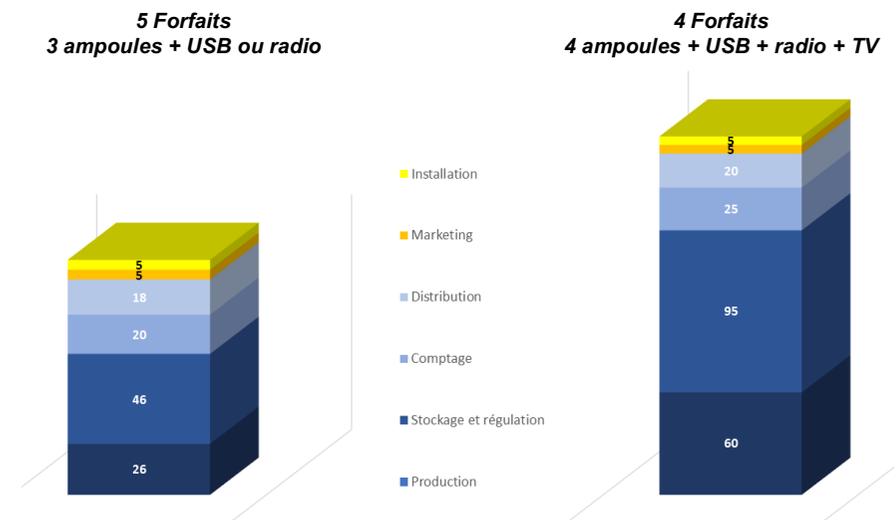


Figure 25 - Coûts d'investissement pour les opérateurs, par usager d'un nano-réseau

<sup>73</sup> Le forfait garanti au client la disponibilité quotidienne de l'énergie suffisante à alimenter l'ensemble de ces équipements pendant 5 heures (ou une partie pendant beaucoup plus de temps).

### 6.1.1.2. Comparaison avec les solutions d'électrification individuelles

Ces coûts d'ores et déjà du même ordre de grandeur que les systèmes solaires individuels délivrant des niveaux de service comparables correspondent aux coûts constatés sur les prototypes installés au cours de la phase d'expérimentation et sont donc significativement supérieurs aux coûts cibles de ces systèmes à court-terme.

L'effet volume sur les achats de composants standards (modules PV, Batteries, Câblages, Poteaux électriques), l'optimisation du dimensionnement de ces systèmes et l'industrialisation des technologies de comptage ad hoc développées pour l'expérimentation du modèle devrait permettre d'atteindre des baisses de coûts d'au moins 20% d'ici fin 2019.

Plusieurs points sont à noter pour analyser pertinemment les coûts d'investissement comparés des nano-réseaux et des solutions d'électrification individuelles :

- **La durée de vie** des solutions d'électrification individuelles type kit solaire plug & play tout intégré possédées par les usagers est limitée par celle du composant le plus fragile (en général la batterie) et se situe entre 2 et 4 ans. Sur un nano-réseau, la fin de vie des batteries n'interrompt pas le service aux usagers puisque celle-ci est remplacée par l'opérateur modulo un réinvestissement de l'ordre de 30 à 40% de l'investissement initial. L'ensemble des autres composants est dimensionné pour fonctionner pendant plus de 10 ans.
- **A maturité égale**, le coût d'investissement théorique par usager dans un nano-réseau pourrait devenir près de 20% inférieur à celui des solutions d'électrification individuelle. En effet, la mutualisation des capacités de comptage (1 contrôleur et une interface pour 4 ou 6 personnes) qui représente sur un système solaire individuel en pay-as-you-go 15 à 20% du coût du système permet de diviser au minimum par 3 le montant de ce poste par usager.

L'effet du foisonnement des consommations<sup>74</sup> entre plusieurs usagers permet d'économiser près de 20% sur les capacités de production et de stockage installées par usager qui représentent 65 à 75% des coûts d'investissement dans un système solaire individuel en pay-as-you-go.

Enfin, le groupement des usagers permet également d'économiser significativement sur les coûts de marketing et d'installation (moins de main d'œuvre et moins de transport par usager) représentant 10 à 20% des coûts d'investissements dans les systèmes individuels. La contrepartie de ces avantages est un poste supplémentaire d'investissement pour les nano-réseaux, celui de la distribution (poteaux, câblages, ancrages) mais celui-ci reste limité (moins de 20 € par usager).

- **Les coûts d'investissement dans les nano-réseaux sont modulables** là où les coûts d'investissement dans des systèmes solaires individuels en pay-as-you-go sont figés. En effet, l'opérateur du nano-réseau peut choisir de diminuer les capacités de production et de stockage installées sur un système s'il constate que les clients consomment systématiquement moins que l'énergie à laquelle ils ont droit (en déplaçant les batteries et modules photovoltaïques sur un autre système et en les remplaçant par des batteries et modules de plus faibles capacités)<sup>75</sup>. Le montant immobilisé sur un nano-réseau pourrait ainsi être revu à la baisse au cours de la vie du système.

### 6.1.1.3. Comparaison avec les solutions de micro-réseaux classiques

Les coûts d'investissement dans un nano-réseau sont comparables aux seuls coûts d'étude amont des projets de micro-réseaux ruraux (hors construction).

