

MGP

**MINI-GRIDS
PARTNERSHIP**



ÉTAT DU

MARCHÉ MONDIAL DES MINI-RÉSEAUX



Remerciements

Ce rapport a été rédigé par Elena Adamopoulou, Iro Sala, Adrian Pilco et Christopher Lewis de Economic Consulting Associates (ECA), et Kathryn Fluehr de Odyssey Energy Solutions.

Ce rapport a été commandé au nom du Partenariat Mini-Grids par l'équipe SEforALL, dirigé par Irene Calvé Saborit, Niklas Hayek, Bala Viswanathan, Miquilina Selasie Anagbah, Maja Grsic, Neil Claydon, Nicolás Larrañaga et Anja Barradas qui ont travaillé en étroite collaboration avec ECA.

Ce rapport a fait l'objet de commentaires judicieux de la part de pairs évaluateurs externes. Nous souhaitons remercier Bernard Tenenbaum, James Knuckles, Chris Greacen, Sylvain Boursier, Nicolas Allien (Banque mondiale), Benjamin Curnier (BAD), Steven Hunt (FCDO), Churchill Agutu (PNUD), Grace Perkins et Amon Mwadime (AMDA), Nishant Narayan (SEforALL), Michael Feldner et Rebecca Symington (GET.Invest Finance Catalyst), Ieva Indriunaite (Camco Energy) et Agustin Cabo (Power for All) pour leurs précieux commentaires.

Ce rapport de partenariat sur les mini-réseaux a été réalisé grâce au financement de UK Aid du gouvernement britannique via la plateforme Transforming Energy Access.

Nous remercions également les personnes qui ont été interrogées et qui ont contribué à cette étude : Benjamin Curnier (BAD), Jon Exel et Tatia Lemondzhava (Banque mondiale), Dennis Nderitu (GEAPP), Jessica Stiefler (MIGA), Veit Goehringer, Jasper Haerig, Soumana Kailou et Carlos Miro (GIZ), Giorgia Pasqualetto, Ben Hartley, Ingrid Rohrer, Anita Otubu, Nishant Narayan, Dolapo Oluwatosin Adeosun, Louis Tavernier et Abdul Yakubu (SEforALL), Michael Feldner, Maurice Pigaht et Rebecca Symington (GET.Invest Finance Catalyst), Agustin Carbo et Carolina Ines Pan (Power for All), Carol Zulu (PNUD), Miriam Atuya et Tombo Banda (CrossBoundary Innovation Lab), Frank Bergh (NRECA), Debajit Palit (NTPC School of Business, Inde), Elena van Hove (ASU), Stewart Hicks (Bamboo Capital), Jean-Denis Collin (ElectriFI), Nicole Poindexter (Energicity), Clifford Aron (Greenmax Capital), Marie Testard (Engie Energy Access), James Todd (Oikocredit), Sarah Alexander (SNV), Torsten Schreiber (Africa GreenTech), Kule Hamilton (Nuru Energy), Trey Jarrard (Renewvia Solar Africa), Idris Tayebi (Winch Energy), Roger Sallent (Trama TecnoAmbiental), Olivier Dumont (1pwafrica), Vijay Dongare (Sugar Corporation of Uganda Limited), Omozaphue Akalumhe (PriVida Energy) et Ignatius Anayawa (GEI Power).

Ce rapport a été édité par Justin French-Brooks.

AVEC L'APPUI FINANCIER



Transforming
Energy
Access

Ce rapport (y compris les annexes et les pièces jointes) a été préparé à l'usage et au bénéfice exclusifs de SEforALL et uniquement dans le but pour lequel il est fourni. Sauf accord écrit préalable, aucune partie de ce rapport ne doit être reproduite, distribuée ou communiquée à un tiers. Nous n'acceptons aucune responsabilité si ce rapport est utilisé dans un autre but que celui pour lequel il a été conçu, ni à l'égard d'un tiers en ce qui concerne ce rapport.

Avis de non-responsabilité : ce matériel a été financé par UK Aid du gouvernement britannique ; cependant, les opinions exprimées ne reflètent pas nécessairement les politiques officielles du gouvernement britannique.

SOMMAIRE

| | |
|--|------------|
| TABLEAUX, FIGURES ET ENCADRÉS | 5 |
| ABRÉVIATIONS | 11 |
| RÉSUMÉ EXÉCUTIF | 13 |
| 1. CONTEXTE ET OBJECTIFS | 23 |
| 1.1 Contexte..... | 23 |
| 1.2 Objectifs..... | 27 |
| 2. TENDANCES DU MARCHÉ DES MINI-RÉSEAUX | 29 |
| 2.1 Tendances générales du marché | 31 |
| 2.2 Tendances de l'environnement favorable | 34 |
| 2.3 Innovations en matière de modèles d'entreprise | 53 |
| 2.4 Tendances en matière de financement | 68 |
| 2.5 Tendances technologiques | 88 |
| 2.6 Tendances économiques | 100 |
| 3. IMPACTS | 109 |
| 3.1 Mesurer l'impact dans le cadre des ODD | 110 |
| 3.2 Approches axées sur le client pour mesurer l'impact | 114 |
| 3.3 Mesurer les progrès dans le déploiement des donateurs..... | 116 |
| 4. PERSPECTIVES DU MARCHÉ | 119 |
| 4.1 Perspectives d'un environnement favorable | 120 |
| 4.2 Perspectives du modèle d'entreprise..... | 122 |
| 4.3 Perspectives de financement | 123 |
| 4.4 Perspectives technologiques..... | 124 |
| 4.5 Perspectives pour l'économie | 125 |
| 5. RECOMMANDATIONS ET CONCLUSIONS | 127 |
| ANNEXE – ÉTUDES DE CAS | 133 |
| A1 Sierra Leone | 134 |
| A1.1 Contexte national | 134 |
| A1.2 Cadre politique..... | 137 |
| A1.3 Cadre réglementaire | 138 |
| A1.4 Économie | 142 |
| A2 Indie | 147 |
| A2.1 Contexte national..... | 147 |
| A2.2 Cadre politique..... | 152 |

| | |
|-------------------------------------|------------|
| A2.3 Cadre réglementaire | 153 |
| A2.4 Économie | 154 |
| A3 Kenya..... | 158 |
| A3.1 Contexte national | 158 |
| A3.2 Cadre politique..... | 161 |
| A3.3 Cadre réglementaire | 161 |
| A3.4 Économie | 164 |
| A4 Collecte des données..... | 167 |

TABLEAUX, FIGURES ET ENCADRÉS

TABLEAUX

| | |
|---|-----|
| TABLEAU 2.1 Aperçu des bases de données sur les flux de financement | 30 |
| TABLEAU 2.2 Aperçu de la base de données MGA..... | 31 |
| TABLEAU 3.1 Mesures d'impact à 60 décibels pour le secteur des mini-réseaux | 115 |
| TABLEAU 6.1 Tarifs des mini-réseaux pour les trois opérateurs | 144 |
| | |
| FIGURE 1.1 Soutien politique aux mini-réseaux pendant la période COVID-19 | 25 |
| FIGURE 1.2 Le rôle actuel des mini-réseaux | 26 |
| FIGURE 1.3 Part de la population connectée à un mini-réseau d'approvisionnement | 27 |
| FIGURE 2.1 Mini-réseaux installés et connexions ajoutées, 2018-2024, et croissance par rapport à l'année de référence (2018)..... | 32 |
| FIGURE 2.2 Part de la consommation totale d'électricité des mini-réseaux par type de consommateur, 2014-2024..... | 33 |
| FIGURE 2.3 Part cumulée de la capacité installée par type de combustible, 2018-2024 | 34 |
| FIGURE 2.4 Résumé de l'environnement favorable caractéristiques | 35 |
| FIGURE 2.5 Part des programmes de mini-réseaux offrant une assistance technique, par bailleur de fonds | 37 |
| FIGURE 2.6 Évolution des scores RISE pour les cadres de mini-réseaux par région, 2010-2021..... | 138 |
| FIGURE 2.7 Scores RISE pour les cadres de mini-réseaux par pays, 2021 | 38 |
| FIGURE 2.8 Aperçu des composantes tarifaires du modèle standard d'application des tarifs du Kenya..... | 44 |
| FIGURE 2.9 Efficacité globale des réglementations relatives aux mini-réseaux contre l'empiètement du réseau principal | 46 |
| FIGURE 2.10 Aperçu de l'explorateur de mini-réseaux interconnectés pour le Nigeria..... | 49 |
| FIGURE 2.11 Dispositions contractuelles potentielles pour les mini-réseaux sous-réseau | 50 |
| FIGURE 2.12 Modèles d'entreprise PUE..... | 56 |
| FIGURE 2.13 Consommation moyenne par utilisateur en fonction de l'heure de la journée, avant et après la livraison des appareils, Afrique de l'Est..... | 60 |
| FIGURE 2.14 Modèle sans grille | 66 |
| FIGURE 2.15 Total des fonds engagés dans les programmes en cours par région | 69 |
| FIGURE 2.16 Total des fonds engagés pour les programmes en cours par région | 70 |
| FIGURE 2.17 Nombre de programmes par financeur et financement moyen engagé par programme..... | 71 |

| | |
|---|-----|
| FIGURE 2.18 Financement moyen engagé par connexion planifiée et nombre total de connexions planifiées pour les programmes sélectionnés..... | 73 |
| FIGURE 2.19 Durée moyenne des programmes par financeur..... | 74 |
| FIGURE 2.20 Durée moyenne des programmes par principal instrument de financement..... | 74 |
| FIGURE 2.21 Instruments de financement utilisés par bailleur de fonds (part des programmes) | 76 |
| FIGURE 2.22 Part des programmes de mini-réseaux par principal instrument de financement | 77 |
| FIGURE 2.23 Part du financement par stade de développement des mini-réseaux et par principal instrument de financement..... | 79 |
| FIGURE 2.24 Part des programmes de mini-réseaux fournissant un financement en monnaie locale, par bailleur de fonds | 82 |
| Figure 2.25 Modèle de financement transfrontalier pour les mini-réseaux | 85 |
| FIGURE 2.26 Volume d'énergie photovoltaïque et coûts des modules prévus à l'horizon 2030..... | 89 |
| FIGURE 2.27 Capacité de stockage nominale, indexée à 2018..... | 91 |
| FIGURE 2.28 Baisse du prix des batteries lithium-ion, 2019-2023..... | 91 |
| FIGURE 2.29 Planification financière à travers la plateforme Odyssey | 95 |
| FIGURE 2.30 Profil de charge et conception de la production sur la plate-forme Odyssey | 96 |
| FIGURE 2.31 Exemple de tableau de bord technique | 99 |
| FIGURE 2.32 Exemple de tableau de bord des ICP..... | 99 |
| FIGURE 2.33 LCOE en fonction du facteur de charge et du type de solution de stockage | 102 |
| FIGURE 2.34 Courbe du LCOE de l'électrification pour l'Afrique subsaharienne par niveau ... | 103 |
| FIGURE 2.35 Coûts d'investissement par kW installé..... | 105 |
| FIGURE 2.36 Nombre moyen de clients par mini-réseau déclaré..... | 106 |
| FIGURE 2.37 Coûts d'exploitation moyens par kW..... | 107 |
| FIGURE 3.1 Les ODD et les mini-réseaux | 111 |
| FIGURE 3.2 Aperçu des mesures d'impact du GEAPP | 113 |
| FIGURE 3.3 Aperçu de l'impact projeté par EEP pour son portefeuille actif, dans le cadre des ODD | 113 |
| FIGURE 3.4 Total des fonds engagés par rapport aux fonds déboursés par an | 117 |
| FIGURE 4.1 Perspectives du marché | 119 |
| FIGURE 4.2 Réductions attendues du LCOE d'ici 2030..... | 126 |
| FIGURE 5.1 Domaines d'action | 128 |
| FIGURE 6.1 Plan d'électrification à moindre coût de la Sierra Leone | 134 |
| FIGURE 6.2 Mini-réseaux de l'UNOPS | 136 |

| | |
|--|-----|
| FIGURE 6.3 Modèle de répartition des actifs de RREP (WP2) | 143 |
| FIGURE 6.4 Constitution des coûts tarifaires sur la base des coûts moyens des trois opérateurs | 145 |
| FIGURE 6.5 Taux d'électrification nationale, Inde, 2001-2021 | 148 |
| FIGURE 6.6 Pourcentage de ménages n'ayant pas accès à l'électricité, Inde, par État..... | 149 |
| FIGURE 6.7 Coupure d'électricité quotidienne, en heures, zones rurales..... | 150 |
| FIGURE 6.8 Politique en matière de mini-réseaux en Inde, dans les différents États | 153 |
| FIGURE 6.9 Analyse des tarifs des mini-réseaux en Inde, à partir de diverses sources | 155 |
| FIGURE 6.10 Répartition des entreprises rurales en Inde | 157 |
| FIGURE 6.11 Mini-réseaux existants et potentiels | 158 |
| FIGURE 6.12 Plan d'électrification à moindre coût du Kenya..... | 159 |

CHIFFRES

| | |
|---|----|
| FIGURE 1.1 Soutien politique aux mini-réseaux pendant la période COVID-19 | 25 |
| FIGURE 1.2 Le rôle actuel des mini-réseaux | 26 |
| FIGURE 1.3 Part de la population connectée à un mini-réseau d'approvisionnement | 27 |
| FIGURE 2.1 Mini-réseaux installés et connexions ajoutées, 2018-2024, et croissance par rapport à l'année de référence (2018)..... | 32 |
| FIGURE 2.2 Part de la consommation totale d'électricité des mini-réseaux par type de consommateur, 2014-2024..... | 33 |
| FIGURE 2.3 Part cumulée de la capacité installée par type de combustible, 2018-2024 | 34 |
| FIGURE 2.4 Résumé de l'environnement favorable caractéristiques | 35 |
| FIGURE 2.5 Part des programmes de mini-réseaux offrant une assistance technique, par bailleur de fonds | 37 |
| FIGURE 2.6 Évolution des scores RISE pour les cadres de mini-réseaux par région, 2010-2021..... | 38 |
| FIGURE 2.7 Scores RISE pour les cadres de mini-réseaux par pays, 2021 | 38 |
| FIGURE 2.8 Aperçu des composantes tarifaires du modèle standard d'application des tarifs du Kenya..... | 44 |
| FIGURE 2.9 Efficacité globale des réglementations relatives aux mini-réseaux contre l'empiètement du réseau principal | 46 |
| FIGURE 2.10 Aperçu de l'explorateur de mini-réseaux interconnectés pour le Nigeria..... | 49 |
| FIGURE 2.11 Dispositions contractuelles potentielles pour les mini-réseaux sous-réseau | 50 |
| FIGURE 2.12 Modèles d'entreprise PUE..... | 56 |
| FIGURE 2.13 Consommation moyenne par utilisateur en fonction de l'heure de la journée, avant et après la livraison des appareils, Afrique de l'Est..... | 60 |
| FIGURE 2.14 Modèle sans grille | 66 |

| | |
|---|-----|
| FIGURE 2.15 Total des fonds engagés dans les programmes en cours par région | 69 |
| FIGURE 2.16 Total des fonds engagés pour les programmes en cours par région | 70 |
| FIGURE 2.17 Nombre de programmes par financeur et financement moyen engagé par programme..... | 71 |
| FIGURE 2.18 Financement moyen engagé par connexion planifiée et nombre total de connexions planifiées pour les programmes sélectionnés..... | 73 |
| FIGURE 2.19 Durée moyenne des programmes par financeur..... | 74 |
| FIGURE 2.20 Durée moyenne des programmes par principal instrument de financement..... | 74 |
| FIGURE 2.21 Instruments de financement utilisés par bailleur de fonds (part des programmes) | 76 |
| FIGURE 2.22 Part des programmes de mini-réseaux par principal instrument de financement | 77 |
| FIGURE 2.23 Part du financement par stade de développement des mini-réseaux et par principal instrument de financement..... | 79 |
| FIGURE 2.24 Part des programmes de mini-réseaux fournissant un financement en monnaie locale, par bailleur de fonds | 82 |
| Figure 2.25 Modèle de financement transfrontalier pour les mini-réseaux | 85 |
| FIGURE 2.26 Volume d'énergie photovoltaïque et coûts des modules prévus à l'horizon 2030 | 89 |
| FIGURE 2.27 Capacité de stockage nominale, indexée à 2018..... | 91 |
| FIGURE 2.28 Baisse du prix des batteries lithium-ion, 2019-2023..... | 91 |
| FIGURE 2.29 Planification financière à travers la plateforme Odyssey | 95 |
| FIGURE 2.30 Profil de charge et conception de la production sur la plate-forme Odyssey | 96 |
| FIGURE 2.31 Exemple de tableau de bord technique | 99 |
| FIGURE 2.32 Exemple de tableau de bord des ICP..... | 99 |
| FIGURE 2.33 LCOE en fonction du facteur de charge et du type de solution de stockage | 102 |
| FIGURE 2.34 Courbe du LCOE de l'électrification pour l'Afrique subsaharienne par niveau ... | 103 |
| FIGURE 2.35 Coûts d'investissement par kW installé..... | 105 |
| FIGURE 2.36 Nombre moyen de clients par mini-réseau déclaré..... | 106 |
| FIGURE 2.37 Coûts d'exploitation moyens par kW..... | 107 |
| FIGURE 3.1 Les ODD et les mini-réseaux | 111 |
| FIGURE 3.2 Aperçu des mesures d'impact du GEAPP | 113 |
| FIGURE 3.3 Aperçu de l'impact projeté par EEP pour son portefeuille actif, dans le cadre des ODD | 113 |
| FIGURE 3.4 Total des fonds engagés par rapport aux fonds déboursés par an..... | 117 |
| FIGURE 4.1 Perspectives du marché | 119 |

| | |
|--|-----|
| FIGURE 4.2 Réductions attendues du LCOE d'ici 2030..... | 126 |
| FIGURE 5.1 Domaines d'action | 128 |
| FIGURE 6.1 Plan d'électrification à moindre coût de la Sierra Leone | 134 |
| FIGURE 6.2 Mini-réseaux de l'UNOPS | 136 |
| FIGURE 6.3 Modèle de répartition des actifs de RREP (WP2) | 143 |
| FIGURE 6.4 Constitution des coûts tarifaires sur la base des coûts moyens des trois opérateurs | 145 |
| FIGURE 6.5 Taux d'électrification national, Inde, 2001-2021 | 148 |
| FIGURE 6.6 Pourcentage de ménages n'ayant pas accès à l'électricité, Inde, par État..... | 149 |
| FIGURE 6.7 Coupure d'électricité quotidienne, en heures, zones rurales..... | 150 |
| FIGURE 6.8 Politique en matière de mini-réseaux en Inde, dans les différents États | 153 |
| FIGURE 6.9 Analyse des tarifs des mini-réseaux en Inde, à partir de diverses sources | 155 |
| FIGURE 6.10 Répartition des entreprises rurales en Inde | 157 |
| FIGURE 6.11 Mini-réseaux existants et potentiels | 158 |
| FIGURE 6.12 Plan d'électrification à moindre coût du Kenya | 159 |

ENCADRÉS

| | |
|---|----|
| ENCADRÉ 2.1 Cadre de distribution intégré pour la planification énergétique | 40 |
| ENCADRÉ 2.2 Programme d'accélération des mini-réseaux interconnectés au Nigeria..... | 48 |
| ENCADRÉ 2.3 "Solutions de mini-réseaux pour les clients mal desservis" : Recommandations..... | 50 |
| ENCADRÉ 2.4 Mini-réseaux sous-réseau de PowerGen au Nigeria..... | 51 |
| ENCADRÉ 2.5 Intégration de la communauté locale dans les projets de mini-réseaux..... | 53 |
| ENCADRÉ 2.6 Approches gouvernementales du développement des mini-réseaux | 55 |
| ENCADRÉ 2.7 La stratégie ABC en pratique | 58 |
| ENCADRÉ 2.8 Le refroidissement durable comme moyen d'augmenter la demande d'électricité en mini-réseau | 58 |
| ENCADRÉ 2.9 Modèle d'accélération de l'activité : Engie Equatorial..... | 61 |
| ENCADRÉ 2.10 JUMEME : Aide au développement ciblée | 61 |
| ENCADRÉ 2.11 Oikocredit : construire un écosystème autour du PUE | 62 |
| ENCADRÉ 2.12 L'autonomisation des communautés grâce à la PUE | 64 |
| ENCADRÉ 2.13 Utilisation de l'électricité excédentaire pour le minage de crypto-monnaies : Sans réseau..... | 65 |
| ENCADRÉ 2.14 Mini- réseaux maillés d'Okra Solar | 67 |
| ENCADRÉ 2.15 Mécanisme de l'énergie universelle | 78 |

| | |
|--|-----|
| ENCADRÉ 2.16 Intégrer la flexibilité dans les programmes du FRB | 79 |
| ENCADRÉ 2.17 Prêts bonifiés pour le préfinancement du FRB : CEI Africa | 80 |
| ENCADRÉ 2.18 Garanties d'extension de durée..... | 82 |
| ENCADRÉ 2.19 Le modèle financier de CrossBoundary pour les mini-réseaux..... | 84 |
| ENCADRÉ 2.20 Ateliers pour investisseurs organisés par EEP Africa | 86 |
| ENCADRÉ 2.21 Outils numériques de modélisation technique et financière : Odyssey | 95 |
| ENCADRÉ 2.22 Analyse avancée de la surveillance..... | 98 |
| ENCADRÉ 2.23 Une approche progressive du dimensionnement du système | 104 |
| ENCADRÉ 3.1 Enquêtes finales d'Oikocredit..... | 116 |
| ENCADRÉ 3.2 Suivi du déploiement des donateurs : L'électricité pour tous | 117 |

ABRÉVIATIONS

| | |
|---------------------------|---|
| AC | courant alternatif |
| ADELE | Accès à l'électricité et à l'éclairage distribués en Éthiopie |
| AFD | Agence française de développement |
| BAD | Banque africaine de développement |
| AFUR | Forum africain des régulateurs de services publics |
| AMAP | Programme d'accélération des mini-réseaux en Afrique |
| AMDA | Association des développeurs de mini-réseaux en Afrique |
| ARPU | revenu moyen par utilisateur |
| BGFA | Fonds "Beyond the Grid" pour l'Afrique |
| BMZ | Ministère fédéral de la coopération économique et du développement |
| capex | dépenses en capital |
| C&I | commercial et industriel |
| Accès CB | Accès transfrontalier |
| CO -eq₂ | équivalent en dioxyde de carbone |
| CREDA | Agence de développement des énergies renouvelables du Chhattisgarh |
| DART | Regroupement de la demande pour les technologies renouvelables |
| DC | courant continu |
| DOEN | Fondation DOEN |
| RÊVE | Énergie renouvelable distribuée - Modalités de l'agriculture |
| D-REC | Crédit pour les énergies renouvelables distribuées |
| EnDev | Dynamiser le développement |
| CPE | l'ingénierie, la passation de marchés et la construction |
| GSE | environnement, social et gouvernance |
| ESMAP | Programme d'aide à la gestion du secteur de l'énergie |
| FCDO | Bureau des affaires étrangères, du Commonwealth et du développement |
| GEAPP | Alliance mondiale pour les peuples et la planète |
| GEP | Plate-forme mondiale d'électrification |
| TPS | taxe sur les produits et services |
| FDI | Cadre de distribution intégré |
| AIE | Agence internationale de l'énergie |
| ICP | indicateur de performance clé |
| LCOE | coût nivelé de l'électricité |

| | |
|-----------------|---|
| Li-ion | lithium-ion |
| MGA | Mini-réseau actif |
| MGF | Bailleurs de fonds du mini-réseau |
| MIGA | Agence multilatérale de garantie des investissements |
| MPME | micro, petites et moyennes entreprises |
| MW | mégawatt |
| MNRE | Ministère des énergies nouvelles et renouvelables |
| MYTO | Arrêté tarifaire pluriannuel |
| Na-ion | ion sodium |
| NEFCO | Société nordique de financement de l'environnement |
| PEN | plan national d'électrification |
| O&M | fonctionnement et entretien |
| PPP | partenariat public-privé |
| P-REC | Crédit d'impôt pour les énergies renouvelables |
| PRESS-D | Promouvoir les services d'énergie renouvelable pour le développement social |
| PUE | l'utilisation productive de l'énergie |
| PV | photovoltaïque |
| RBF | le financement basé sur les résultats |
| REC | Crédit d'impôt pour les énergies renouvelables |
| REREC | Rural Electrification and Renewable Energy Corporation (Société d'électrification rurale et d'énergie renouvelable) |
| RISE | Indicateurs réglementaires pour l'énergie durable |
| RREP | Projet d'énergie renouvelable en milieu rural |
| ODD | Objectif de développement durable |
| SEforALL | L'énergie durable pour tous |
| TPRMG | Micro-réseau renouvelable de Tata Power |
| UEF | Installation énergétique universelle |
| PNUD | Programme des Nations unies pour le développement |
| UNOPS | Bureau des Nations unies pour les services d'appui aux projets |
| WBREDA | Agence de développement des énergies renouvelables du Bengale occidental |



RÉSUMÉ EXÉCUTIF

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Le défi mondial de l'électrification, crucial pour atteindre l'objectif de développement durable (ODD) 7, a connu des progrès et des reculs. Notamment, le nombre de personnes privées d'électricité a diminué de 466 million entre 2010 et 2021, grâce aux progrès réalisés dans le domaine des énergies renouvelables, à l'augmentation des investissements et au renforcement de la coopération internationale. Toutefois, la plupart des progrès ont été réalisés en dehors de l'Afrique subsaharienne. Les mini-réseaux sont apparus comme un moteur essentiel de l'électrification des zones reculées. Des événements récents, notamment la pandémie de COVID-19 et des conflits géopolitiques tels que l'invasion de l'Ukraine par la Russie, ont perturbé les progrès. Ces défis soulignent la nécessité de renforcer les efforts d'électrification durable.

Le rapport sur l'état du marché mondial des mini-réseaux (2024) constitue une ressource complète visant à stimuler l'investissement et à éclairer la prise de décision dans le secteur. Utilisant une méthodologie ascendante ("bottom-up"), il fournit des informations actualisées et des stratégies prospectives pour la mise à l'échelle durable du secteur, en synthétisant les données issues d'entretiens avec les parties prenantes et de recherches documentaires approfondies.

L'analyse quantitative présentée dans ce rapport repose sur des données provenant de deux bases de données principales : la base de données des bailleurs de fonds du mini-réseau (MGF) et la base de données des actifs du mini-réseau (MGA). La base de données

MGF englobe plus de 160 projets de 14 bailleurs de fonds, fournissant des informations détaillées sur le financement des projets, les connexions prévues et les instruments de financement utilisés dans 45 pays, principalement en Afrique et en Asie. La base de données MGA donne un aperçu d'environ 1,100 projets de mini-réseaux dans 16 pays, sur des aspects tels que les choix technologiques, la segmentation de la clientèle et les structures de coûts. Des comparaisons avec d'autres bases de données pertinentes ont été effectuées afin de garantir une évaluation complète et nuancée des principales tendances du marché des mini-réseaux.

TENDANCES DU MARCHÉ

Tendances générales

Au cours de la dernière décennie, les installations de mini-réseaux ont connu une tendance à la hausse constante et notable à l'échelle mondiale. Les installations sont plus de six fois plus nombreuses qu'en 2018. Cette croissance, particulièrement notable en Afrique subsaharienne, souligne la reconnaissance croissante des mini-réseaux en tant que solution réalisable pour l'électrification des zones reculées.

Entre 2018 et 2024, la part de la capacité diesel dans les mini-réseaux a connu une baisse significative, passant de 42% à 29%. Cette baisse s'explique par les efforts mondiaux de réduction des émissions de carbone, l'augmentation des coûts opérationnels associés au diesel et la baisse des coûts de stockage des batteries. En revanche, la part des systèmes solaires photovoltaïques a connu une augmentation remarquable, passant de 14% à 59% au cours de la même période. Cette augmentation est attribuée aux progrès de la technologie solaire, à l'accessibilité financière, à l'évolutivité et aux politiques de soutien qui encouragent le déploiement de l'énergie solaire.

Tendances en matière d'environnement favorable

L'accent est mis de plus en plus sur le renforcement des capacités des gouvernements et l'établissement de politiques claires pour permettre la participation du secteur privé. Les bailleurs de fonds incluent une assistance technique dans leurs programmes de mini-réseaux et davantage de pays ont adopté des cadres réglementaires complets en matière de mini-réseaux par rapport à 2020, le Nigeria, l'Angola, l'Éthiopie, le Kenya et la Zambie ayant réalisé des progrès notables. Toutefois, il subsiste souvent un fossé entre les réglementations écrites officielles et leur mise en œuvre.

L'intégration de la planification énergétique au-delà des plans nationaux d'électrification gagne du terrain. Malgré l'augmentation du nombre de plans nationaux d'électrification élaborés, des conseils détaillés de mise en œuvre font défaut. Pour y remédier, des efforts sont actuellement déployés pour étendre les cadres de planification intégrée de l'accès à l'énergie afin de mettre en œuvre ces plans, avec des stratégies financières réalisables pour chaque modalité d'électrification. Des efforts sont également déployés pour intégrer différents modes d'électrification en combinant des systèmes en réseau, des mini-réseaux et des systèmes autonomes, en tirant parti des subventions croisées et des partenariats public-privé.

Les processus réglementaires sont adaptés aux différentes échelles des mini-réseaux afin d'améliorer la flexibilité et de réduire les coûts. Les petits systèmes de moins de 100 kW sont souvent exemptés d'autorisation et d'approbation tarifaire, ce qui permet aux opérateurs de fixer les tarifs en consultation avec les communautés, comme c'est le cas au Nigeria et en Inde. Cette approche dépendante de la capacité permet d'équilibrer les faibles coûts de développement sur les marchés émergents avec une protection plus forte sur les marchés matures, bien qu'elle soit accueillie avec un certain scepticisme par le secteur, étant donné le risque que pose l'absence de licence formelle et d'accord tarifaire délivré par le gouvernement.

Les réglementations relatives aux mini-réseaux autorisent de plus en plus les demandes de groupées (portefeuille) et l'allongement de la durée des licences afin d'améliorer la bancabilité. Les demandes de groupées de mini-réseaux minimisent les coûts de transaction et attirent les financiers privés en permettant des transactions plus importantes, en réduisant les risques et en permettant des processus d'appel d'offres concurrentiels. En outre, il est essentiel pour la viabilité des projets de veiller à ce que la durée des permis et des licences corresponde à celle des accords de financement, qui est généralement de 10 à 25 ans.

Les tarifs de recouvrement des coûts, qui utilisent une formule basée sur les coûts pour calculer les besoins en revenus, sont devenus courants sur les marchés des mini-réseaux, notamment dans des pays comme l'Éthiopie, le Kenya, le Nigeria, la Tanzanie et la Zambie. À la lumière des récents défis macroéconomiques, l'accent est mis sur des mécanismes d'ajustement efficaces qui tiennent compte de l'inflation et des fluctuations monétaires afin de garantir la bancabilité du cadre tarifaire, tout en protégeant les clients des mini-réseaux contre des charges économiques excessives.

Davantage de réglementations relatives aux mini-réseaux sont mises en place pour relever le défi de l'extension du réseau, mais la mise en œuvre de ces réglementations est souvent à la traîne, et l'évaluation du transfert d'actifs manque de clarté et de précision.

Des efforts ont été déployés pour normaliser les approches politiques en vue d'une mise à l'échelle rapide, mais des progrès supplémentaires sont nécessaires. Si les cadres doivent être adaptés aux contextes nationaux, certaines dispositions, telles que la protection des investissements et les méthodologies tarifaires, peuvent être basées sur des modèles. Malgré les progrès accomplis, la normalisation des processus de diligence raisonnable reste un défi.

Des efforts sont actuellement déployés pour rationaliser et numériser les processus de demande de licences et de permis pour les mini-réseaux. Face à l'urgence d'accélérer l'électrification universelle, les technologies numériques offrent un traitement automatisé des données, accélérant ainsi le déploiement. Les partenaires de développement soutiennent les régulateurs et les ministères dans la mise en place de guichets uniques pour les demandes de mini-réseaux.

Les efforts d'intégration des mini-réseaux dans le réseau principal prennent de l'ampleur, dans le but d'améliorer la résilience du système électrique et de profiter aux consommateurs, aux services publics et aux opérateurs de mini-réseaux. Les cadres réglementaires jouent un rôle essentiel pour assurer une intégration harmonieuse, les

recommandations mettant l'accent sur les installations volontaires et une réglementation peu contraignante.

On observe une évolution notable vers une collaboration accrue entre les parties prenantes, couvrant les régulateurs, les donateurs, les entités du secteur privé et les communautés locales. Le dialogue avec les parties prenantes est crucial, l'accent étant mis sur la consultation précoce des investisseurs afin d'élaborer des réglementations susceptibles d'être financées. Cependant, il est nécessaire de mettre davantage l'accent sur la collaboration dans les processus de candidature et de diligence raisonnable entre les bailleurs de fonds.

Innovations en matière de modèles d'entreprise

L'évolution des modèles commerciaux des mini-réseaux reflète le passage de la simple fourniture d'électricité à la promotion de l'utilisation productive de l'énergie (UPE), souvent avec une portée élargie, comme la fourniture d'appareils et le développement de chaînes de valeur de l'UPE, soutenant en fin de compte le développement rural durable et la croissance économique. Dans ce contexte, les financiers reconnaissent de plus en plus l'importance du financement des appareils pour développer l'utilisation productive de l'énergie.

Les entreprises exploitent des applications alternatives à haute valeur ajoutée pour l'énergie excédentaire au cours des premières phases d'exploitation des mini-réseaux afin d'augmenter les revenus et de faire baisser les tarifs. Un modèle innovant utilise l'électricité excédentaire des mini-réseaux renouvelables pour le minage de bitcoins afin de générer un flux de revenus stable, fournissant une demande et des revenus prévisibles.

Les réseaux maillés sont de plus en plus considérés comme une solution efficace pour électrifier les zones à faible densité de population. Contrairement aux mini-réseaux, qui nécessitent des zones densément peuplées, les réseaux maillés connectent les maisons voisines pour partager l'électricité, ce qui permet de combiner leur consommation.

Pour optimiser les coûts, les entreprises de mini-réseaux forment de plus en plus de partenariats et opèrent au sein de chaînes de valeur verticalement intégrées. Cette intégration, qui englobe des étapes telles que la conception technique, la construction, la vente, l'exploitation et la maintenance (E&M), permet de réaliser des économies d'échelle, d'augmenter les marges bénéficiaires et d'améliorer le contrôle de la qualité, ce qui se traduit par une plus grande satisfaction des clients.

Tendances en matière de financement

Malgré l'augmentation substantielle du financement du secteur des mini-réseaux au cours des 15 dernières années, un important déficit de financement subsiste. L'Afrique subsaharienne a été le principal bénéficiaire des fonds provenant d'investisseurs privés, de gouvernements et de partenaires de développement. Deux grandes tendances se dégagent: une augmentation significative du total des fonds engagés, qui dépassera 2,5 milliards d'USD en 2023, et une multiplication par six des investissements privés, qui passeront de moins de 100 millions d'USD en 2015 à près de 600 millions d'USD en 2022. Dans l'ensemble, le financement total engagé pour les programmes en cours s'élève à plus de 3,1 milliards d'USD pour 377 programmes, les pays africains recevant la majeure partie de cet investissement. Le

financement par connexion s'élève en moyenne à 411 USD, avec des variations selon les régions et les programmes. L'allongement de la durée des programmes, généralement lié à une assistance technique et à des conditions de financement favorables, souligne encore l'engagement des bailleurs de fonds en faveur d'un déploiement durable des mini-réseaux.