En effet, sur un projet de micro-réseau rural classique (centrale solaire, hydraulique ou hybride, réseau de distribution basse tension) visant à alimenter quelques centaines de ménages, les coûts d'étude amont (Etude de la demande, Etudes techniques, Etudes financières, Dossiers administratifs, organisation des appels d'offres, etc) se chiffrent en dizaine de milliers d'euros et représentent généralement plus de 100€/ménage finalement raccordé.

L'ordre de grandeur du coût des travaux pour construire des micro-réseaux de ce type est pour sa part situé entre 1 000 et 2 000 €/usager.

<sup>74</sup> Pour garantir 100 Wh/j à un usager, je dois installer un système permettant de délivrer 100 Wh/j. Pour garantir 100 Wh/j à 6 usagers, je peux me contenter d'un système permettant de délivrer 500 Wh/j car il y a très peu de chance que les 6 usagers consomment le même jour toute l'énergie qui leur est garantie.

<sup>75</sup> Les usagers des nano-réseaux de Nanoé consomment en moyenne moins de 50% de l'énergie quotidienne garantie et, sur la majorité d'entre eux, le seuil de 65% n'a été dépassé aucun jour depuis leur mise en service.

### 6.1.2. AUX ETAPES SUIVANTES

Les étapes suivantes n'ayant encore jamais été expérimentées, une analyse précise des coûts d'investissement nécessaires pour chaque montée en grade est à ce stade difficilement réalisable.

Par ailleurs, les coûts d'investissement aux étapes post-nano-réseaux dépendent fortement des conditions géographiques (taille, éloignement des villages, etc).

Des ordres de grandeur basés sur une réflexion théorique sont toutefois fournis dans le schéma ci-dessous pour la constitution de micro-réseaux et mini-réseaux latéraux (à partir des nano-réseaux installés sur le territoire) soit deux à trois fois moins cher que la construction d'un micro-réseau classique solaire.

Plusieurs sources d'économies significatives sont en effet attendues :

- **Sur les coûts des capacités de production et stockage** grâce à un contrôle beaucoup plus strict sur les consommations de chaque usager (et son équipement systématique avec des équipements basses consommations). On estime que ces effets pourraient permettre de diviser par deux les capacités nécessaires pour délivrer un niveau de service proche de ceux d'un micro-réseau solaire classique.
- **Sur les coûts de conversion DC/AC** puisque l'essentiel de la production électrique sur un micro-réseau latéral restera en DC.
- **Sur les coûts de comptage** puisque l'avantage de la mutualisation des compteurs est conservé.
- **Sur les coûts de génie civil** en économisant le coût de la construction d'un bâtiment pour la centrale.
- **Sur les coûts de distribution** en économisant sur les dispositifs de protection électrique (mise à la terre, interrupteurs aériens, etc) grâce à l'utilisation de niveau de tension faible et non dangereuse et la moindre quantité d'énergie transitée sur le réseau.