Au cours des dernières années, le total des engagements financiers a augmenté de manière significative, le taux de décaissement restant aux alentours de 60 %. Toutefois, les taux de déploiement varient considérablement d'un bailleur de fonds à l'autre. Parmi les programmes pour lesquels des données sont disponibles, 57 % des fonds engagés ont été décaissés en mars 2024, ce qui souligne la nécessité d'améliorer le suivi et les stratégies pour accélérer le décaissement des fonds.

Des mécanismes innovants sont en cours d'élaboration pour réduire les risques liés aux investissements dans les mini-réseaux, en tenant compte du risque élevé perçu et de la fluctuation de la demande. Les financements mixtes - combinant subventions, fonds propres et emprunts - ont joué un rôle essentiel pour attirer les investisseurs commerciaux et les investisseurs d'impact, améliorant ainsi la durabilité et la bancabilité des projets de mini-réseaux. En outre, des plateformes de financement à guichet unique, offrant des solutions financières complètes qui comprennent le préfinancement, les subventions basées sur les résultats et l'assistance technique, sont en cours de développement pour fournir l'adaptabilité requise pour le développement des mini-réseaux.

Pour faire avancer les projets de mini-réseaux dans les zones difficiles d'accès, il est de plus en plus important de repenser les instruments de financement afin de remédier aux inefficacités en matière de décaissement. Si les subventions et les systèmes de financement basés sur les résultats restent essentiels, ils s'accompagnent souvent d'exigences restrictives et de délais limités, ce qui entrave le développement des projets. Conscients de ces défis, des efforts sont en cours pour rationaliser les processus et fournir des structures de financement plus flexibles. Des solutions innovantes, telles que les prêts à remboursement conditionnel, permettent de financer le pré-développement, de combler les déficits de financement cruciaux et d'accélérer le lancement des projets.

Les bailleurs de fonds explorent de plus en plus les garanties pour atténuer le risque de change dans les investissements dans les mini-réseaux. Ces garanties alignent les flux de revenus sur les coûts de financement, réduisant ainsi l'impact des fluctuations de change. Cependant, malgré leur importance, les financements en monnaie locale restent limités, seuls quelques bailleurs de fonds proposant de telles options.

L'exploitation des options de financement climatique constitue une voie prometteuse pour renforcer les flux de revenus dans le secteur des mini-réseaux. Des mécanismes innovants tels que les crédits d'énergie renouvelable distribuée (D-REC) et les crédits d'énergie renouvelable pour la paix (P-REC) se révèlent être des outils efficaces pour le financement des projets de mini-réseaux.

La recherche de l'échelle reste une stratégie importante pour assurer la viabilité financière des projets de mini-réseaux. Le regroupement de ces projets, que ce soit par le biais d'un portefeuille ou de plateformes de regroupement, offre aux développeurs la

possibilité de capitaliser sur les économies d'échelle, à la fois en termes de coûts matériels et immatériels.

La normalisation des mécanismes d'établissement de rapports et des cadres de suivi de l'impact a peu progressé au sein de la communauté des donateurs et des investisseurs, et un soutien supplémentaire est nécessaire pour les entreprises de mini-réseaux en phase de démarrage, en particulier les entreprises locales, afin de répondre aux exigences strictes des financeurs en matière de diligence raisonnable.

Tendances technologiques

La baisse des coûts des composants des mini-réseaux, notamment les modules photovoltaïques, les onduleurs, les batteries, les onduleurs de batterie et les compteurs intelligents, a considérablement amélioré la viabilité financière des projets de mini-réseaux. En particulier, le prix des panneaux solaires photovoltaïques a chuté d'environ 90 % au cours de la dernière décennie, grâce à l'augmentation de l'offre et aux progrès technologiques. Malgré les perturbations à court terme causées par la pandémie mondiale de COVID-19 et les tensions géopolitiques telles que l'invasion de l'Ukraine par la Russie, le marché de l'énergie photovoltaïque est resté sur sa trajectoire de baisse des prix.

Les batteries lithium-ion sont de plus en plus répandues car leur coût continue de baisser. En 2021, le coût moyen des batteries lithium-ion était d'environ 123 USD par kWh, ce qui est nettement inférieur à celui des batteries plomb-acide, qui se situait entre 200 et 220 USD par kWh. Les prévisions indiquent une baisse continue du coût des batteries lithium-ion, qui pourrait atteindre 75 USD par kWh d'ici à 2030. Les batteries lithium-ion offrent une durée de vie plus longue, une efficacité accrue et des besoins de maintenance réduits par rapport aux variantes au plomb-acide, bien que des facteurs spécifiques au site puissent faire pencher les préférences des développeurs vers le plomb-acide dans certains cas, tels que des demandes de puissance plus faibles.

Des solutions logicielles robustes révolutionnent le développement des mini-réseaux à toutes les phases du cycle de vie du projet, en optimisant la planification, l'origination des financements, l'acquisition des équipements et la diligence raisonnable. Les progrès des technologies de surveillance et de contrôle à distance ont facilité la gestion efficace des sites les plus éloignés, ce qui a permis de réaliser des économies substantielles, estimées à au moins 15 % des dépenses d'exploitation et de maintenance. En outre, des solutions technologiques centralisées sont apparues pour rationaliser le traitement et la gestion des données, permettant aux promoteurs d'obtenir des informations détaillées et de suivre les indicateurs clés de performance dans l'ensemble de leur portefeuille.

Tendances économiques

Le coût nivelé de l'électricité (Levelised Cost of Electricity - "LCOE") produite dans un mini-réseau a baissé conformément aux réductions de coûts plus générales observées dans le secteur au cours des dernières années. Les analyses révèlent une baisse remarquable de 31 % du LCOE, qui passe de 0,55 USD par kWh en 2018 à 0,38 USD par kWh en 2021, principalement en raison de la diminution des coûts des composants des mini-réseaux, en particulier de la

production et du stockage photovoltaïques. Toutefois, il est essentiel de contextualiser les chiffres du LCOE, en tenant compte de facteurs tels que les niveaux d'électrification et les conditions propres à chaque pays, qui ont un impact sur les calculs financiers et économiques du LCOE.

Les coûts d'investissement ont connu une baisse significative au cours des quatre dernières années. Le coût moyen par connexion à un mini-réseau a chuté de 43 %, passant de 1 250 USD en 2020 à 707 USD en 2024. Les dépenses par kWp sont restées relativement stables entre 2021 et 2024, oscillant autour de 3 000 USD avant de chuter à environ 2 200 USD en 2024. Cette tendance à la baisse des coûts reflète les progrès de l'industrie en matière de technologie et d'efficacité de l'approvisionnement, ainsi que l'élargissement des opérations.

PERSPECTIVES DU MARCHÉ

Perspectives d'un environnement favorable

- **Planification énergétique intégrée:** Le secteur devrait passer de modalités d'électrification distinctes à une approche intégrée, illustrée par des modèles tels que le cadre de distribution intégré, qui met l'accent sur l'intégration multiforme des modes d'électrification et des secteurs.
- **Approches réglementaires du recouvrement des coûts:** Le secteur s'oriente vers des mécanismes flexibles de recouvrement des coûts, tels que des ajustements automatiques des tarifs, reconnaissant l'importance de l'échelle pour la viabilité et permettant des demandes de portefeuille pour les licences et les tarifs.
- **Normalisation des approches et des outils réglementaires:** On peut s'attendre à une plus grande normalisation des aspects réglementaires, tels que les méthodes de fixation des tarifs, grâce à des plans établis et à la collaboration entre les parties prenantes par l'intermédiaire d'entités telles que l'AMDA.
- **Évaluation complète des actifs en cas d'arrivée du réseau:** les méthodes d'évaluation des actifs des mini-réseaux évoluent, avec des réglementations émergentes sur les droits à compensation dans les scénarios d'arrivée du réseau, visant à encourager la participation du secteur privé.
- **Mini-réseaux interconnectés:** L'accent sera davantage mis sur l'amélioration de l'accès à l'énergie par le biais de mini-réseaux interconnectés afin de remédier à la mauvaise qualité du service.

Perspectives du modèle d'entreprise

- **Modèles commerciaux innovants pour l'électrification du dernier kilomètre :** Les promoteurs explorent des approches innovantes telles que les mini-réseaux pour atteindre les zones faiblement peuplées, ce qui permet de réaliser des économies sur la distribution et d'accélérer le déploiement sans nécessiter l'acquisition de terrains.

Toutefois, cela peut conduire à une sélection des sites commercialement viables, ce qui pose des problèmes pour les politiques de subvention.

- **Approche proactive du PUE** : le PUE restera crucial, ce qui entraînera une évolution vers des modèles proactifs tels que l'accélération des affaires et les approches fournisseur-fournisseur, illustrées par des initiatives qui impliquent la fourniture d'éducation, de formation et de développement commercial pour les micro, petites et moyennes entreprises (MPME), dans le but d'améliorer la rentabilité des mini-réseaux tout en responsabilisant les communautés.

Perspectives technologiques

- **L'agrégation pour la viabilité financière des mini-réseaux** : Les plateformes et les fonds d'agrégation sont appelés à devenir de plus en plus essentiels pour permettre aux petites entreprises de bénéficier d'économies d'échelle, d'obtenir des équipements et des financements à prix réduit, et donc d'améliorer leur viabilité financière.
- **Collaboration intersectorielle pour le développement du secteur** : Les partenariats au sein de la communauté des donateurs et entre les secteurs devraient viser à supprimer les cloisonnements, à mettre en commun les ressources et à encourager l'innovation, tout en soulignant le rôle du financement climatique dans l'expansion du secteur des mini-réseaux.

Perspectives économiques

- **Poursuite de la réduction du LCOE** : La modélisation du programme d'aide à la gestion du secteur énergétique (Energy Sector Management Assistant Program, "ESMAP") prévoit une réduction continue du LCOE pour les mini-réseaux les plus performants, grâce à la baisse prévue des coûts des composants tels que les panneaux solaires et les batteries Li-ion d'ici à 2030, propulsée par l'échelle de l'industrie et les progrès dans les secteurs associés tels que les fermes solaires et les véhicules électriques.

RECOMMANDATIONS ET CONCLUSIONS

Domaines d'action pour le secteur public

- **Des plans d'expansion du réseau de distribution clairs et actualisés** afin d'atténuer le risque d'empiètement sur le réseau.
- **Considérer les mini-réseaux interconnectés** comme une solution potentielle à moindre coût.
- **Le traitement réglementaire des mini-réseaux en tant qu'infrastructures** doit être aligné sur leur nature d'investissements à long terme.

- **Des mécanismes clairs et efficaces d'indexation des tarifs** pour atténuer partiellement les risques clés tels que la dépréciation de la monnaie et l'inflation.
- **Implication précoce des investisseurs dans l'élaboration du cadre réglementaire** afin de créer des cadres susceptibles d'être financés et d'encourager l'investissement privé.
- **Renforcement de la collaboration entre les régulateurs** au niveau régional.

Domaines d'action pour les financeurs

- **Amélioration de la collaboration et du partage des données** entre les financiers afin d'économiser les ressources des donateurs, des investisseurs et des développeurs de mini-réseaux.
- **Des approches ciblées** du développement des mini-réseaux fondées sur une compréhension approfondie du contexte local et sur l'inclusion des acteurs locaux.
- **Simplification de l'accès aux subventions et standardisation des procédures de demande** afin d'améliorer l'efficacité et de réduire les coûts de financement pour les promoteurs.
- **Prolonger la durée des programmes des donateurs** pour s'aligner sur le calendrier plus long nécessaire au développement du secteur des mini-réseaux et permettre aux développeurs de récupérer les coûts d'investissement.
- **Mettre davantage l'accent sur le financement des phases de croissance**, qui sont souvent négligées, afin de réduire les délais d'acquisition des fonds pour les expansions.
- **Des relations durables entre les financiers et les développeurs**, facilitées par des réunions régulières, afin de renforcer la confiance et la compréhension, ce qui conduit à un soutien financier continu.
- **Assistance technique ciblée** pour les gouvernements afin de favoriser un environnement propice et pour les entreprises de mini-réseaux en phase de démarrage afin de faciliter l'accès aux subventions et d'améliorer les capacités des entreprises.

Domaines d'action pour le secteur privé

- **Regroupement de sites plus importants et moins risqués avec des sites plus petits et plus risqués** pour réaliser des économies d'échelle, obtenir de meilleures conditions commerciales et atténuer le risque de change.
- Un **dossier commercial plus solide avec des voies de rentabilité claires et des mesures d'impact transparentes** pour attirer les investisseurs et mettre en évidence l'engagement du développeur envers les ODD.
- **Priorité au PUE** non seulement pour l'autonomisation économique, mais aussi pour le développement communautaire, par exemple en électrifiant les institutions publiques.

Des responsabilités partagées

- **Réduire la fragmentation du secteur en partageant des données sur l'économie des mini-réseaux** afin de permettre aux parties prenantes d'identifier les tendances et de relever les défis de manière plus efficace, favorisant ainsi la transparence, la responsabilité et un environnement propice à l'innovation et à l'investissement.
- **Une efficacité accrue dans le décaissement des fonds** grâce à l'amélioration des processus et des procédures parmi les bailleurs de fonds, et des conditions politiques et réglementaires favorables - y compris des accords publics-privés clairs sur les tarifs - de la part du secteur public.
- **Création en collaboration d'un cadre d'habilitation global** pour le développement des mini-réseaux, qui implique des réglementations favorables, des instruments de financement adaptés et l'accès à des capitaux à long terme.
- **L'adoption d'une perspective à long terme fondée sur la viabilité commerciale** pour développer des projets de mini-réseaux durables, ce qui implique de disposer d'un modèle commercial viable et d'avoir accès à un financement mixte, ainsi que de reconnaître que les rendements sont réalisés sur une longue période et que la rentabilité doit être équilibrée avec des objectifs d'électrification plus larges, non financiers, et les ODD.



CHAPITRE UN

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

Le défi de l'électrification mondiale, essentiel pour atteindre l'objectif de développement durable (ODD) 7, a connu un mélange d'avancées et de reculs significatifs. Notamment, entre 2010 et 2021, la population n'ayant pas accès à l'électricité a été réduite de 466 million passant de 1,14 milliard à 675 million¹. Ces progrès peuvent être attribués à une combinaison de facteurs, notamment les avancées dans les technologies des énergies renouvelables, l'augmentation des investissements dans les projets d'électrification et la coopération internationale. Cependant, il est important de noter que la majorité de ces réductions se sont produites dans des régions en dehors de l'Afrique subsaharienne. Au cours de cette période, l'énergie solaire s'est imposée comme un moteur essentiel de l'électrification des zones rurales et isolées, en raison de son évolutivité et de la baisse de son coût. Les mini-réseaux et les systèmes solaires autonomes sont devenus des approches d'électrification pour fournir de l'électricité aux communautés où l'extension du réseau traditionnel n'est pas économiquement réalisable. En outre, les décideurs politiques du monde entier ont donné la priorité à l'accès universel à l'électricité, ce qui s'est traduit par des initiatives ciblées visant à combler le fossé en matière d'accès à l'énergie.

¹ SEforALL. 2023. [Analyse approfondie : Suivi de l'ODD 7 : le rapport d'étape sur l'énergie 2023](#).

Cependant, des événements mondiaux récents ont posé de nouveaux défis et exacerbé les défis existants sur la voie de l'électrification universelle. La pandémie de COVID-19 a entraîné des perturbations majeures, affectant les chaînes d'approvisionnement, augmentant le coût des matériaux et détournant l'attention et les ressources des gouvernements vers des crises sanitaires et économiques immédiates. Ces perturbations ont ralenti ou bloqué les projets d'électrification, en particulier dans les pays en développement où les ressources sont plus limitées. La pandémie a également eu des répercussions sur la situation financière de nombreux ménages et entreprises, réduisant ainsi leur capacité à payer l'électricité. Cette situation a, à son tour, eu un impact négatif sur les revenus des compagnies d'énergie, mettant en péril leur viabilité financière. L'invasion de l'Ukraine par la Russie au début de 2022 a encore compliqué le paysage mondial de l'électrification. Ce conflit a entraîné une augmentation des défis logistiques et du coût du capital. La perturbation des marchés de l'énergie, en particulier en Europe, s'est répercutée à l'échelle mondiale, affectant à la fois la disponibilité et le coût des ressources énergétiques. En outre, le conflit a contribué à une réorientation des priorités mondiales, de nombreux pays se concentrant sur la sécurité énergétique, ce qui a potentiellement détourné l'attention et les ressources des efforts d'accès à l'énergie dans les pays en développement. Le paysage de l'électrification en Afrique a également été affecté par l'augmentation des troubles civils, les entreprises étant confrontées à une perturbation de la chaîne d'approvisionnement, à une augmentation des coûts d'assurance et à des menaces pour la sécurité des employés.² Cette situation, associée à une forte inflation et à un environnement de taux d'intérêt élevés, a rendu non viables des projets qui l'étaient auparavant.

Les conséquences de ces revers sont multiples. S'ils menacent de ralentir le rythme de l'électrification et risquent même d'annuler les progrès réalisés dans certaines régions, ils offrent également la possibilité de mettre au point des approches novatrices en matière de financement, d'approvisionnement et de déploiement des technologies de mini-réseau. Selon les données de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), le nombre de personnes vivant sans électricité dans le monde a augmenté en 2022³, ce qui représente la première augmentation mondiale depuis que l'AIE a commencé à suivre ces chiffres il y a 20 ans. Cette augmentation concerne principalement l'Afrique subsaharienne, où le nombre de personnes privées d'accès à l'électricité a presque retrouvé son niveau record de 2013. À long terme, ces défis soulignent l'importance d'une innovation continue dans les méthodes d'électrification, en particulier celles qui sont durables et moins dépendantes des chaînes d'approvisionnement mondiales. La nécessité de mécanismes de financement plus souples pour soutenir l'électrification est également de plus en plus reconnue, en particulier face aux incertitudes économiques mondiales. Cependant, si la pandémie a présenté des défis sans précédent, elle est également devenue un catalyseur pour des réponses politiques innovantes visant à minimiser les impacts sur l'accès à l'électricité, sa qualité et son coût.⁴

Selon un nouveau module de l'étude Regulatory Indicators for Sustainable Energy (RISE) 2022 consacré aux politiques d'accès à l'électricité pendant la pandémie, de nombreux pays ont intégré des mesures spécifiques dans leurs plans de relance COVID-19 pour soutenir le secteur

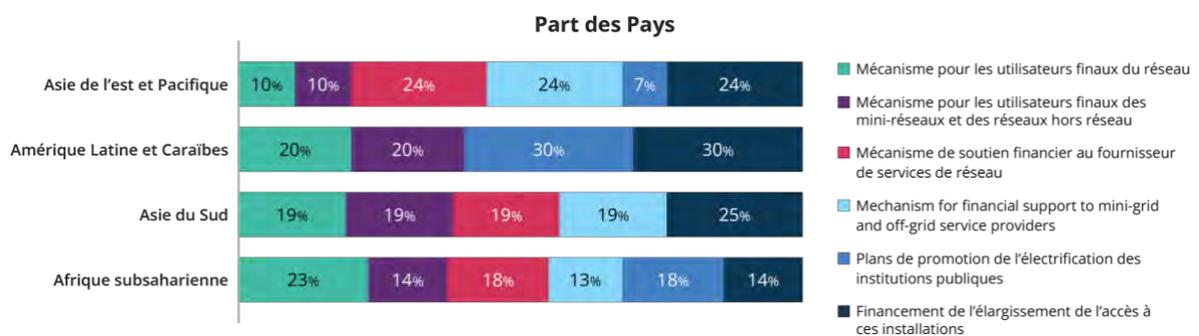
² Maplecroft. 2023. Les troubles civils en Afrique atteignent leur plus haut niveau depuis 6 ans.

³ AIE. 2023. L'accès à l'électricité s'améliore légèrement en 2023, mais reste loin du rythme nécessaire pour atteindre l'ODD 7.

⁴ Entretien avec l'université d'État de l'Arizona.

de l'électricité, comme le montre le tableau suivant Figure 1.1 ci-dessous.⁵ Environ 41 % des pays interrogés ont mis en œuvre des mécanismes pour soutenir les utilisateurs finaux, tandis que 39 % ont fourni une assistance financière aux fournisseurs de services. En outre, 44 % des pays ont pris des mesures pour soutenir l'électrification des institutions publiques. Ces efforts ont été essentiels pour maintenir l'élan vers l'accès universel à l'électricité. Les Global Indicators Briefs 2022 de la Banque mondiale ont notamment souligné que les compagnies d'électricité ont continué à établir de nouvelles connexions électriques tout au long de la pandémie, démontrant ainsi leur résilience et leur capacité d'adaptation.⁶ Les sociétés de mini-réseaux, reconnues comme des "services essentiels" dans de nombreux pays, ont joué un rôle essentiel en assurant la continuité du service, même pendant les fermetures d'usines.

FIGURE 1.1 Soutien politique aux mini-réseaux pendant la période COVID-19



Source : ESMAP : ESMAP, 2022. Indicateurs réglementaires pour l'énergie durable (RISE).

Les mini-réseaux jouent un rôle crucial dans les efforts d'électrification. Les mini-réseaux sont apparus comme une solution essentielle pour combler le fossé mondial en matière d'accès à l'électricité, en particulier dans les zones où l'extension du réseau principal n'est pas réalisable ou rentable. Cela est vrai même dans les pays où les efforts d'électrification ont permis d'atteindre un taux d'accès à l'électricité proche de 100%. Les mini-réseaux sont essentiels pour atteindre la dernière frontière dans les endroits éloignés et difficiles d'accès, tels que les îles, et pour remédier à la mauvaise qualité de l'approvisionnement dans les régions où les réseaux sont faibles. Ces systèmes décentralisés offrent une approche polyvalente de l'électrification. Dans les régions où le réseau principal n'est pas fiable, les mini-réseaux offrent une alternative plus fiable. Ils constituent également souvent l'option d'électrification la moins coûteuse dans les zones rurales et isolées, où réside plus de 80 % de la population mondiale non électrifiée.⁷ Le potentiel des mini-réseaux est encore renforcé par leur capacité à s'adapter rapidement aux innovations du marché, tant sur le plan technologique que sur celui des modèles d'entreprise, et par leur alignement sur les exigences du réseau de l'avenir. En outre, les mini-réseaux peuvent être déployés par étapes, en augmentant la capacité de production et la disponibilité en fonction de la croissance de la demande, ce qui permet de soutenir efficacement les activités

⁵ ESMAP, 2022. [Indicateurs réglementaires pour l'énergie durable](#).

⁶ ESMAP, 2022. [Indicateurs réglementaires pour l'énergie durable](#).

⁷ ESMAP, 2023. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Market Outlook and Handbook for Decision Makers](#).

génératrices de revenus. Cette adaptabilité est cruciale pour connecter les quelque 660 millions de personnes qui ont besoin d'un accès à l'électricité d'ici 2030 pour atteindre l'ODD 7.⁸

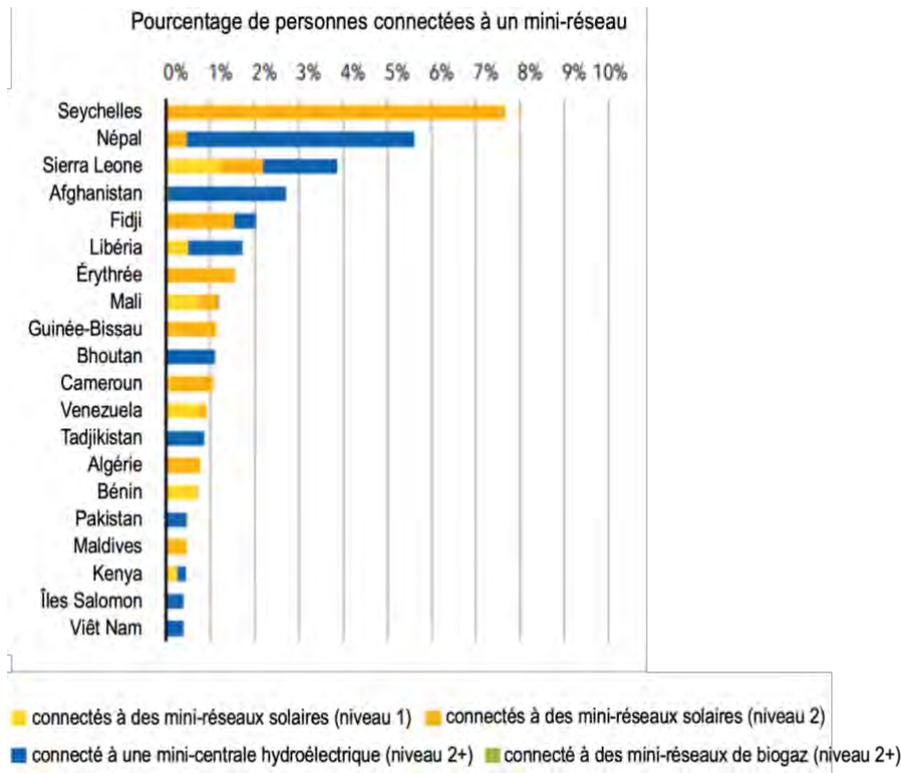
FIGURE 1.2 Le rôle actuel des mini-réseaux



Sources : AIE et al : AIE et al. 2023. [Suivi de l'ODD 7. The energy progress report 2023](#) ; ESMAP. 2022. [Mini-Grids for Half a Billion People : Market Outlook and Handbook for Decision Makers.](#)

L'accès aux mini-réseaux continue de s'étendre, grâce au soutien des décideurs politiques, des investisseurs privés et des consommateurs. Les mini-réseaux se sont imposés comme une solution d'électrification des zones rurales, au même titre que l'extension du réseau et les systèmes autonomes, pour fournir une électricité fiable aux communautés éloignées ou à celles qui sont touchées par des interruptions fréquentes de l'alimentation électrique. Parmi les 20 premiers pays ayant un accès étendu aux mini-réseaux électriques, près de la moitié se trouvent en Afrique subsaharienne. Les Seychelles et le Népal fournissent de l'électricité en mini-réseau à plus de 5% de leur population.

⁸ ESMAP. 2023. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Market Outlook and Handbook for Decision Makers.](#)

FIGURE 1.3 Part de la population connectée à un mini-réseau d'approvisionnement

Source : ESMAP : ESMAP. 2023. [Suivi de l'ODD 7](#).

Objectifs

Ce rapport sur l'état du marché vise à mieux faire connaître les mini-réseaux, à mobiliser les investissements dans le secteur des mini-réseaux et à servir de référence pour permettre aux décideurs de mesurer les progrès réalisés dans le secteur. Le rapport fournit les dernières mises à jour sur le marché mondial des mini-réseaux et met en évidence les tendances clés de l'industrie qui, ensemble, peuvent constituer une source d'information définitive pour les parties prenantes. Ce rapport sur l'état du marché des mini-réseaux est un ajout important à la gamme actuelle d'études, qui se distingue par sa méthodologie ascendante unique.

Le rapport présente non seulement l'état actuel du marché des mini-réseaux, mais propose également une stratégie prospective pour son expansion durable. Il synthétise les résultats d'entretiens approfondis avec environ 25 parties prenantes et d'un examen de plus de 100 études et évaluations. Elle offre une perspective globale et bien informée sur le secteur des mini-réseaux, et sert également de guide pour le développement stratégique et la croissance durable du secteur. En combinant des données, des opinions d'experts et une approche visionnaire, ce rapport se veut un outil essentiel pour les décideurs, les financiers et les experts de terrain qui s'engagent à atteindre l'objectif de l'accès universel à une électricité abordable, en veillant à ce que personne ne soit laissé pour compte.





CHAPITRE DEUX

TENDANCES DU MARCHÉ DES MINI-RÉSEAUX

Outre les entretiens avec les parties prenantes, les bases de données suivantes ont été analysées afin de comprendre les principales tendances du marché des mini-réseaux :

- La base de données des Mini-Grid Funders (MGF)
- La base de données Mini-Grid Asset (MGA).

La **base de données du MGF** couvre plus de 160 projets de 14 bailleurs de fonds du groupe MGF, dans plus de 45 pays, principalement en Afrique et en Asie⁹. Ces projets représentent 2,4 milliards d'USD de fonds engagés, dont 260 million d'USD ont été déployés à ce jour. Les données présentées comprennent des variables telles que la durée du programme, le type d'instruments de financement utilisés, le nombre total de connexions prévues et le total des fonds engagés et décaissés.

Dans la mesure du possible, les données fournies par la Banque mondiale sur les "opérations d'investissement" pour 217 projets, avec un total de 700 millions d'USD de fonds engagés, ont été incluses dans l'analyse, en veillant à ce qu'il n'y ait pas de double emploi entre les bases de

⁹ Le MGF Group a été initialement formé en 2017 et comprend actuellement environ 30 bailleurs de fonds et financiers du secteur qui collaborent et échangent leurs points de vue. Le leadership du MGF Group est assuré par la Banque mondiale, la Banque africaine de développement (BAD) et le FCDO du Royaume-Uni, le Carbon Trust assurant le secrétariat. La collecte de données pour cette base a eu lieu entre décembre 2023 et avril 2024.

données. Une vue d'ensemble de ces données par région est présentée dans le Tableau 2.1. La méthodologie détaillée pour la collecte des données se trouve à l'annexe A4.

TABLEAU 2.1 Aperçu des bases de données sur les flux de financement

| RÉGION | NOMBRE DE PROJETS | TOTAL DES FONDS ENGAGÉS (MILLIONS D'USD) |
|--|-------------------|--|
| Données de la base MGF | | |
| Mondial | 10 | 197 |
| Afrique | 142 | 2,119 |
| Asie | 8 | 94 |
| Total | 160 | 2,410 |
| Données fournies par la Banque mondiale | | |
| Afrique | 151 | 437 |
| Mondial | 50 | 185 |
| Amérique latine et Caraïbes | 4 | 15 |
| Asie (Centre-Sud) | 12 | 71 |
| Total | 217 | 708 |
| Total général | 377 | 3,118 |

Source : Analyse de la CEA basée sur la base de données MGF et les données fournies par la Banque mondiale : Analyse de la CEA basée sur la base de données MGF et les données fournies par la Banque mondiale.

La **base de données MGA** comprend des données actualisées provenant d'environ 1 100 projets de mini-réseaux actuellement en cours dans 16 pays. La base de données de MGA a été comparée à d'autres bases de données, telles que celle développée pour le rapport 2020 *State of the Global Mini-Grids Market*¹⁰ et l'étude 2022 *Benchmarking Africa's Minigrids*¹¹ de l'Africa Minigrid Developers Association (AMDA), afin de dégager des tendances.

¹⁰ SEforALL. 2020. [Rapport sur l'état du marché mondial des mini-grilles](#).

¹¹ AMDA. 2022. [Rapport sur l'analyse comparative des minigrids en Afrique](#).

TABLEAU 2.2 Aperçu de la base de données MGA

| PAYS | NOMBRE DE MINI-RÉSEAUX | TOTALE INSTALLÉE (MW) | TAILLE MOYENNE (KW) |
|--|------------------------|-----------------------|---------------------|
|  MADAGASCAR | 357 | 20 | 55 |
|  INDE | 280 | n/a | n/a |
|  NIGÉRIA | 117 | 14 | 143 |
|  BÉNIN | 108 | 14 | 132 |
|  ZAMBIE | 72 | 5 | 73 |
|  SIERRA LEONE | 71 | 7 | 92 |
|  KENYA | 36 | 4 | 111 |
| AUTRES PAYS | 56 | 11 | 202 |
| Total | 1,097 | 75 | |

Notes : kW signifie kilowatt ; MW signifie mégawatt.

Source : analyse de la CEA basée sur la base de données MGA : Analyse de la CEA basée sur la base de données MGA.

Tendances générales du marché

Les données présentent un récit convaincant de la croissance du secteur des mini-réseaux. Au cours de la dernière décennie, les installations de mini-réseaux ont connu une tendance à la hausse constante et notable à l'échelle mondiale. Cette augmentation indique clairement que les mini-réseaux sont de plus en plus reconnus comme une solution viable pour l'électrification, en particulier dans les régions éloignées et mal desservies. Les projections basées sur la base de données MGA suggèrent que les installations de mini-réseaux en 2024 seront environ six fois plus élevées qu'en 2018. Rien qu'en Afrique subsaharienne, le nombre de connexions installées a presque doublé entre 2019 et 2021, passant de 40 700 en décembre 2019 à plus de 78 000 en décembre 2021, malgré les défis posés par la pandémie de COVID-19. Si cette augmentation reflète en partie la mise en œuvre de projets qui ont été interrompus pendant les premières phases de la pandémie et les mesures de soutien proposées pendant cette période, elle témoigne également de la dynamique de croissance du secteur¹². Les progrès technologiques et la baisse du coût des énergies renouvelables, comme indiqué dans la section 0, ont contribué à cette croissance substantielle. En outre, le développement de cadres politiques et réglementaires favorables dans certains pays, dont le Nigeria et la Sierra Leone, a joué un rôle crucial dans la facilitation de cette expansion.

Cette croissance constante du secteur des mini-réseaux ne témoigne pas seulement des succès passés du secteur, mais aussi du fait que des modèles viables, investissables et politiquement acceptables sont en train d'être mis en place, du moins dans certains pays.

¹² Ces données proviennent des membres d'AMDA et ne représentent que l'Afrique subsaharienne.

FIGURE 2.1 Mini-réseaux installés et connexions ajoutées, 2018-2024, et croissance par rapport à l'année de référence (2018)

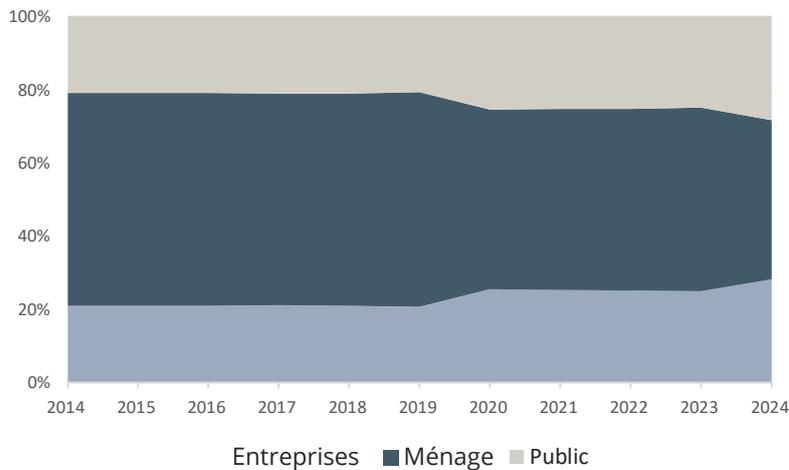


Note : Ceci n'inclut que les projets pour lesquels l'année de mise en service a été indiquée.

Source : Analyse de la CEA basée sur la base de données MGA ; Analyse de la CEA basée sur la base de données MGA.

Au cours de la dernière décennie, le secteur des mini-réseaux a affiché une composition stable de sa clientèle, composée principalement de ménages, les clients professionnels représentant toujours environ 15 % du total des connexions. Toutefois, une évolution notable est prévue dans les projets planifiés pour 2024, où la proportion de clients professionnels devrait atteindre 27%. Cette évolution vise à améliorer l'utilisation du système et la viabilité financière de ces projets en intégrant davantage d'activités génératrices de revenus. Les institutions publiques ne représentent que 2% du total des raccordements ; combinées aux entreprises, elles représentent environ 17 % du total des raccordements, mais sont responsables ensemble de plus de 50 % de la consommation totale d'électricité (FIGURE 2.2). Les institutions publiques ont généralement une consommation d'énergie plus élevée que les ménages, bien qu'elles aient souvent des difficultés à payer leurs factures d'électricité, ce qui pose un risque de non-paiement qui peut avoir un effet négatif sur les flux de trésorerie des promoteurs. Garantir l'électrification continue des institutions publiques est crucial non seulement pour la réputation des promoteurs, mais aussi pour favoriser la croissance et le bien-être de la communauté.