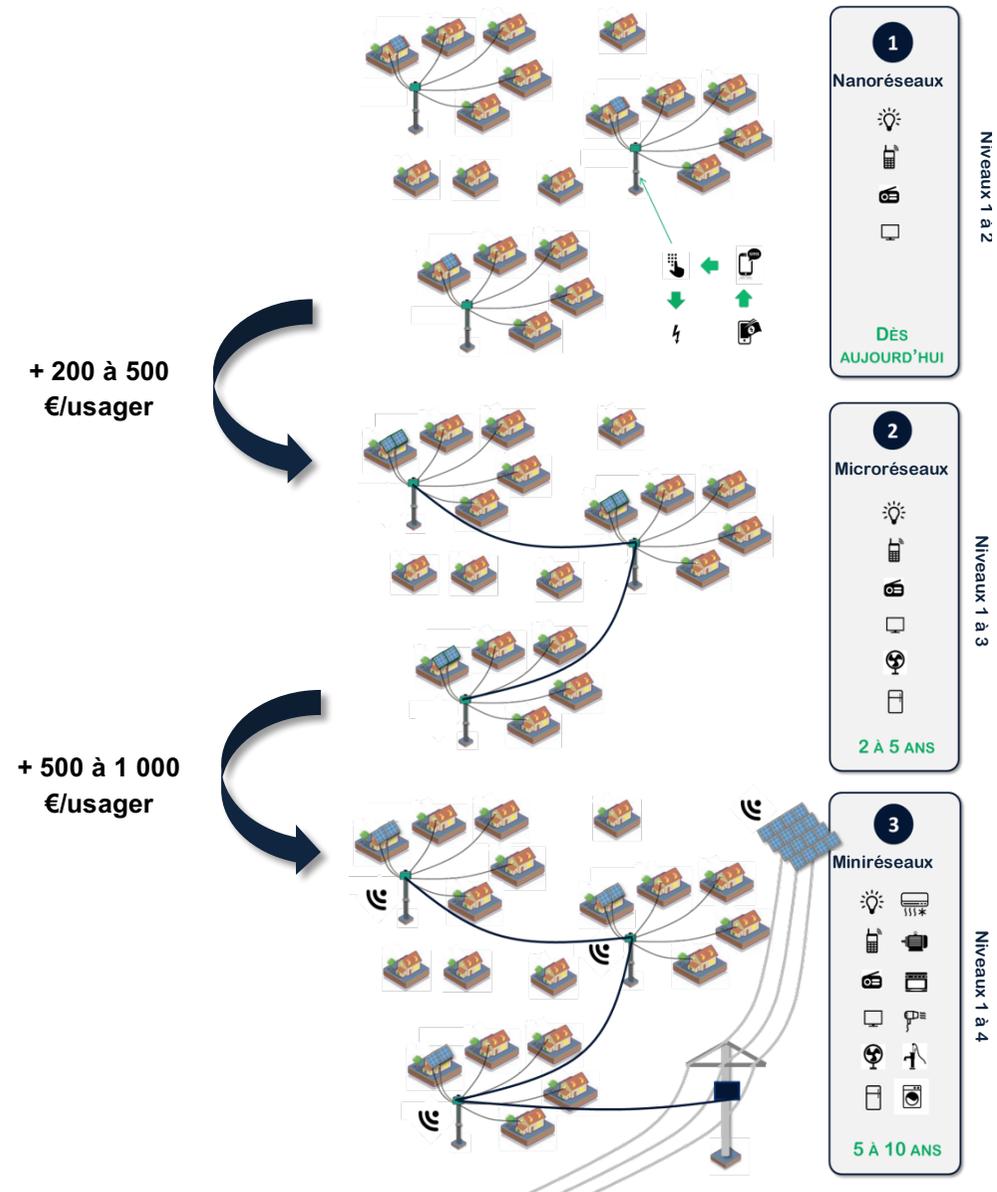


Figure 26 - Coûts d'investissement dans l'interconnexion de systèmes électriques latéraux

Le coût d'investissement total pour la constitution d'un micro-réseau pourrait représenter 300 à 800 €/usager (en comptant le coût d'investissement dans les Coûts du parcours d'électrification

Le graphe ci-dessous présente en guise de synthèse une illustration du coût d'investissement du parcours d'électrification d'un usager typique dont les besoins augmenteraient régulièrement du niveau 1 au niveau 4 sur une période de 10 ans avec chacune des 3 approches d'électrification.

Celui-ci met en évidence que le modèle d'électrification latérale est la seule approche compétitive sur l'ensemble du parcours d'électrification des usagers.

Si les systèmes solaires individuels sont compétitifs pour desservir les usages de base au début de ce parcours, leurs coûts à long terme sont élevés et ceux-ci se montrent incapables de desservir économiquement les besoins les plus importants.

A l'inverse, les micro-réseaux classiques parviennent à être compétitifs à long terme pour desservir des besoins élevés mais ceux-ci parviennent difficilement à répondre économiquement aux besoins de court-terme de base.

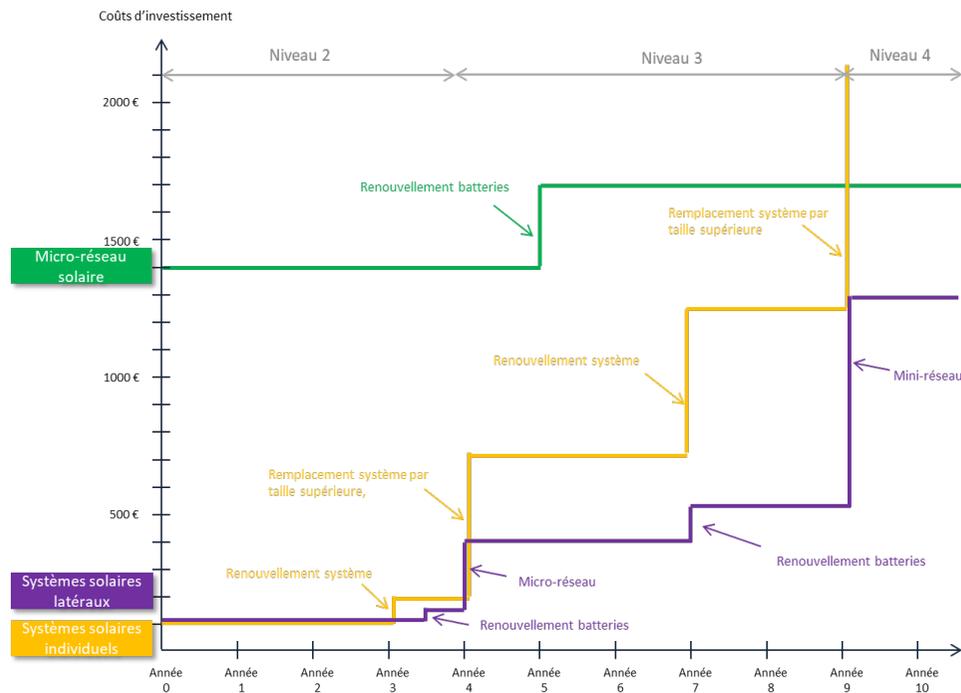


Figure 27 - Coûts d'investissement du parcours d'électrification d'un usager typique selon les 3 modèles

## 6.2. COÛTS D'EXPLOITATION POUR LES OPERATEURS

La comparaison des coûts d'exploitation des différentes solutions d'électrification est un exercice particulièrement compliqué dans la mesure où ceux-ci dépendent énormément des standards de qualité que le porteur s'impose.