FIGURE 2.2 Part de la consommation totale d'électricité des mini-réseaux par type de consommateur, 2014-2024



Note : Comprend les données de 340 mini-réseaux d'une capacité installée totale de 44 MW.

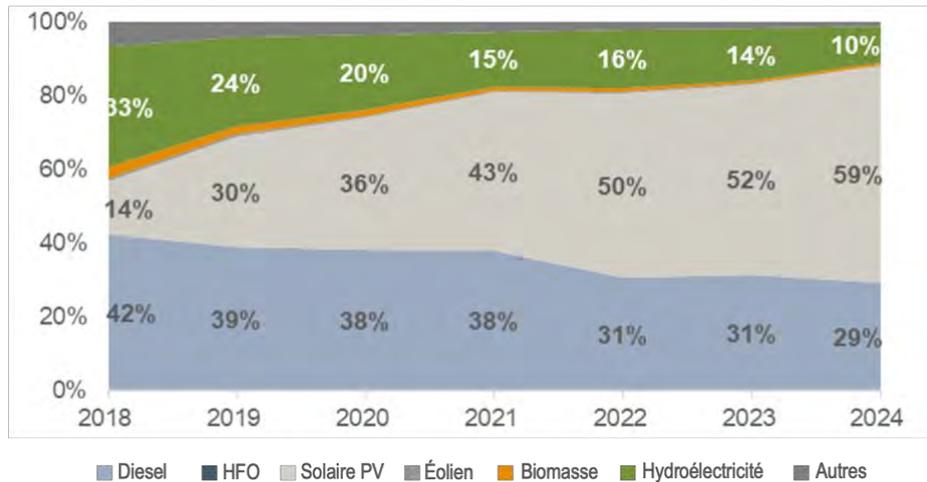
Source : Analyse de la CEA basée sur la base de données MGA : Analyse de la CEA basée sur la base de données MGA.

Entre 2014 et 2024, la part cumulée du diesel dans la capacité totale installée des mini-réseaux a considérablement diminué, passant de 42 % en 2018 à 29 % en 2024. Si, en termes absolus, la capacité diesel ajoutée chaque année entre 2019 et 2024 a augmenté, cette croissance a été largement dépassée par l'augmentation de la capacité solaire photovoltaïque dans les mini-réseaux. En conséquence, la part du diesel dans la capacité des mini-réseaux a diminué. Cette baisse peut être attribuée à plusieurs facteurs interdépendants. Tout d'abord, la prise de conscience mondiale des émissions de carbone et l'engagement à les réduire ont conduit à l'abandon progressif des combustibles fossiles, y compris le diesel, au profit de sources d'énergie plus durables. En outre, les coûts opérationnels associés au diesel, y compris le carburant et l'entretien, en font de moins en moins une option économiquement viable, en particulier face à la fluctuation des prix du pétrole et à l'abandon par les pays des subventions aux carburants. Enfin, la réduction des coûts de stockage des batteries a également joué un rôle important dans la diminution de l'utilisation du diesel, car une plus grande capacité de stockage des batteries se traduit par une moindre dépendance au diesel.

Inversement, et sans surprise, la part cumulée des systèmes solaires photovoltaïques dans les mini-réseaux a connu une augmentation remarquable, passant de 14 % en 2018 à 59 % en 2024 (FIGURE 2.3). Cette augmentation peut être largement attribuée aux progrès rapides de la technologie solaire, qui ont considérablement réduit le coût des panneaux solaires photovoltaïques, rendant l'énergie solaire plus accessible et plus abordable. En outre, l'évolutivité de l'énergie solaire photovoltaïque en fait une solution idéale pour l'électrification hors réseau. Les avantages environnementaux de l'énergie solaire, associés à la baisse de son coût, en font une option de plus en plus attrayante pour les développeurs de mini-réseaux. En outre, les solutions de stockage telles que les batteries devenant plus abordables et plus efficaces, elles atténuent l'un des principaux défis de l'énergie solaire, à savoir son intermittence. Cette combinaison de production permet un approvisionnement en énergie plus fiable et plus cohérent, ce qui renforce la viabilité des mini-réseaux alimentés par l'énergie solaire. Les politiques ont également joué un rôle crucial en encourageant le déploiement de

solutions solaires et en décourageant l'utilisation du diesel. Les gouvernements et les organismes de réglementation ont introduit des subventions, des incitations fiscales et des tarifs favorables pour encourager les investissements dans l'énergie solaire. Dans le même temps, ils ont mis en place des normes d'émission plus strictes et des taxes plus élevées sur le diesel, rendant cette option moins attrayante.

FIGURE 2.3 Part cumulée de la capacité installée par type de combustible, 2018-2024



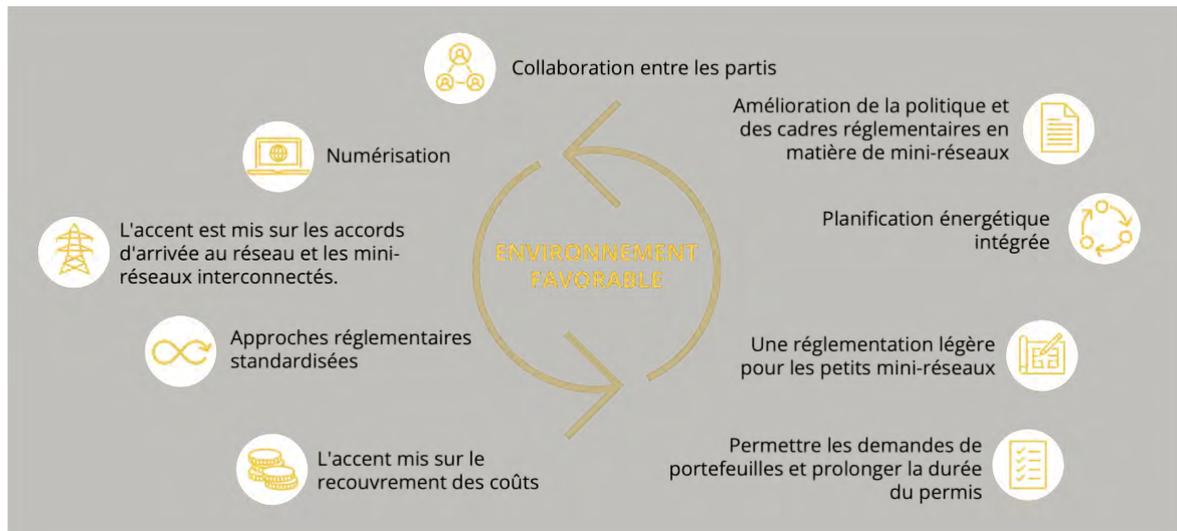
Note : HFO est l'abréviation de heavy fuel oil (mazout lourd).

Source : analyse de la CCE basée sur la base de données MGA : Analyse de la CCE basée sur la base de données MGA.

Tendances de l'environnement favorable

Les risques politiques et réglementaires sont des facteurs majeurs qui ralentissent les flux d'investissement dans le secteur. L'existence d'un cadre politique et réglementaire favorable, qui confère aux mini-réseaux un rôle clair dans la réalisation des objectifs d'électrification du pays, est nécessaire pour donner confiance aux investisseurs, de même que des dispositions exécutoires concernant des aspects clés tels que la fixation des tarifs et l'arrivée sur le réseau. La réduction de la perception du risque encourage ces investisseurs à engager des fonds et peut, en fin de compte, faire baisser le coût de leur capital, ce qui peut à son tour se traduire par une baisse des tarifs pour les utilisateurs finaux des mini-réseaux. Les principales caractéristiques de l'environnement favorable sont résumées dans la FIGURE 2.4 ci-dessous et analysées dans les sections suivantes.

FIGURE 2.4 Résumé de l'environnement favorable caractéristiques



L'accent est mis de plus en plus sur le renforcement des capacités du gouvernement et l'établissement de politiques claires pour permettre la participation du secteur privé.

Le succès des programmes de mini-réseaux est intrinsèquement lié aux décisions politiques. Le rôle du secteur privé et les facteurs qui déterminent la viabilité des projets de mini-réseaux pour l'investissement et l'exploitation privés, tels que les tarifs et les accords d'interconnexion des réseaux, sont largement influencés par l'environnement politique. La politique des mini-réseaux, qui émerge d'un ensemble complexe de relations entre les parties prenantes d'un pays, peut soit catalyser, soit bloquer le développement des programmes de mini-réseaux. Lorsqu'un gouvernement fait preuve d'un engagement fort, il ouvre la voie à une mise en œuvre réussie des initiatives de mini-réseaux. Par exemple, une unité spéciale a été créée en Haïti par le ministère des travaux publics, la cellule énergie, pour la mise en œuvre d'un programme national de mini-réseaux, ce qui témoigne de l'engagement du gouvernement en faveur de l'électrification par mini-réseaux¹³. Reconnaisant la nécessité d'un soutien gouvernemental fort et de politiques claires, le programme d'accélération des mini-réseaux en Afrique (AMAP) de la BAD vise à faciliter l'adhésion du gouvernement afin d'encourager le développement des mini-réseaux par le secteur privé. Le programme du PNUD pour les mini-réseaux en Afrique se concentre également sur le renforcement de la volonté politique par le biais d'un dialogue national sur les modèles de fourniture de mini-réseaux avec les parties prenantes concernées, afin d'établir un consensus et d'aborder les questions pertinentes qui entravent l'expansion des mini-réseaux. Cependant, toutes les décisions politiques ne sont pas positives. Par exemple, en juillet 2020, quatre mois avant l'élection présidentielle en Tanzanie, l'Agence de régulation des services publics de l'énergie et de l'eau a publié, sur instruction du

¹³ ESMAP. 2022. [Des mini-grids pour un demi-milliard de personnes : Perspectives du marché et manuel à l'intention des décideurs.](#)

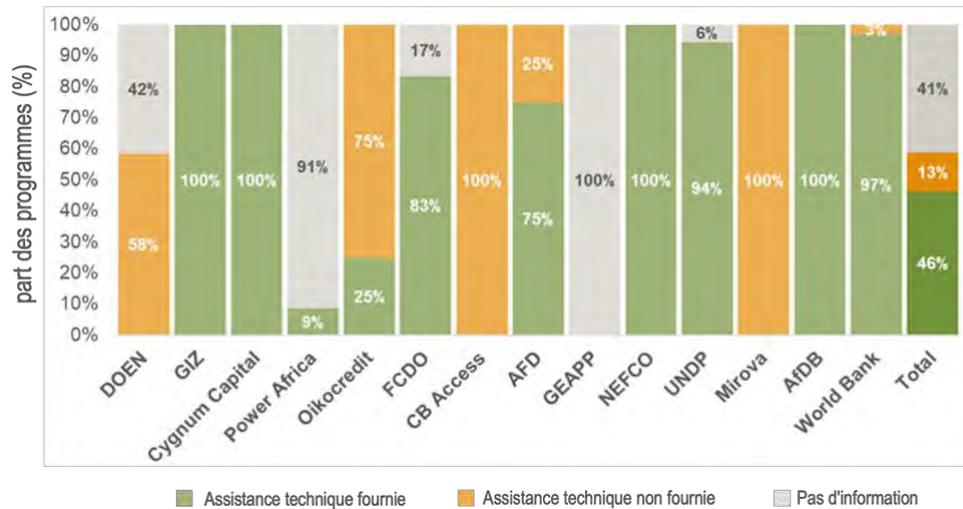
ministre de l'énergie, une directive concise qui modifiait considérablement la méthode de fixation des tarifs précédemment approuvée par l'agence dans ses réglementations de 2019¹⁴.

En outre, le manque de capacité des gouvernements et des autorités publiques a souvent ralenti le rythme de développement des mini-réseaux, un facteur qui a de profondes implications pour la croissance du marché des mini-réseaux, étant donné qu'une part importante des projets de mini-réseaux est structurée comme des partenariats public-privé (PPP). Cette implication s'explique par le fait que les subventions sont souvent accordées au secteur public, qui assume ensuite des responsabilités clés dans le cadre des contrats de PPP. Diverses parties prenantes publiques, notamment les ministères de l'énergie et des finances, les agences d'électrification rurale, les unités PPP et les services publics, font partie intégrante des phases de négociation, d'approvisionnement et de diligence raisonnable des projets de mini-réseaux, mais elles peuvent également être directement impliquées dans la mise en œuvre et l'exploitation des mini-réseaux. Par exemple, au Cameroun, l'Agence d'électrification rurale exploite plus de 200 mini-réseaux, tandis qu'en Éthiopie, la compagnie d'électricité éthiopienne développe plus de 100 mini-réseaux dans le cadre du projet d'accès à l'électricité et à l'éclairage distribués en Éthiopie (ADELE) et exploite déjà plus de 30 mini-réseaux. Le manque de capacité et d'expérience de ces entités publiques a parfois été atténué par l'intégration d'experts directement au sein des organismes gouvernementaux pour fournir un soutien et rationaliser les processus dans le cadre des programmes de mini-réseaux soutenus par les donateurs. Toutefois, il est urgent que le renforcement des capacités fasse partie intégrante des programmes d'assistance technique destinés au secteur public. Cela devient encore plus crucial dans les cas d'interconnexion, où le rôle des services publics devient central dans la gestion des aspects techniques et opérationnels de l'intégration des mini-réseaux dans le réseau principal, ainsi que pour l'exploitation et la maintenance durables des mini-réseaux.

Reconnaissant la nécessité d'un tel soutien, la majorité des bailleurs de fonds figurant dans la base de données du FGM ont intégré l'assistance technique dans la plupart de leurs programmes. FIGURE 2.5 montre que huit des 14 financeurs de la base de données fournissent une assistance technique à plus de 50 % de leurs programmes, ce qui se reflète dans la part totale des programmes bénéficiant d'une assistance technique, qui dépasse de loin la part des programmes ne bénéficiant pas d'une telle assistance.

¹⁴ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen et Ashish Shrestha. 2024. [Solutions de mini-réseau pour les clients mal desservis : Nouvelles perspectives au Nigeria et en Inde.](#)

FIGURE 2.5 Part des programmes de mini-réseaux offrant une assistance technique, par bailleur de fonds



Notes : AFD signifie Agence française de développement ; CB Access signifie CrossBoundary Access ; DOEN signifie Fondation DOEN ; GEAPP signifie Global Alliance for People and Planet ; NEFCO signifie Nordic Environment Finance Corporation.

Source : Analyse de la CEA basée sur la base de données MGF fournie par Carbon Trust.

Les efforts visant à améliorer les cadres de soutien aux mini-réseaux se sont multipliés dans les pays présentant les plus grands déficits d'accès, le Nigeria, l'Angola, l'Éthiopie, le Kenya et la Zambie réalisant des progrès notables et atteignant la zone verte dans les indicateurs réglementaires pour l'énergie durable (RISE) 2022 de l'ESMAP¹⁵. Par exemple, en décembre 2020, l'Autorité éthiopienne du pétrole et de l'énergie a approuvé une nouvelle directive sur les mini-réseaux, qui constitue une étape clé dans la mise en place d'un processus d'examen réglementaire rationalisé visant à favoriser un environnement propice aux investissements du secteur privé dans les mini-réseaux ; en effet, depuis l'introduction de la directive sur les mini-réseaux, l'Éthiopie a constaté une augmentation des demandes de licences¹⁶. Toutefois, des progrès supplémentaires sont nécessaires pour combler le décalage entre l'introduction de ces outils réglementaires et l'absence d'un véritable alignement politique entre les parties prenantes. En d'autres termes, **il y a souvent un décalage entre les réglementations écrites formelles, sur lesquelles les scores RISE sont basés, et leur mise en œuvre**.¹⁷ Un autre exemple est celui de la Tanzanie, qui a reçu une note élevée pour son cadre réglementaire et politique en matière de mini-réseaux dans le RISE 2020. Cependant, comme expliqué ci-dessus, la mise en œuvre de ce cadre a été affectée par la directive publiée par le régulateur en juillet 2020, sous les ordres du ministre de l'énergie.

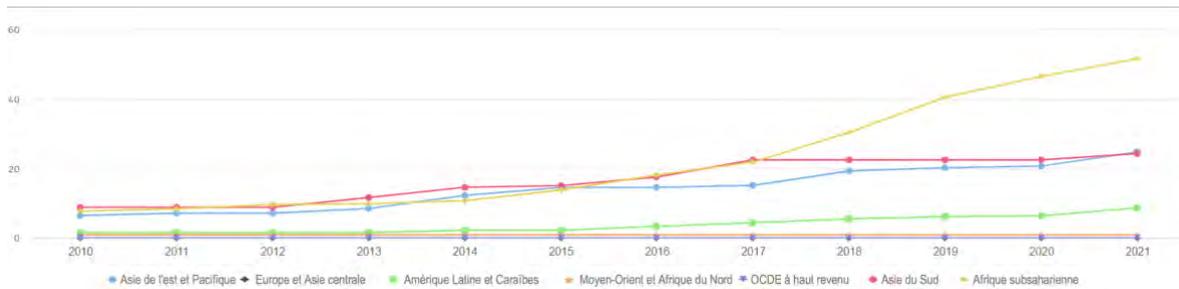
¹⁵ Les scores RISE de l'ESMAP, sur une échelle de 0 à 100, peuvent être utilisés pour comparer 140 économies qui représentent aujourd'hui 98 % de la population mondiale. Ils utilisent un système de feux tricolores, le vert correspondant au tiers le plus élevé des scores (67-100), ce qui indique un environnement politique et réglementaire relativement mature.

¹⁶ National Association of Regulatory Utility Commissioners (Association nationale des commissaires régulateurs des services publics). 2021. Le régulateur éthiopien approuve une directive révolutionnaire sur les mini-réseaux, améliore le processus d'octroi de licences et ouvre la voie à une électrification accrue.