- Les coûts d'exploitation des distributeurs de systèmes solaires en pay-as-you-go sont principalement constitués de coûts Marketing (collecte des paiements manuels ou par l'intermédiaire d'une plateforme automatisée) et de coûts de service après-vente, ces derniers coûts devenant prépondérant pour les distributeurs s'imposant une qualité de service élevée.
- Les coûts d'exploitation des opérateurs de micro-réseaux classiques sont également composés de coûts Marketing (facturation, relèves, etc) et de coûts de maintenance, ces derniers devenant également prépondérants chez les opérateurs s'imposant une qualité de service élevée (notamment en termes de continuité du service).

A qualité de service et présence sur le terrain équivalentes, les coûts d'exploitation des 3 solutions sont relativement proches :

- Les solutions individuelles nécessitent plus de personnel par usager compte tenu de la dispersion géographique des installations mais ceux-ci peuvent être faiblement qualifiés ;
- Les micro-réseaux nécessitent moins de personnel par usager compte tenu de la concentration des usagers mais d'un niveau de qualification (et donc d'un coût unitaire) plus élevé ;
- Les systèmes électriques latéraux nécessitent une quantité intermédiaire de personnel compte tenu de la relative concentration des usagers et d'un niveau de qualification également intermédiaire.

Ces coûts d'exploitation demeurent toutefois dans tous les cas négligeables par rapport aux coûts d'investissement (ne dépassant généralement annuellement pas 5 à 10% des coûts d'investissement initiaux).

### 6.3. COUTS POUR LES USAGERS

#### 6.3.1. TYPOLOGIE DE COUTS POUR L'USAGER

Les coûts totaux pour les usagers de l'accès aux services électriques délivrés par les différentes offres se décompose en deux types de coûts :

- **Des coûts initiaux** correspondant :
  - Pour les systèmes individuels vendus cash aux coûts d'achats du système et des installations intérieures (ampoules, radio, TV, etc) parfois fournies avec le système ;
  - Pour les systèmes individuels vendus en leasing pay-as-you-go au dépôt initial demandé aux usagers (les installations intérieures étant généralement fournies avec le système);
  - Pour les solutions de réseaux classiques aux coûts de raccordement (branchement, disjoncteur, tableau électrique, etc) et aux coûts des installations intérieures ;
  - Pour les systèmes électriques latéraux aux frais d'installation (correspondant aux coûts de fourniture et installation des circuits et équipements intérieurs) ;
- **De coûts réguliers** correspondant :
  - Pour les systèmes individuels vendus en leasing pay as you go au montant des remboursements mensuels ou hebdomadaires effectués pendant une période de 1 à 3 ans<sup>76</sup>. Ces coûts sont nuls pour les systèmes vendus cash.
  - Pour les solutions de réseaux classiques aux coûts des consommations comprenant généralement une prime fixe dépendant de la puissance souscrite et un montant variable correspondant à la quantité d'électricité consommée.

<sup>76</sup> La norme étant 1 an pour les lampes solaires et les plus petits kits (maximum 2 ampoules une prise USB) et 2 à 3 ans pour les kits plus importants (plus d'ampoules, radio et éventuellement télévision).

- Pour les systèmes électriques latéraux aux coûts des recharges de crédits d'accès journalier au service souscrit.

#### 6.3.2. COMPARAISON DES COUTS POUR L'USAGER

Le tableau ci-dessous présente, pour différents niveaux de service, un comparatif des coûts classiquement encourus en Afrique par les usagers des différentes offres d'électrification:

|   | Coûts initiaux<br>(en €) |                   |                  |              | Coûts réguliers<br>(en €/mois) |                   |                  |              |
|---|--------------------------|-------------------|------------------|--------------|--------------------------------|-------------------|------------------|--------------|
|   | Kit solaire Cash         | Kit solaire PAYG* | Réseau classique | Nano-réseau* | Kit solaire Cash               | Kit solaire PAYG* | Réseau classique | Nano-réseau* |
| 2 | 20 - 60                  | 5 - 10            | 50 - 150         | 4 - 8        | 0                              | 5 - 9             | 2 - 4            | 2 - 3        |
| 3 | 30 - 80                  | 10 - 15           | 60 - 160         | 6 - 12       | 0                              | 7 - 12            | 3 - 5            | 4 - 5        |
| 4 | 50 - 100                 | 12 - 20           | 80 - 180         | 11 - 18      | 0                              | 9 - 15            | 4 - 8            | 6 - 9        |
| 5 | 120 - 200                | 60 - 100          | 150 - 300        | 60 - 80      | 0                              | 14 - 20           | 6 - 12           | 10 - 14      |
| 6 | 700 - 1500               | 300 - 500         | 300 - 500        | N.D**        | 0                              | 30 - 40           | 15 - 25          | N.D**        |

\* Hypothèses : Circuits d'éclairages et de recharges de téléphone fournis par l'opérateur mais autres équipements acquis séparément par l'utilisateur  
 \*\* Offre de ce type en cours de préparation par Nano mais non encore commercialisée

**Figure 28 - Analyse comparative des coûts pour l'utilisateur de plusieurs solutions d'électrification**

Malgré une variabilité des coûts très importante au sein de chaque solution liée à la multitude des offres disponibles sur le continent<sup>78</sup>, plusieurs grands enseignements peuvent être tirés de cette comparaison :

<sup>77</sup> La majorité des distributeurs du secteur ont optés pour des traites régulières systématiques correspondant assimilables à un remboursement plutôt qu'à un paiement au service puisque les usagers sont tenus de payer même s'ils ne consomment pas sur la période.

<sup>78</sup> Moindre pour les nano-réseaux n'ayant été testé que par une entreprise dans un seul pays...

- **Les systèmes solaires individuels payés cash** apparaissent comme la solution la plus économique à horizon 2 ans pour les niveaux de service les plus bas. Ceux-ci doivent néanmoins faire face à des coûts d'entrée relativement élevés empêchant une frange importante de la population rurale africaine d'y accéder. Leur acquisition constitue par ailleurs une prise de risque importante pour les usagers devant en assurer la maintenance.

Leur durée de vie étant souvent inférieure à celle de leurs équivalents vendus en pay-as-you-go (généralement proche de 2 ans), ceux-ci apparaissent moins intéressants à horizon 10 ans même s'ils demeurent légèrement moins chers que les alternatives à cet horizon pour les besoins domestiques de base (éclairage et multimedia).

- **Les systèmes solaires en leasing (pay-as-you-go)** permettent de lever la contrainte du coût d'entrée et temporairement celle de la maintenance des équipements (prise en charge pendant la période de remboursement). La période de remboursement de ce système s'étale généralement sur 1 an pour les solutions de pur éclairage, 2 ans pour les solutions intermédiaires et 3 ans pour les solutions plus importantes incluant la possibilité d'utiliser un téléviseur.

Au-delà de cette période, les coûts réguliers deviennent nuls pour l'utilisateur. Leur durée de vie en bon état de fonctionnement étant rarement supérieure d'un an à leur durée de remboursement, le coût global de ces solutions à horizon 5 ou 10 ans pour les usagers n'en demeurent pas moins très élevé.

Par ailleurs, ces solutions s'accommodant mal de la variabilité des besoins et des capacités de paiement des usagers (ceux-ci devant s'astreindre à payer des traites hebdomadaires ou mensuelles constantes), leur cœur de cible se situe parmi les populations urbaines ou péri-urbaines (souvent en back-up par rapport au réseau) ou dans les franges les plus riches des populations rurales.

- **Les réseaux classiques** constituent, à horizon 10 ans, une solution d'électrification très compétitive sur une vaste gamme de services (à l'exception de l'éclairage de base) mais constituent à l'inverse d'assez loin la solution la plus chère pour l'ensemble des usagers à court-terme (3 à

5 ans). Les coûts initiaux constituent en effet une barrière significative à l'entrée des usagers.

Par ailleurs, il convient de souligner que les prix pratiqués par les opérateurs de réseaux classiques (souvent réglementés) reflètent souvent peu leurs coûts réels de production. La rentabilité de cette activité sans subvention massive à l'investissement ou à l'exploitation est généralement négative ce qui limite significativement son potentiel de déploiement. Enfin, il est utile de rappeler que les usagers n'ont généralement pas la possibilité de choisir cette option limitée aux zones de population les plus denses.

- **Les nano-réseaux** de l'électrification latérale présentent l'avantage de proposer les coûts initiaux les plus faibles pour les usagers et des coûts réguliers proches de ceux des réseaux classiques aux tarifs réglementés et inférieurs à ceux des systèmes solaires en leasing (pay-as-you-go) à court-terme.

Bien qu'étalés sur une période plus longue à durée indéterminée, ces coûts réguliers peuvent être modulés à la hausse ou à la baisse par les usagers en fonction de leurs besoins et capacités de paiement puisque les jours non consommés ne sont pas facturés<sup>79</sup>.

En tenant également compte du fait que les coûts initiaux ne sont facturés qu'une seule fois (contrairement aux coûts des systèmes solaires individuels en leasing qui sont payés à nouveau à chaque renouvellement pour cause de fin de vie du système), le coût global à 10 ans apparaît inférieur pour les usagers que le recours à des systèmes solaires individuels.

Compte tenu des profils de coûts d'investissement présentés au paragraphe précédent, la rentabilité à 3-4 ans de cette activité pour ses opérateurs est comparable à celle des distributeurs de systèmes solaires en leasing et significativement supérieure à horizon plus lointain.

<sup>79</sup> La fourchette de coûts réguliers présentés dans le tableau correspond à des taux de consommation variant de 60% à 100% sachant que la moyenne constatée par Nanoé à Madagascar se situe autour de 80%.