¹⁷ Foster, Vivien et Anshul Rana. 2020. Repenser la réforme du secteur de l'électricité dans les pays en développement.

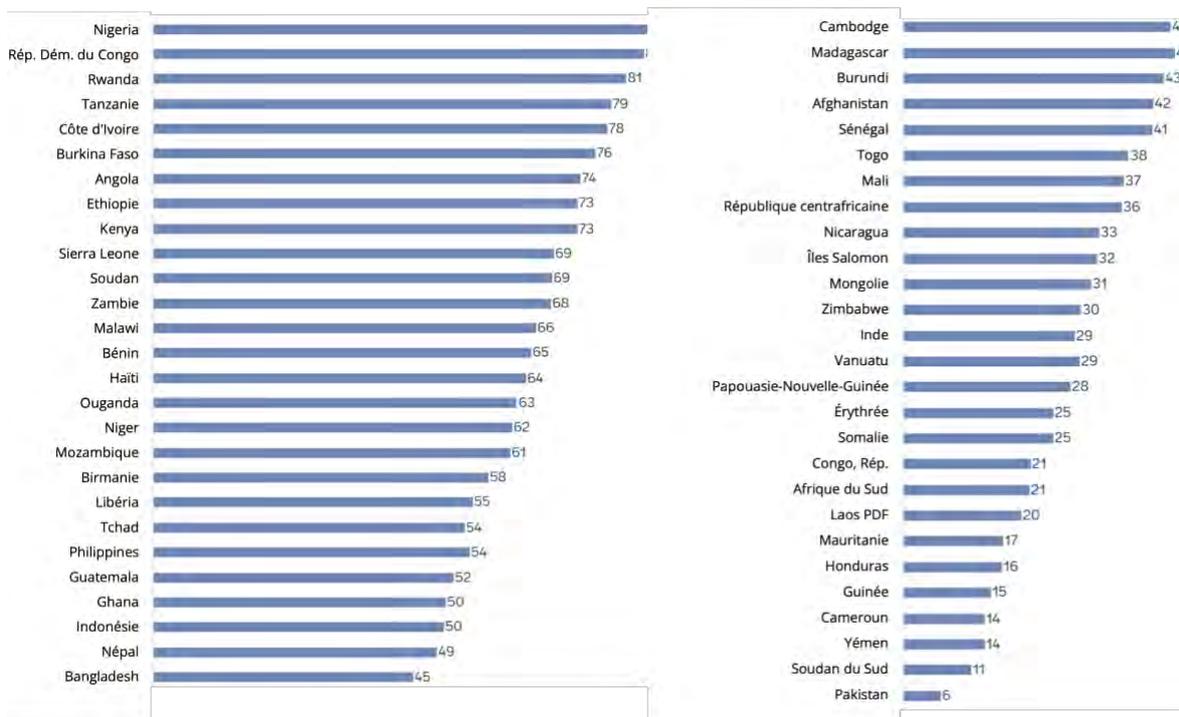
Dans l'ensemble, le nombre de pays où le cadre politique et réglementaire des mini-réseaux n'en est qu'à ses débuts a considérablement diminué. FIGURE 2.6 ci-dessous montre l'évolution des scores RISE pour les cadres de mini-réseaux au fil du temps, soulignant l'amélioration significative de l'Afrique subsaharienne depuis 2017. FIGURE 2.7 montre les scores RISE par pays, les pays d'Afrique subsaharienne ayant les meilleurs scores.

FIGURE 2.6 Évolution des scores RISE pour les cadres de mini-réseaux par région, 2010-2021



Source : ESMAP : ESMAP. 2024. [RISE](#).

FIGURE 2.7 Scores RISE pour les cadres de mini-réseaux par pays, 2021



Source : ESMAP : ESMAP. 2024. [RISE](#).

Aller au-delà de l'intégration des mini-réseaux dans les plans nationaux d'électrification

Le rôle des mini-réseaux dans la réalisation de l'accès universel d'ici 2030 a été établi et se reflète dans leur intégration dans les plans nationaux d'électrification (PNE), ainsi que dans les

documents politiques qui définissent les objectifs pour chaque mode d'électrification (extension du réseau, mini-réseaux et systèmes autonomes) ainsi que les dispositions en matière d'interconnexion. Cependant, pour donner des certitudes aux investisseurs et intensifier le déploiement des mini-réseaux, les décideurs politiques **doivent s'assurer non seulement que les mini-réseaux sont intégrés dans les PNE, mais aussi que les PNE eux-mêmes intègrent des plans réalistes et actualisés d'expansion du réseau des compagnies de distribution**. Cet aspect est particulièrement important lorsqu'un pays compte plusieurs sociétés de distribution, car un promoteur intéressé peut avoir des doutes quant à leurs plans d'expansion. L'intégration de ces plans dans le PEN pourrait réduire les coûts de transaction liés à leur demande auprès de l'autorité de régulation ou des sociétés de distribution et donner des certitudes aux promoteurs quant aux zones potentielles de développement de mini-réseaux.

En outre, alors que le nombre de PEN en cours d'élaboration dans le secteur a augmenté de manière significative, les conseils sur les étapes nécessaires à leur mise en œuvre font défaut. De nombreux pays ont élaboré des PEN qui fournissent généralement des orientations de haut niveau sur les objectifs d'électrification à court et à long terme, sans entrer dans les détails de la manière dont ces objectifs seront atteints. Il est donc urgent d'aller au-delà de la première étape de modélisation géospatiale de l'accès à l'énergie. Dans ce contexte, SEforALL soutient le développement de cadres intégrés de planification de l'accès à l'énergie. Ces cadres de planification intégrée de l'énergie visent à rendre opérationnels les PEN basés sur des données en développant des plans financiers réalisables pour chaque modalité d'électrification, en soutenant la création de cadres institutionnels et réglementaires appropriés et en renforçant les capacités aux niveaux national et sous-national.¹⁸ Ce cadre élargi devrait également fournir des données et des renseignements supplémentaires pour le secteur des mini-réseaux au niveau des sites, en apportant plus de nuances aux sites traditionnellement identifiés comme l'option la moins coûteuse pour l'électrification par mini-réseaux.

Des efforts sont déployés pour intégrer les différents modes d'électrification au sein d'une même zone. Les décideurs politiques et les régulateurs mettent en avant le concept de cadre de distribution intégré (présenté dans ENCADRÉ 2.1), qui envisage la possibilité pour les concessionnaires d'être responsables de la distribution dans une zone et d'assurer l'accès universel, en tirant parti des trois modes d'électrification. Par exemple, Engie Energy Access a proposé une approche multi-technologique,¹⁹ selon laquelle l'énergie est fournie à la communauté en fonction de la densité de la consommation d'énergie et du coût : les systèmes solaires domestiques conviennent généralement aux zones à faible densité et à faible niveau de développement économique, tandis que les mini-réseaux conviennent aux communautés dont la volonté et la capacité de payer sont plus élevées. Cette approche nécessite de repenser chaque étape du développement d'un mini-réseau, notamment :

- Planification : évaluation de la viabilité du modèle d'entreprise pour la sélection des sites, en tenant compte de divers types de technologies.

¹⁸ Sur la base des informations fournies au consultant par SEforALL.

¹⁹ Accès à l'énergie d'Engie. 2024. [Vers un accès universel à l'énergie : Permettre une approche multitechnologique dans un environnement de mini-réseau.](#)

- Appels d'offres : inclure plusieurs types de technologies dans les appels d'offres pour fournir de l'énergie en fonction des besoins énergétiques et des capacités financières de la communauté.
- Financement : identification d'un consortium de bailleurs de fonds qui soutiennent des projets intégrés.

ENCADRÉ 2.1 Cadre de distribution intégré pour la planification énergétique

Actuellement, les trois modes d'électrification (extension du réseau, mini-réseaux et systèmes autonomes) coexistent généralement en silos sur un territoire/une région donn(e), chaque mode fournissant un accès aux clients les plus intéressants pour leurs modèles commerciaux. Non seulement cette situation rend improbable une couverture universelle, mais elle se traduit également par une variété de régimes tarifaires au sein d'une même zone, sans permettre l'utilisation de subventions croisées.

Les partisans du cadre de distribution intégré (CDI) préconisent qu'une "entité" (comprenant un ou plusieurs acteurs) soit responsable de la distribution dans une zone donnée (dans le cadre d'un contrat tel qu'une concession) et garantisse une couverture universelle. L'entité pourrait inclure la société de distribution existante, éventuellement en partenariat avec le secteur privé, ou une combinaison de sociétés impliquées dans divers modes d'électrification.

Ainsi, la FDI considère l'"intégration" comme un concept à multiples facettes qui comprend :

- Intégration des trois modes d'électrification au niveau de la distribution
- Intégration de tous les types de clients finaux, en tirant parti de modèles de demande complémentaires et de programmes de subventionnement croisé des tarifs
- Intégration des secteurs public et privé dans le secteur de la distribution avec des rôles clairement définis
- Intégration des systèmes électriques des pays voisins dans des pools régionaux.

Sources : Commission mondiale pour l'élimination de la pauvreté énergétique. n.d : Global Commission to End Energy Poverty. n.d. [Integrated Distribution Framework](#) ; [Integrating Isolated Mini-Grids With an IDF-Compliant Regulated Distribution Sector \(Cadre de distribution intégré ; intégration des mini-réseaux isolés dans un secteur de distribution réglementé conforme à l'IDF\)](#).

Adapter les processus réglementaires aux différentes échelles des mini-réseaux

Les processus réglementaires sont adaptés aux différentes échelles des mini-réseaux. Par exemple, les systèmes à petite échelle (moins de 100 kW) ne nécessitent souvent pas de licence et sont exemptés d'approbation tarifaire, ce qui permet aux opérateurs de décider des niveaux et des structures tarifaires en consultation avec leurs communautés. Au Nigeria, par exemple, les niveaux tarifaires peuvent être décidés entre l'opérateur du mini-réseau et la communauté (représentée par les clients consommant au moins 60 % de l'électricité fournie par le mini-

réseau).²⁰ Cette approche est également imposée par la loi pour tous les mini-réseaux ruraux non interconnectés en Inde depuis 2003.²¹

Toutefois, l'organisme de régulation conserve généralement le droit d'intervenir à la suite de déclencheurs spécifiques : au Nigeria, la communauté peut demander une intervention et une révision des tarifs par l'organisme de régulation, afin de garantir l'équité et la justice. En Tanzanie, une soupape de sécurité réglementaire garantit que le régulateur peut intervenir si une pétition est signée par 15 % des ménages de la zone desservie par le producteur dans le cadre de très petits projets énergétiques.²² Pour les systèmes plus importants, une certaine forme d'approbation officielle des tarifs est établie pour atténuer le risque de litiges tarifaires futurs qui pourraient mettre en péril l'investissement en capital.

Cette approche réglementaire, qui dépend de la capacité, tient compte du risque inhérent à chaque étape de la trajectoire des mini-réseaux, en offrant une plus grande flexibilité pour maintenir les coûts de développement à un faible niveau sur les marchés naissants et en renforçant la protection sur les marchés matures²³. Toutefois, dans certains cas, les investisseurs et les promoteurs ont noté que **l'absence de licence officielle et d'accord tarifaire délivré par le gouvernement constituait un risque**. Le secteur poursuit ses efforts pour trouver un équilibre optimal entre une réglementation légère et la bancabilité des projets. Les promoteurs pourraient préférer obtenir un permis plutôt qu'une approche déréglementée pour les petits mini-réseaux, car l'approche par permis offre une meilleure protection. En outre, il convient de considérer que ces exemptions peuvent inciter les promoteurs à dimensionner leurs projets à moins de 100 kW, même si un système plus important présente des coûts unitaires inférieurs.

Permettre les demandes de portefeuille et prolonger la durée des permis

Les parties prenantes du secteur reconnaissent l'importance d'établir des portefeuilles avec un grand nombre de projets pour réaliser des économies d'échelle et attirer les investissements. Les applications de portefeuille sont essentielles pour développer le secteur, étant donné que la vitesse de déploiement est cruciale pour atteindre l'accès universel d'ici 2030. Les données de l'Africa Minigrad Developers Association (AMDA) montrent que pour un seul mini-réseau, le temps total moyen pour obtenir toutes les licences et approbations est de 58 semaines,²⁴ ce qui rend impossible le déploiement en temps voulu des mini-réseaux nécessaires pour alimenter les populations non électrifiées du Sud mondial d'ici à 2030.

La minimisation des coûts de transaction pour l'obtention des licences est un avantage clé des applications de portefeuille. Étant donné que la majorité des mini-réseaux ruraux ont une puissance comprise entre 10 et 100 kW, de nombreux financiers privés ne sont pas

²⁰ Commission de régulation de l'électricité du Nigeria. 2023. [Mini-Grid Regulations](#).

²¹ Banque mondiale. 2024. Solutions de mini-réseau pour les clients mal desservis.

²² ESMAP. 2022. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Perspectives du marché et manuel à l'intention des décideurs](#).

²³ ESMAP. 2019. [Garantir l'évolution des réglementations au fur et à mesure de la maturation des mini-grilles](#).

²⁴ AMDA. 2022. Rapport sur l'évaluation comparative des mini-réseaux en Afrique (Benchmarking Africa's Mini-grids Report).

disposés à consacrer le temps et les ressources nécessaires à la vérification préalable, à moins qu'ils n'aient la possibilité de conclure des transactions plus importantes qui leur permettent d'amortir ces coûts sur des volumes de capitaux plus importants.²⁵ L'approche par portefeuille permet non seulement d'attirer des investisseurs pour le financement de projets, mais aussi de répartir les risques.

Reconnaissant l'importance des portefeuilles de mini-réseaux, la réglementation actualisée du Nigeria en matière de mini-réseaux (2023) inclut les définitions d'un portefeuille de mini-réseaux interconnectés et isolés, avec une série de dispositions visant à promouvoir une approche de portefeuille, comme l'autorisation de soumettre une demande tarifaire unique pour un portefeuille de mini-réseaux, et la soumission d'un rapport combiné (exigé par le régulateur) pour un portefeuille.²⁶

Les régimes de concession, dans le cadre d'une approche descendante, présentent des avantages similaires. Les régulateurs optent souvent pour des procédures d'appel d'offres concurrentielles dans le cadre desquelles les promoteurs peuvent soumissionner pour plusieurs zones de service, ce qui leur permet de regrouper les projets de mini-réseaux, de réduire les coûts grâce à des économies d'échelle en matière de planification, de financement, de fourniture d'équipements et d'exploitation et de maintenance²⁷, et d'éviter les chevauchements avec d'autres fournisseurs dans la région et les inefficacités qui en découlent.

Étant donné l'importance croissante du financement de projets pour le développement des mini-réseaux, la durée des permis et des licences devrait refléter la durée des accords de financement. Le choix de la durée d'une licence est un exercice d'équilibre entre une durée suffisamment courte pour inciter les développeurs à progresser et une durée suffisamment longue pour permettre des activités préparatoires²⁸. Bien que la durée de la licence varie d'un pays à l'autre, les parties prenantes soulignent la nécessité d'une durée d'au moins 10 ans, durée typique des accords de financement dans le cadre d'une approche de financement de projet²⁹, ou même de 15 à 25 ans, ce qui est suffisamment long pour amortir tous les actifs dans le cadre du régime tarifaire spécifié³⁰. Par exemple, en Sierra Leone, la licence complète de mini-réseau a une durée de validité pouvant aller jusqu'à 20 ans³¹.

Autoriser les tarifs de recouvrement des coûts

Les tarifs de recouvrement des coûts sont devenus une approche courante sur les marchés des mini-réseaux, qu'ils soient naissants ou développés. Les régulateurs ont tendance à adopter une approche modulaire pour la fixation des tarifs des mini-réseaux en utilisant une formule basée sur les coûts pour calculer les besoins en revenus. Les pays qui suivent une

²⁵ SEforALL. 2020. [Trois défis clés pour développer le secteur des mini-réseaux](#).

²⁶ Commission de régulation de l'électricité du Nigeria. 2023. [Réglementation sur les mini-réseaux, 2023](#).

²⁷ USAID. 2017. [Guide pratique sur le traitement réglementaire des mini-grilles](#).

²⁸ USAID. 2017. [Guide pratique sur le traitement réglementaire des mini-grilles](#).

²⁹ REPP, REAN et AMDA. 2022. [Protéger l'avenir du marché en expansion : Recommandations pour améliorer la bancabilité du cadre réglementaire des mini-réseaux au Nigeria](#).

³⁰ IRENA. 2016. [Politiques et réglementations pour les mini-réseaux d'énergie renouvelable du secteur privé](#).

³¹ LE CENTRE EUROPÉEN DE RECHERCHE SUR LES EAUX. 2019. [Règlement Mini-Grid 2019](#).

méthodologie individualisée de tarification basée sur les coûts sont l'Éthiopie, le Kenya, le Nigeria, la Tanzanie et la Zambie³². Des outils standardisés, tels que l'outil MYTO (Multi-Year Tariff Order) utilisé au Nigeria et en Sierra Leone ou le Standard Tariff Application Model for mini-grids³³ au Kenya (cf. Figure 2.8), contribuent à simplifier le processus d'approbation et de révision des tarifs en présentant les calculs ascendants du coût du service, ainsi que les ajustements nécessaires pour refléter les changements dans les intrants clés. En outre, l'AMDA et le Forum africain des régulateurs de services publics (AFUR) travaillent sur un projet d'*outil de règlement tarifaire Mainstream Minigrid* en Afrique. Cet outil vise à clarifier les méthodologies et les outils de calcul des tarifs des mini-réseaux utilisés sur le continent par les régulateurs et à raccourcir les étapes et les procédures que les développeurs doivent suivre pour faire approuver un tarif de mini-réseau.

Les principaux éléments de ce calcul sont la base d'actifs réglementaire, le taux de rendement autorisé sur les investissements en capital des développeurs, l'amortissement et (généralement) le traitement des subventions en capital, comme le montre le tableau suivant (Figure 2.8).