# A. Annexes méthodologiques

ANNEXES

## A. ANNEXES METHODOLOGIQUES

### A1. LISTE DES PERSONNES INTERROGÉES DANS LE CADRE DE L'ÉTUDE

| Catégorie                                | Organisme  | Nom                        | Position  |
|--|--|----------------------------|---|
| <b>Industriels internationaux</b>        | Orange   | François LEFEVRE           | IMT Techno  |
|  |  | Christophe CHAUSSECOURTE   | Dir. Affaires Utilities   |
|  | Total  | Vincent SAUBESTRE          | Dir. R&D, stratégie   |
|  |  | Bruno DELAHAYE             | Dir. Energies Nouvelles   |
|  |  | Franck RAGOT               | Energy Management Systems                                       |
|  |  | Philippe CABUS             | Business Development - Accès à l'énergie                        |
|  |  | Grégory DURAND             | Business Development - Accès à l'énergie                        |
|  |  | Pierre Emmanuel HICKEL     | Industrialisation Technologies PV                               |
|  |  | Florian TEMIME             | Energy Access   |
|  | Veolia   | Martine VUILLERME          |   |
| Murat ISIKVEREN                          |  | Dir. Stratégie Energie     |   |
| <b>Bailleurs de fonds internationaux</b> | Banque Mondiale  | Jan KAPPEN                 | Expert Energie Océan Indien                                     |
|  | Agence française de développement                                    | Nicolas GUICHARD           | Dir. Energie  |
|  |  | Christian DE GROMARD       | Expert Energie – Division Transport et Energie Durables         |
|  |  | Grégoire LEVA              | Chef de projet Energie – Division Transport et Energie Durables |
|  |  | Tiana Murielle RABARIVELO  | Responsable Secteur Privé – AFD Madagascar                      |
|  |  | Camille PAQUET             | Responsable Formation – AFD Madagascar                          |
| <b>Experts africains</b>                 | Club'ER – Association africaine des agences d'électrification rurale | Hary ANDRIANTAVY           | Secrétaire général  |
| <b>Autorités malgaches</b>               | Ministère de l'Energie   |                            | Secrétaire Général de l'Energie                                 |
|  | Agence de Développement de l'Electrification Rurale                  | Mamisoa RAKOTOARIMANANA    | Secrétaire Exécutif   |
|  | Projet Pôles Intégrés de Croissance                                  | Eric RAKOTO ANDRIANTSILAVO | Secrétaire Général  |

|  |  |                       |                                 |
|--|--|-----------------------|---------------------------------|
|  | JIRAMA (Compagnie nationale d'eau et d'électricité)                  | Olivier Aimé JAOMIARY | Directeur Général               |
|  |  | Henri RANDRIAMANANA   | Directeur Général Adjoint       |
| <b>Industriels malgaches</b>                         | BFV Société Générale   | Frédéric LEIRITZ      | Directeur Général Adjoint       |
|  |  | Benjamin TOUOUZE      | Directeur Relations Entreprises |
|  | Madagreen Power  | Olivier MERAUD        | Directeur Général               |
| <b>Collectivités territoriales malgaches</b>         | Commune rurale d'Ambohimena, District d'Ambanja, Région Diana        | Ioussouf SYLVANO      | Maire                           |
|  | Commune rurale d'Antsakoamanandroa, District d'Ambanja, Région Diana | Santisy LEONARD       | Maire adjoint                   |
| <b>Opérateurs malgaches d'électrification rurale</b> | BETC Nanala  | Paul RAKOTONDRALAMBO  | Directeur Général               |
|  | Electricité de Madagascar  | Véronique PERDIGON    | Secrétaire Générale             |
| <b>Opérateurs d'électrification latérale</b>         | Nanoé  | Nolwenn LE SAUX       | Directrice technique            |
|  |  | Archille ELIA BEFENO  | Responsable d'exploitation      |
|  |  | Jamil TONGAZARA       | Nano-entrepreneur               |
|  |  | Dariana VOLATIANA     | Nano-entrepreneure              |
|  |  | Elphège HASINDRAZAMA  | Nano-entrepreneur               |
|  |  | Elodio VENANCE        | Nano-entrepreneur               |