³² USAID. 2020. [Exploration des méthodologies tarifaires des mini-réseaux en Afrique](#).

³³ EPRA. 2024. [Modèle d'application des tarifs pour les miniréseaux](#).

FIGURE 2.8 Aperçu des composantes tarifaires du modèle standard d'application des tarifs du Kenya

| |
|--|
| Blocs tarifaires : |
| A. dépréciation et amortissement – linéaire A. dépréciation et amortissement – unités de production |
| B. Dépenses de fonctionnement et d'entretien <i>subvention au revenu (récurrent)</i> |
| C1. investissement dans la base d'actifs réglementés (BAR) C2. investissement cumulé de la base d'actifs réglementés <i>Subvention en capital</i> <i>Paiements des clients pour la connexion</i> <i>Dépréciation cumulée</i> |
| D. Fonds de roulement (FDR) |
| Somme de BAR + FDR (Reflétant les coûts) Somme de BAR + FDR (hors subvention) |
| E. Coût moyen pondéré du capital (CMPC) |
| F. rendement/intérêt de la dette |
| G. rendement des fonds propres |
| H1. Rendement total du capital (Reflétant les coûts) H2. Rendement total du capital (hors subvention) |
| I1. Déduction fiscale (Reflétant les coûts) I2. Déduction fiscale (hors subvention) |
| J. besoins en recettes non subventionnées |
| K. besoins en recettes subventionnées |
| L. subvention requise besoins en recettes |

Source : EPRA : EPRA. 2024. [Modèle d'application des tarifs pour les minigrids.](#)

Dans le cadre de cette approche modulaire, l'accent est de plus en plus mis sur les mécanismes d'ajustement, à la lumière des récents défis macroéconomiques rencontrés au cours de la conférence COVID-19. Pour garantir la bancabilité du cadre de fixation des tarifs, des processus clairs doivent être mis en place pour ajuster les tarifs en fonction de l'inflation et des fluctuations monétaires de manière efficace et opportune. Les mécanismes d'indexation des tarifs jouent un rôle essentiel dans l'atténuation des risques de change, comme expliqué dans la section 0. Néanmoins, il est impératif de veiller à ce que la charge économique découlant des forces macroéconomiques ne pèse pas de manière disproportionnée sur les clients des

mini-réseaux. Le secteur adopte progressivement une perspective plus souple en matière de recouvrement des coûts, en donnant la priorité à l'atténuation des risques plutôt qu'à la méthode conventionnelle de détermination des tarifs sur la base des calculs du coût du service, un sujet développé à la section 4.1.

Permettre une certaine flexibilité dans les accords d'arrivée sur le réseau et garantir une compensation adéquate

Davantage de réglementations relatives aux mini-réseaux sont mises en place pour relever le défi de l'extension du réseau. L'arrivée sur le réseau est un risque majeur auquel sont confrontés les développeurs, car les actifs des mini-réseaux pourraient se retrouver bloqués ou expropriés avec une compensation minimale. Les réglementations relatives aux mini-réseaux qui prévoient des dispositions relatives à l'arrivée sur le réseau offrent généralement une série de solutions flexibles qui peuvent être négociées entre l'opérateur et la compagnie d'électricité ou de distribution qui s'étend sur le territoire desservi par le mini-réseau. Par exemple, la nouvelle réglementation nigériane sur les mini-réseaux permet à l'opérateur de choisir parmi les options suivantes en cas d'arrivée du réseau :

- Se transformer en opérateur de mini-réseau interconnecté
- Transférer ses actifs de distribution et recevoir une compensation basée sur la valeur comptable des actifs de réseau amortis (sur la base du coût d'acquisition historique, y compris les coûts de construction et de développement), plus l'équivalent du bénéfice avant impôt pour les deux années précédant la cession.
- Une fois les actifs de distribution transférés, l'entreprise peut soit déployer ses actifs de production en tant que générateur intégré à la société de distribution, soit devenir un fournisseur d'urgence pendant les pannes.

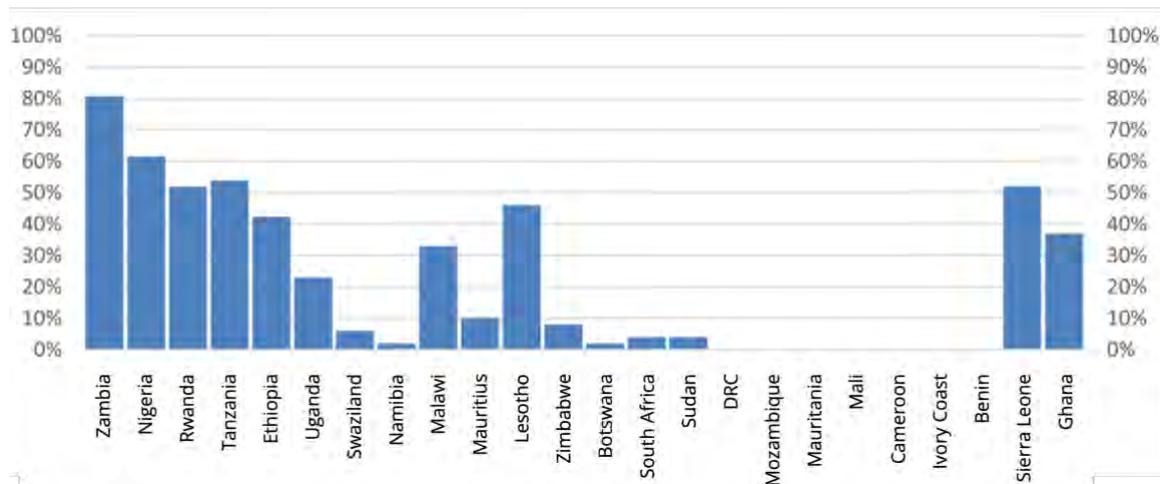
Dans certains des pays qui ont mis en place des accords d'interconnexion, le cadre réglementaire des mini-réseaux définit également une approche normalisée pour l'évaluation du transfert d'actifs et des processus efficaces pour garantir des paiements en temps voulu. En Sierra Leone (voir également l'annexe A1), la réglementation relative aux mini-réseaux exige que la compensation soit équivalente à la valeur résiduelle des actifs financés par le secteur privé après amortissement, à la valeur résiduelle des coûts de développement du projet activés et amortis financés par le secteur privé, et aux recettes vérifiées générées par le mini-réseau pendant les 12 mois précédant l'arrivée sur le réseau. La définition de l'amortissement est cruciale dans ce contexte ; sur la base des caractéristiques actuelles du marché, il est suggéré que l'amortissement soit défini comme étant de dix ans pour les actifs de production et de 25 ans pour les actifs de distribution³⁴.

Cependant, la mise en œuvre de ces réglementations est souvent à la traîne, en raison d'un manque de clarté et de précision. En Inde, par exemple, les réglementations relatives aux mini-réseaux des États de Madhya Pradesh, Odisha et Uttar Pradesh permettent

³⁴ REPP, REAN et AMDA. 2022. [Protéger l'avenir du marché en expansion : Recommandations pour améliorer la bancabilité du cadre réglementaire des mini-réseaux au Nigeria](#).

l'interconnexion des mini-réseaux avec le réseau principal, mais les interconnexions n'ont pas encore eu lieu³⁵. La figure 2.9 présente l'efficacité globale des réglementations relatives aux mini-réseaux contre l'empiètement sur le réseau principal dans 24 pays africains, en abordant cinq aspects clés : (i) les exigences techniques, (ii) la protection juridique (permis et licences), (iii) les modèles commerciaux, (iv) les mécanismes de compensation financière et (v) les intérêts des clients. L'efficacité des réglementations est exprimée sous la forme d'un taux qui reflète le fait que les réglementations relatives aux mini-réseaux fournissent des informations sur chaque aspect et que leur formulation est claire, ce qui réduit les possibilités d'interprétations juridiques divergentes. Ainsi, un taux élevé signifie que les réglementations relatives à l'empiètement sur le réseau fournissent des lignes directrices adéquates en cas d'arrivée du réseau dans des zones déjà desservies par des investisseurs en mini-réseaux, tandis qu'un taux de zéro reflète l'absence de cadres réglementaires légaux pour protéger les mini-réseaux contre l'empiètement sur le réseau. La figure montre que la réglementation zambienne sur les mini-réseaux est la plus efficace pour protéger les intérêts des investisseurs dans les mini-réseaux contre l'empiètement potentiel du réseau principal, alors que la plupart des réglementations existantes des pays africains ne parviennent pas à fournir une protection adéquate au titulaire d'une licence de mini-réseau.

FIGURE 2.9 Efficacité globale des réglementations relatives aux mini-réseaux contre l'empiètement du réseau principal



Source : Mambwe, Christopher et al : Mambwe, Christopher et al. 2022. [Benchmarking and Comparing Effectiveness of Mini-Grid Encroachment Regulations of 24 African Countries \(Analyse comparative et comparaison de l'efficacité des réglementations relatives à l'empiètement sur les mini-réseaux dans 24 pays africains\) : Un guide pour les gouvernements et les régulateurs de l'énergie pour développer des réglementations efficaces sur l'empiètement du réseau.](#)

Pousser à la normalisation des approches réglementaires

Une harmonisation et une normalisation accrues des approches réglementaires des mini-réseaux sont cruciales pour parvenir rapidement à l'échelle. Si l'élaboration d'un

³⁵ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen et Ashish Shrestha. 2024. [Solutions de mini-réseau pour les clients mal desservis : Nouvelles perspectives au Nigeria et en Inde.](#)

cadre réglementaire pour les mini-réseaux doit être adaptée au contexte national afin de prendre en compte les facteurs de risque et les défis spécifiques, certains aspects réglementaires peuvent être fondés sur des schémas directeurs, qui peuvent ensuite être adaptés aux conditions du marché et du projet³⁶. C'est le cas des dispositions réglementaires qui protègent les investissements, telles que les méthodes de fixation des tarifs fondées sur le principe du recouvrement des coûts, ainsi que les dispositions relatives à l'arrivée sur le réseau.

L'adhésion est la clé d'une réglementation normalisée des mini-réseaux. Pour faciliter l'adoption d'approches et d'outils normalisés, il est essentiel d'établir un consensus dans le secteur sur les aspects réglementaires essentiels. Dans ce contexte, l'AFUR s'est récemment engagée avec des partenaires de développement, des régulateurs, des ministères de l'énergie et des membres de l'AMDA à développer un outil normalisé de tarification des mini-réseaux qui soit solide et accepté par un large éventail de parties prenantes³⁷. Le développement de l'outil a pris en compte les méthodologies de fixation des tarifs existantes au Nigeria, en Sierra Leone, au Kenya et en Tanzanie, dans le but de s'appuyer sur les points forts de ces outils et de combler les lacunes identifiées. Le processus de consultation des régulateurs et des développeurs de mini-réseaux qui ont suivi avec succès le processus d'application dans les pays susmentionnés a permis de mettre en évidence les défis à relever, tant du point de vue du secteur public que du point de vue du secteur privé.

Les efforts visant à normaliser les processus de diligence raisonnable pour les projets de mini-réseaux n'ont pas encore pris suffisamment d'ampleur. Actuellement, les dépenses liées à l'audit préalable peuvent représenter 7 à 10 % du coût total du projet, ce qui constitue un obstacle important pour de nombreuses entreprises. La standardisation d'une grande partie de l'audit technique et juridique dans les différents pays pourrait permettre de réduire ces coûts. Un exemple d'une telle initiative est l'AMAP de la BAD, qui vise à rationaliser les processus et à améliorer l'efficacité grâce à quatre piliers : (i) ouvrir de nouveaux marchés (concevoir des programmes nationaux d'accélération des mini-réseaux bancables pour attirer les investissements publics et privés) ; (ii) soutien catalytique (développer de nouveaux instruments financiers de réduction des risques et fournir une assistance technique pour débloquer les investissements privés) ; (iii) renforcer l'écosystème (développer le partage des connaissances et des compétences techniques entre les acteurs de l'industrie) ; et (iv) gestion du programme (assurer une mise en œuvre harmonieuse du projet et des résultats de haute qualité)³⁸.

Numériser les processus réglementaires grâce à un guichet unique pour les mini-réseaux

Le secteur poursuit ses efforts pour rationaliser et numériser les processus de demande de licences et de permis. L'octroi de licences et de permis, ainsi que l'évaluation des propositions dans le cadre des procédures d'appel d'offres, nécessitent le traitement de

³⁶ SEforALL. 2023. [Mini-Grids Partnership Newsletter, décembre 2023](#) ; et entretien du consultant avec MIGA.

³⁷ Bunnya, Samuel S. 2023. [Intégration de la réglementation des mini-réseaux à travers l'Afrique](#). ESI-Africa.

³⁸ BAD. 2020. [Multinational - Programme d'accélération du marché des mini-réseaux en Afrique \(AMAP\) - Rapport d'évaluation SEFA](#).

nombreux documents en peu de temps³⁹. Compte tenu de la nécessité de déployer rapidement des mini-réseaux pour accélérer l'électrification universelle, l'utilisation de technologies numériques avec traitement automatique des données peut s'avérer cruciale. Les partenaires du développement continuent de concentrer une partie de leurs efforts d'assistance technique sur l'aide aux régulateurs et aux ministères de l'énergie dans la création de guichets uniques pour les demandes de mini-réseaux et les exigences réglementaires⁴⁰. Odyssey, par exemple, propose un guichet unique numérique, ou une plateforme unifiée, qui rationalise les processus de demande et le déploiement des mini-réseaux.

Faciliter les mini-réseaux souterrains

Les cadres réglementaires des mini-réseaux reconnaissent de plus en plus l'intégration des mini-réseaux au réseau principal comme un moyen d'améliorer la résilience du système électrique, créant des situations gagnant-gagnant-gagnant pour les services publics, les opérateurs de mini-réseaux et les consommateurs. Les mini-réseaux "souterrains" sont principalement des mini-réseaux solaires hybrides construits et exploités par des entreprises privées dans des zones déjà raccordées au réseau électrique principal, mais où la qualité du service est médiocre. À l'heure actuelle, des millions de personnes vivent avec une alimentation électrique peu fiable et de mauvaise qualité ou ne reçoivent pas d'électricité du tout⁴¹. Les fréquentes coupures de courant perturbent l'activité économique (de nombreux clients commerciaux et industriels ayant recours aux combustibles traditionnels, tels que le diesel) et les services vitaux tels que les soins de santé. Les mini-réseaux interconnectés pourraient offrir une solution dans ce contexte, en améliorant la qualité du service dans les zones mal desservies, contrairement aux mini-réseaux isolés qui fonctionnent dans des zones non desservies⁴². Cependant, les désalignements institutionnels entre le réseau (appartenant à l'État) et les mini-réseaux (appartenant au secteur privé) constituent souvent un obstacle majeur pour les mini-réseaux interconnectés.

ENCADRÉ 2.2 Programme d'accélération des mini-réseaux interconnectés au Nigeria

L'Agence d'électrification rurale du Nigeria a lancé le programme d'accélération des mini-réseaux interconnectés (IMAS) dans le but d'accélérer le déploiement des mini-réseaux interconnectés dans le pays. Ce programme est soutenu par l'Union européenne et le gouvernement allemand par l'intermédiaire du programme de soutien à l'énergie du Nigeria.

Dans le cadre de ce programme, un "explorateur de mini-réseaux interconnectés" a été mis au point pour estimer le potentiel de ces mini-réseaux. Il se concentre sur les localités qui disposent actuellement d'une connexion au réseau, mais qui ne reçoivent qu'entre quatre et huit heures d'électricité par jour. L'intensité de la lumière nocturne (représentée dans la figure ci-dessous par des hexagones colorés, calculée à partir de l'intensité de la lumière émise par la zone pendant les heures sombres) est une variable clé pour les mini-réseaux interconnectés, car elle représente la probabilité qu'une zone dispose d'un réseau de haute ou de basse qualité.

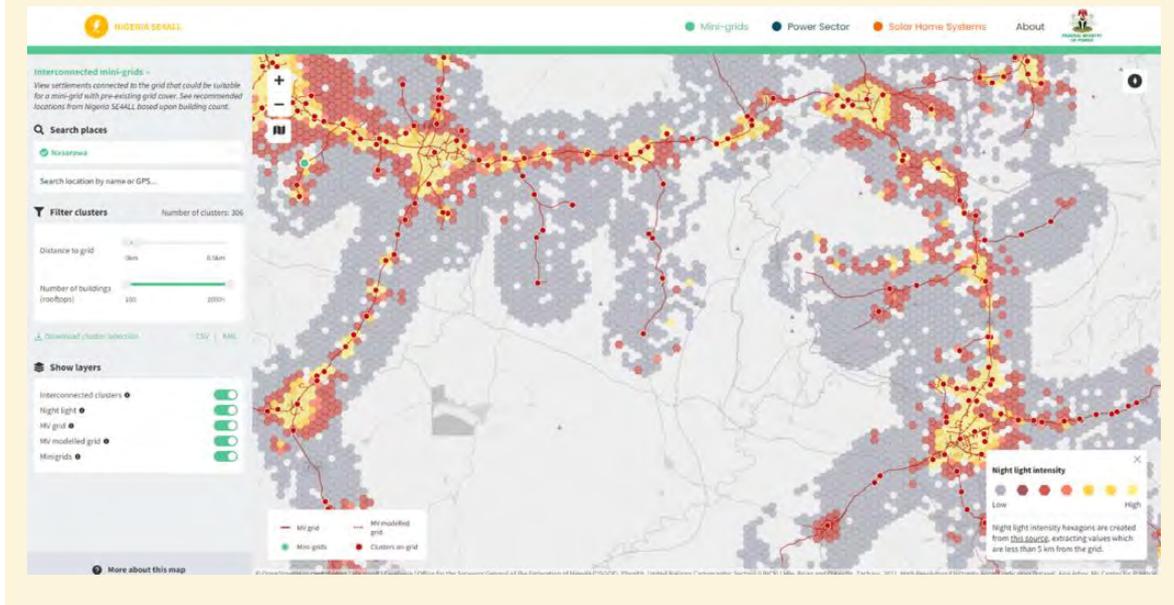
³⁹ UNIDO. 2020. [Guide d'élaboration d'une politique de mini-réseau d'énergie propre](#).