## A2. BIBLIOGRAPHIE

- AfDB (African Development Bank). (2013). The high cost of electricity generation in Africa. 18 February 2013. <http://www.afdb.org/en/blogs/afdb-championing-inclusive-growth-across-africa/post/the-high-cost-of-electricity-generation-in-africa-11496/>.
- AfDB. (2015). New SEFA grant to promote scale-up of the nascent green mini-grid market. 23 June 2015.
- Africa Progress Panel. (2015). Power People Planet Africa Progress Report. Geneva: Africa Progress Panel.
- Ahiataku-Togobo, W. (2015). Challenges of solar PV for remote electrification in Ghana. Renewable Energy
- Barrett, E. (2014). Nigeria's unfolding power reform programme. New African Magazine. 25 June 2014. <http://newafricanmagazine.com/nigerias-unfolding-power-reform-programme/>.
- BNEF (Bloomberg New Energy Finance). (2014). 2014 Sub-Saharan Africa Market Outlook. London: BNEF.
- BNEF, Lighting Global, World Bank and GOGLA. (2016). Off-grid Solar Market Trends Report 2016. London, Washington, DC and Utrecht: BNEF, Lighting Global, World Bank and GOGLA.
- BNEF, Lighting Global, World Bank and GOGLA. (2018). Off-grid Solar Market Trends Report 2018. London, Washington, DC and Utrecht: BNEF, Lighting Global, World Bank and GOGLA.
- CIC (Strathmore University Kenya Climate Innovation Center). (2014). Tax Regimes on Solar Products in Kenya. Nairobi: Strathmore University, Kenya CIC.
- Clean Energy Pipeline. (2015). Clean Energy Africa Finance Guide. London: Clean Energy Pipeline.
- designboom. (2013). Coca-Cola EKOCENTER water purification shipping container unit. 9 October 2014.
- D.light. (2018). <http://www.dlight.com/>. Accessed 15 January 2018
- Eberhard, A., Kolker, J. and Leigland, J. (2014). South Africa's Renewable Energy IPP Procurement Program: Success Factors and Lessons, Washington, DC: Public-Private Infrastructure Advisory Facility (PPIAF).
- EC JRC (European Commission Joint Research Centre). (2014a). Solar radiation and photovoltaic electricity potential – country and regional maps for Africa. [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/afr\\_new.htm](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/afr_new.htm).
- EC JRC. (2014). Mapping the Cost of Electricity from Grid-connected and Off-grid PV Systems in Africa.
- EC JRC. (2014). Energy Options in Rural Africa: Solar and Diesel Distributed Systems vs Grid Extension. [http://www.area-net.org/fileadmin/user\\_upload/AREA/AREA\\_downloads/AREA\\_Conference\\_12/presentations/Session\\_4/Grid\\_vs\\_Distributed-PV-Diesel\\_in\\_Africa.pdf](http://www.area-net.org/fileadmin/user_upload/AREA/AREA_downloads/AREA_Conference_12/presentations/Session_4/Grid_vs_Distributed-PV-Diesel_in_Africa.pdf).
- EUEI PDF and GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH). (2014). Mini-grid Policy Toolkit. Eschborn: EUEI PDF.
- GIZ. (2009). Kenya's Solar Energy Market. Eschborn: GIZ.
- GIZ. (2013). PV Finance and Project Development: How Local Market Conditions Are Affecting Cost, Risk and Return. Eschborn: GIZ.
- GSMA. (2017). African Mobile Observatory 2017. London: GSMA.
- Hansen, U. E., Pedersen, M. B. and Nygaard, I. (2014). Review of Solar PV Market Development in East Africa.
- IEA (International Energy Agency). (2014). Africa Energy Outlook. Paris: OECD/IEA.
- IEA-PVPS (IEA Photovoltaic Power Systems Programme). (2014). Innovative Business Models and Financing Mechanisms for PV Deployment in Emerging Regions. Paris: OECD/IEA.
- IFC (International Finance Corporation). (2012). From Gap to Opportunity: Business Models for Scaling Up Energy Access. Washington, DC: IFC.
- IFC, GSMA and GPM. (2014). Tower Power Africa: Energy Challenges and Opportunities for the Mobile Industry in Africa. London: GSMA.

- IRENA. (2012). Prospects for the African Power Sector. Abu Dhabi: IRENA.
- IRENA. (2013). Working Together to Build an East and Southern Africa Clean Energy Corridor. Abu Dhabi,IRENA.
- IRENA. (2015). Africa 2030: Roadmap for a Renewable Energy Future. Abu Dhabi: IRENA.
- IRENA. (2015). Off-grid Renewable Energy Systems: Status and Methodological Issues. Bonn: IRENA.
- IRENA. (2016). Renewable Capacity Statistics 2016, Abu Dhabi: IRENA.
- Jackson, T. (2015). Africa's new breed of solar energy entrepreneurs. BBC News. 27 January 2015. <http://www.bbc.com/news/business-30805419>.
- Juwi International GmbH. (2013). Mini-grid Implementation. Experience as an EPC Contractor. Presentation. <https://www.giz.de/fachexpertise/downloads/2013-en-jochem-pep-informationsworkshop-minigrids.pdf>
- KEREA (Kenya Renewable Energy Association). (n.d.). Solar PV systems. <http://kerea.org/renewablesources/solar-pv-systems>.
- Manetsgruber, D. et al. (2015). Risk Management for Mini-grids – A New Approach to Guide Mini-grid Deployment.Brussels: Alliance for Rural Electrification.
- McKinsey & Company. (2015). Brighter Africa: The Growth Potential of the Sub-Saharan Electricity Sector. McKinsey & Company. [http://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/dotcom/client\\_service/EPNG/PDFs/Brighter\\_Africa-The\\_growth\\_potential\\_of\\_the\\_sub-Saharan\\_electricity\\_sector.ashx](http://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/dotcom/client_service/EPNG/PDFs/Brighter_Africa-The_growth_potential_of_the_sub-Saharan_electricity_sector.ashx).
- M-KOPA SOLAR. (2018). Company overview. <http://solar.m-kopa.com/about/company-overview/>. Accessed 27 January 2015.
- Norplan. (2012). Cost Competitiveness of Rural Electrification Solutions. Oslo: Norplan.
- Ondraczek, J., Komendantova, N. and Patt, A. (2015). WACC the dog: the effect of financing costs on the levelized cost of solar PV power. Renewable Energy. Volume 75, March, pp. 888–898.
- SOLARAFRICA. (2017) <http://www.solarafrica.com/>
- Taylor, D. et al. (2016). De-centralized Electricity in Africa and Southeast Asia: Issues and Solutions. Accenture. <https://www.rockefellerfoundation.org/app/uploads/De-centralized-Electricity-in-Africa-and-Southeast-Asia.pdf>
- Tweed, K. (2015). SunEdison's next market: solar minigrids and micropower stations for the energy poor. Greentech Media. 25 February 2015. [http://www.greentechmedia.com/articles/read/sunedison-will-bringelectricity-to-20-million-by-2020?utm\\_source=Solar&utm\\_medium=Picture&utm\\_campaign=GTMDaily](http://www.greentechmedia.com/articles/read/sunedison-will-bringelectricity-to-20-million-by-2020?utm_source=Solar&utm_medium=Picture&utm_campaign=GTMDaily).
- Willis, B. (2015). Ghana cap puts brakes on utility-scale solar. PV-Tech. 22 April 2015. [http://www.pv-tech.org/news/ghana\\_utility\\_solar\\_cap\\_casts\\_doubt\\_on\\_africas\\_largest\\_pv\\_power\\_plant](http://www.pv-tech.org/news/ghana_utility_solar_cap_casts_doubt_on_africas_largest_pv_power_plant).
- Weber, E. (2013). Off-grid: A demanding market. pv magazine. 25 November 2013. [http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/off-grid--a-demanding-market\\_100013551/#axzz3dPKwjztn](http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/off-grid--a-demanding-market_100013551/#axzz3dPKwjztn).
- Wesoff, E. (2015). 'One million solar homes,' Tanzanian style. Greentech Media. 18 February 2015. <http://www.greentechmedia.com/articles/read/One-Million-Solar-Homes-Tanzanian-Style>.
- World Bank (2011). Power Tariffs: Caught Between Cost Recovery and Affordability. Washington, DC: World Bank.
- World Bank. (2013). Connection Charges and Electricity Access in Sub-Saharan Africa. Washington, DC:World Bank.
- World Bank. (2016). Power outages in firms in a typical month (number). World Bank Data. <http://data.worldbank.org/indicator/IC.ELC.OUTG>.
- World Bank. (n.d). Fact Sheet: The World Bank and Energy in Africa. <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/COUNTRIES/AFRICAEXT/0,,contentMDK:21935594~pagePK:146736~piPK:146830~theSite PK:258644,00.html>.

### A3. TABLE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| Figure 1- Exemple de village rural africain .....   | 6  |
| Figure 2 - Part de la population ayant accès à l'électricité (en %).....  | 7  |
| Figure 3 - Structure de l'emploi par secteur en Afrique à horizon 2020 .....  | 8  |
| Figure 4 – Jeunes africains célébrant l'arrivée de l'électricité dans leur village .....  | 10 |
| Figure 5 - Dépenses annuelles en services énergétiques de base des ménages africains non connectés au réseau (en Md\$)<br>.....   | 12 |
| Figure 6 – Exemple de prise pour téléphone mobile sur une installation de niveau1 .....   | 13 |
| Figure 7 - Evolution projetée des coûts en dollars d'un système solaire autonome délivrant un service électrique de niveau 1<br>(i.e. lanternes mobiles) .....          | 13 |
| Figure 8 - Evolution projetée des coûts en dollars d'un système solaire autonome délivrant un service électrique de niveau 2<br>(i.e. éclairage fixe + TV + Radio)..... | 13 |
| Figure 9 - Niveaux de service électrique .....  | 14 |
| Figure 10 - Exemples de systèmes individuels .....  | 17 |
| Figure 11 - Electrification latérale .....  | 21 |
| Figure 12 - Approche organisationnelle du modèle d'électrification latérale .....   | 25 |
| Figure 13 - Difficulté de transport du matériel et route inondée dans le nord de Madagascar.....  | 27 |
| Figure 14 - Deux entrepreneurs locaux à Ambanja.....  | 28 |
| Figure 15 - Approche marketing du modèle d'électrification latérale .....   | 29 |
| Figure 16- Coffres en bois fabriqués localement servent à accueillir les batteries .....  | 33 |
| Figure 17 - Schéma de principe d'un nano-réseau .....   | 34 |
| Figure 18 - Nano réseau avec le contrôleur en haut du poteau de distribution et les câbles raccordés au panneau PV, à la<br>batterie et aux habitations .....           | 34 |
| Figure 20 – Interface en bas de poteau .....  | 36 |
| Figure 21 - Schéma de principe d'un micro-réseau latéral.....   | 38 |
| Figure 22 – Réunion d'information animée par des entrepreneurs locaux à Nosy Komba .....  | 47 |
| Figure 23 - Feuille de route de déploiement de l'électrification latérale .....   | 58 |
| Figure 24 - Zone de l'expérimentation conduite par Nanoé .....  | 59 |
| Figure 25 - Coûts d'investissement pour les opérateurs, par usager d'un nano-réseau .....   | 62 |
| Figure 26 - Coûts d'investissement dans l'interconnexion de systèmes électriques latéraux .....   | 64 |
| Figure 27 - Coûts d'investissement du parcours d'électrification d'un usager typique selon les 3 modèles .....  | 65 |
| Figure 28 - Analyse comparative des coûts pour l'usager de plusieurs solutions d'électrification .....  | 66 |

## Nous contacter :

Marc BOILLOT

[marc.boillot@algorusconsulting.com](mailto:marc.boillot@algorusconsulting.com)

06 66 32 94 34

Alain DOULET

[alaindoulet@hotmail.fr](mailto:alaindoulet@hotmail.fr)

00 262 693 01 71 47

Nicolas SAINCY

[nicolas.saincy@nanoe.net](mailto:nicolas.saincy@nanoe.net)

06 17 77 01 09

00 261 32 71 499 20