⁴⁰ Entretien du consultant avec le GEAPP.

⁴¹ Graber, Sachiko et al. 2019. [Électrifier les populations mal desservies : Modèles commerciaux collaboratifs pour le développement de mini-réseaux sous le réseau](#).

⁴² PNUD. 2021. [Dériviser les investissements dans les mini-réseaux solaires interconnectés au Nigeria](#).

FIGURE 2.10 Aperçu de l'explorateur de mini-réseaux interconnectés pour le Nigeria



Source : Nigeria SE4ALL. 2022. [Explorer le potentiel des mini-réseaux interconnectés avec la carte Web SE4ALL du Nigeria.](#)

Le rôle du cadre réglementaire est crucial, en particulier en ce qui concerne les normes techniques des mini-réseaux, qui doivent garantir l'intégration potentielle dans le réseau principal, et les accords contractuels entre les services publics et les entreprises de mini-réseaux. L'encadré 2.3 résume les principales recommandations relatives à la réglementation des mini-réseaux interconnectés.

ENCADRÉ 2.3 "Solutions de mini-réseaux pour les clients mal desservis" : Recommandations

La dernière publication de la Banque mondiale sur les mini-réseaux sous-réseau contient les recommandations suivantes à l'intention des gouvernements et des régulateurs :

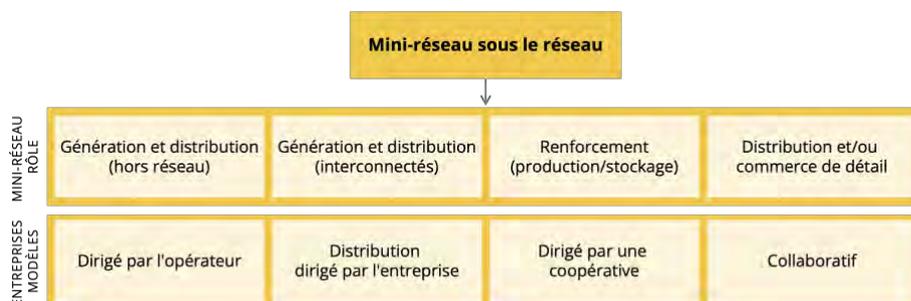
Les mini-réseaux interconnectés devraient être mis en place sur une base volontaire grâce à des incitations financières. Les mini-réseaux interconnectés qui sont imposés par la politique et la réglementation sans produire un résultat gagnant-gagnant-gagnant pour la société de distribution, le développeur du mini-réseau et les clients du mini-réseau ont peu de chances d'être commercialement durables.

Il convient de privilégier une approche légère de la réglementation des accords commerciaux des mini-réseaux interconnectés. Un examen réglementaire approfondi de chaque élément de l'accord d'interconnexion n'est peut-être pas nécessaire étant donné que le promoteur et la société de distribution protègent leurs intérêts commerciaux. L'examen réglementaire devrait plutôt se concentrer sur la conception générale de l'accord afin que le tarif de détail soit inférieur à celui des mini-réseaux non interconnectés offrant un service comparable.

Source : Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen et Ashish Shrestha. 2024. [Solutions de mini-réseau pour les clients mal desservis : Nouvelles perspectives au Nigeria et en Inde.](#)

Plusieurs modèles commerciaux potentiels se dessinent pour les mini-réseaux sous-réseau, en fonction de l'entité qui assume la responsabilité principale du développement et de l'exploitation du mini-réseau. Par exemple, dans le cadre d'un modèle **dirigé par un opérateur de mini-réseau**, l'opérateur privé est responsable du développement et de l'exploitation du mini-réseau interconnecté en consultation avec la société de distribution et/ou la communauté, tandis que dans le cadre d'un modèle **dirigé par une société de distribution**, les principales responsabilités incombent à la société de distribution, qui sous-traite certaines fonctions à un opérateur de mini-réseau privé. Parmi les autres modèles commerciaux proposés figurent le modèle **dirigé par une coopérative**, dans lequel une coopérative communautaire prend la tête du développement et de l'exploitation du mini-réseau, et le **modèle collaboratif**, dans lequel les responsabilités sont partagées entre l'opérateur du mini-réseau interconnecté, la coopérative communautaire et la société de distribution, comme le montre la FIGURE 2.11⁴³.

FIGURE 2.11 Dispositions contractuelles potentielles pour les mini-réseaux sous-réseau



Source : Commission mondiale pour l'élimination de la pauvreté énergétique : Commission mondiale pour mettre fin à la pauvreté énergétique. n.d. [Towards actionable electrification frameworks : Mini-réseaux sous le réseau.](#)

⁴³ Commission mondiale pour mettre fin à la pauvreté énergétique. n.d. [Towards actionable electrification frameworks : Mini-réseaux sous le réseau.](#)

Les mini-réseaux souterrains sont déjà utilisés dans l'État indien de l'Uttar Pradesh, où un opérateur privé de mini-réseaux (OMC Power) a construit des mini-réseaux dans des villages déjà desservis par la compagnie de distribution, en raison du manque de fiabilité du service, en particulier pendant les heures de pointe du soir.⁴⁴ Les mini-réseaux sont également de plus en plus utilisés au Nigeria, comme le montre l'ENCADRÉ 2.4.

ENCADRÉ 2.4 Mini-réseaux sous-réseau de PowerGen au Nigeria

Bien que la communauté de Toto au Nigeria soit connectée au réseau principal et dispose d'un ancien système de distribution local, l'infrastructure n'est pas fonctionnelle en raison d'un manque chronique d'entretien et d'un vol d'électricité généralisé. Ainsi, bien qu'elle ait théoriquement accès à l'électricité, la communauté est confrontée à des pannes imprévisibles, au rationnement de l'électricité ou à l'absence totale d'électricité. Dans ce contexte, PowerGen et la société de distribution d'électricité d'Abuja ont négocié un accord de mini-réseau et de partage de l'électricité, sur la base duquel **PowerGen a construit un mini-réseau pour Toto qui fournit une énergie fiable pendant la journée et achète de l'électricité à la société de distribution d'Abuja pendant la nuit.** L'accord a été qualifié de "gagnant-gagnant-gagnant", car la communauté aura accès à une énergie fiable, la compagnie d'électricité bénéficiera d'un nouvel afflux de revenus et PowerGen profitera financièrement de l'exploitation et de la maintenance de la production solaire photovoltaïque et des systèmes de distribution nouvellement installés. L'accord tient compte des forces différentes des deux parties, la société de distribution étant mieux adaptée aux environnements urbains et PowerGen ayant l'expérience de la gestion des clients à la périphérie du réseau. En installant des compteurs intelligents pour rationaliser la collecte des recettes et une infrastructure technologique de surveillance à distance, PowerGen vise à réduire les vols et le vandalisme.

Source : Francklyn, Lili. 2022. [Les miniréseaux nigériens améliorent la fiabilité de l'électricité et les revenus des services publics pour les communautés "sous" le réseau.](#) HOMER Microgrid News.

Une plus grande attention à la collaboration et à l'implication des différents partis

On a assisté récemment à une évolution vers une collaboration accrue entre tous les acteurs impliqués dans le secteur des mini-réseaux, y compris une coordination accrue entre les régulateurs et entre les donateurs, ainsi qu'une participation accrue du secteur privé et des communautés locales.

Le secteur encourage une plus grande collaboration entre les régulateurs au niveau régional, afin de réduire les ressources et le temps nécessaires à l'élaboration d'un cadre complet pour les mini-réseaux à partir de zéro, mais aussi pour faciliter la tâche des développeurs de mini-réseaux qui souhaitent travailler dans différents pays. L'harmonisation régionale des exigences réglementaires peut aider le secteur privé à exécuter des projets plus efficacement en réduisant les coûts de développement du marché. À la suite du lancement récent de l'École africaine de régulation, le secteur, y compris les gouvernements et la communauté des donateurs, s'est rallié à l'institution en tant que plateforme offrant des possibilités étendues de partage des connaissances et de renforcement des capacités, adaptées aux défis réglementaires de l'Afrique. En outre, l'AFUR et GET.transform ont établi un

⁴⁴ ESMAP. 2022. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Perspectives du marché et manuel à l'intention des décideurs.](#)

partenariat pour fournir des ressources, des échanges entre pairs et des meilleures pratiques réglementaires pour augmenter les investissements dans les mini-réseaux grâce à une boîte à outils de modèles de réglementation des mini-réseaux, dans le but de créer un consensus et de réduire la fragmentation du secteur des mini-réseaux⁴⁵.

Le renforcement de la coordination entre les donateurs est devenu une priorité essentielle afin de garantir la cohérence des approches réglementaires adoptées dans les pays bénéficiaires. Les donateurs collaborent de plus en plus étroitement afin d'éviter les messages contradictoires lorsqu'ils interagissent avec les gouvernements et les parties prenantes locales, ainsi que pour tirer parti des complémentarités entre leurs programmes. Les partenaires de développement qui s'impliquent dans un pays donné choisissent souvent de suivre l'exemple du donateur qui s'est engagé le plus longtemps dans le pays, notamment en ce qui concerne son approche des modèles commerciaux et de la réglementation des mini-réseaux ; c'est le cas à Madagascar, par exemple, où la GIZ est active depuis longtemps et où la coordination entre les donateurs (Banque mondiale, BAfD, GIZ, SFI) est assurée par des appels bimensuels.⁴⁶ D'autres exemples sont le Nigeria, où le programme de soutien énergétique de la GIZ a ouvert la voie au projet d'électrification du Nigeria de la Banque mondiale, et l'Éthiopie, où la Banque mondiale et la BAD sont intervenues en même temps que la Fondation Rockefeller et ont cherché à concevoir des programmes complémentaires, à savoir le programme ADELE et le projet DREAM (Distributed Renewable Energy-Agriculture Modalities), respectivement.⁴⁷ Cet effort plus large de coordination des bailleurs de fonds ne s'accompagne pas actuellement d'une plus grande collaboration sur les processus de demande et de diligence raisonnable.

Le renforcement d'une voix collective pour l'industrie des mini-réseaux, capable de représenter ses intérêts dans le contexte de la collaboration entre les parties prenantes, a fait l'objet d'une attention renouvelée. La nécessité d'établir un dialogue efficace entre les secteurs privé et public est de plus en plus reconnue, de manière à ce qu'il y ait une compréhension commune des priorités et des principaux défis de chaque partie. La consultation des investisseurs dès le début du processus d'élaboration du cadre réglementaire est cruciale pour établir des réglementations sur les mini-réseaux bancables qui traitent efficacement les risques d'investissement et peuvent mobiliser de nouveaux capitaux. En Afrique, par exemple, le secteur se concentre de plus en plus sur le potentiel de l'AMDA à représenter efficacement le secteur privé dans des discussions significatives avec le secteur public sur la politique et la réglementation qui permettront la mise à l'échelle des mini-réseaux.

Enfin, la communauté locale est une partie prenante cruciale, parfois négligée, qui joue un rôle clé dans la réussite du projet. Il existe de nombreux exemples de projets qui n'ont pas inclus la population locale pendant toute leur durée et qui ont finalement échoué. Une tendance récente encourageante a été la plus grande inclusion des utilisateurs finaux (également souligné dans l'encadré 2.5). Par exemple, le développeur de mini-réseaux Weziza a souligné la nécessité de s'engager avec la communauté locale avant son projet afin de la convaincre qu'elle allait effectivement fournir de l'électricité, compte tenu de la méfiance créée

⁴⁵ GET.transform. 2022. [Une boîte à outils de modèles africains de réglementation des mini-réseaux](#).

⁴⁶ Entretien du consultant avec le Fonds pour l'énergie durable en Afrique (SEFA).

⁴⁷ INENSUS. 2023. Podcast du Mini-Grid Business. "Où aller ensuite - Quels sont les pays en tête de liste des bailleurs de fonds ? Partie 1".

par les projets qui ont été lancés mais qui n'ont finalement pas abouti⁴⁸. Dans la région du Pacifique, cette question a progressé au point que les projets ne sont pas approuvés sans suivre une série de "protocoles sociaux", garantissant que les bénéficiaires sont inclus dans le projet⁴⁹. Le programme "Sharing the Power" de l'IGR, qui a été déployé au Nigeria en février 2023, fait de la communauté locale un élément central du modèle commercial en encourageant la copropriété de la source d'électricité, ou "gouvernance énergétique inclusive": les communautés hôtes peuvent détenir une participation dans le mini-réseau par le biais de contributions financières, foncières et en nature, tandis que les recettes de l'exploitation du mini-réseau sont distribuées selon une formule convenue entre la communauté et le développeur. Les représentants de la communauté ont un droit de vote sur des questions telles que les tarifs, les niveaux de service et les mises à niveau, qui ont un impact direct sur la communauté.⁵⁰

ENCADRÉ 2.5 Intégration de la communauté locale dans les projets de mini-réseaux

Afin de sensibiliser la communauté et d'obtenir son engagement actif dans son projet de mini-réseau, JUMEME, un développeur de mini-réseau en Tanzanie, a mis en place un **comité d'énergie comprenant des membres du village**, chargé d'organiser des discussions et de partager les derniers développements du projet avec la population. JUMEME a également organisé des événements promotionnels et des campagnes de communication en porte-à-porte visant à souligner les avantages de l'électricité, à améliorer la compréhension de la structure tarifaire par les clients et à les informer des options de financement.

Source : IIED : IIED, 2017. [Faire fonctionner les mini-réseaux : Utilisations productives de l'électricité en Tanzanie](#).

Innovations en matière de modèles d'entreprise

La nécessité de modèles d'entreprise évolutifs

Si l'impact transformateur des mini-réseaux est indéniable et crucial, il est tout aussi important de reconnaître que la rentabilité des modèles commerciaux existants reste un paramètre clé pour les investisseurs potentiels. La majorité des investisseurs actuels dans les projets de mini-réseaux recherchent généralement un équilibre entre l'impact sociétal et les rendements financiers. L'attrait des mini-réseaux réside non seulement dans leur impact clair et significatif sur l'amélioration de l'accès à l'énergie et de la durabilité, en particulier dans les régions mal desservies, mais aussi dans leur potentiel de rentabilité. Par conséquent, les investisseurs examinent méticuleusement les plans d'affaires des projets de mini-réseaux, à la recherche d'une voie claire et réalisable vers la rentabilité. Ce double souci d'impact et de rentabilité souligne la nécessité de développer des modèles commerciaux évolutifs et financièrement viables dans le secteur des mini-réseaux. Les indicateurs financiers d'Okra Solar reflètent cette double orientation : le revenu moyen par utilisateur (ARPU) et sa croissance

⁴⁸ Oikocredit International. 2023. [Comment Weziza, partenaire d'Oikocredit, améliore l'accès à l'électricité au Bénin](#).

⁴⁹ Entretien du consultant avec l'ASU.

⁵⁰ RMI. 2024. [Sharing the Power : Nigerian Community Takes Charge of Their Energy Development \(Partager le pouvoir : une communauté nigérienne prend en charge son développement énergétique\)](#).

anticipée sont utilisés comme indicateurs de la réussite du projet, tandis que l'utilisation est un indicateur du potentiel de mise à l'échelle et des opportunités de revenus⁵¹.

Les entreprises de mini-réseaux accordent de plus en plus la priorité à un nombre minimum de connexions, qui est un facteur clé dans la décision finale d'investissement pour les projets d'électrification. Dans le paysage évolutif du secteur des mini-réseaux, le nombre de connexions potentielles est devenu une considération essentielle pour les entreprises lorsqu'elles décident de construire un mini-réseau. Cette évolution reflète l'importance croissante accordée à la réalisation d'économies d'échelle, essentielles à la viabilité et à la rentabilité de ces projets. Par exemple, des entreprises comme PowerGen ont établi une référence, n'envisageant souvent pas l'électrification de communautés comptant moins de 1,000 connexions potentielles⁵². Ce seuil est considéré comme le "point idéal" où l'électricité peut être fournie à un coût raisonnable tout en maintenant la rentabilité.

Cette stratégie se justifie à plusieurs égards. Dans les grandes communautés, qui disposent d'un nombre important de connexions, il est plus probable qu'une activité économique existe déjà. Cette activité existante réduit la nécessité d'allouer des ressources importantes à la formation et à l'encouragement du développement économique, comme c'est souvent le cas dans les petites communautés. En outre, la demande d'électricité a tendance à augmenter de manière exponentielle avec la taille de la ville, ce qui rend les grandes villes plus intéressantes pour l'électrification du point de vue de la demande. Toutefois, cela ne signifie pas que les petites communautés n'ont pas d'options. Des entreprises comme Husk Power sont disposées à fournir de l'électricité aux petites communautés, mais avec l'aide de subventions. Ces entreprises reconnaissent qu'avec des efforts concertés pour stimuler l'activité économique - comme l'introduction de pompes solaires pour l'irrigation - il est possible d'exploiter un mini-réseau de manière rentable, même dans des environnements plus restreints. Cette approche implique souvent une impulsion initiale pour stimuler l'activité économique, qui peut ensuite soutenir la demande d'électricité.

Les décisions politiques déterminent l'éventail des modèles commerciaux parmi lesquels les développeurs privés de mini-réseaux peuvent choisir, mais reconnaissent généralement la nécessité de passer à l'échelle supérieure. Cinq stratégies principales sont actuellement suivies par les gouvernements d'Afrique et d'Asie (voir l'ENCADRÉ 2.6). L'approche selon laquelle les promoteurs privés sélectionnent les sites en fonction de la rentabilité prévue (approche 1) est actuellement la plus courante, étant donné qu'elle peut accélérer le développement des mini-réseaux une fois que le cadre réglementaire est en place. La passation de marchés concurrentiels pour des portefeuilles de sites (approche 3) est également souvent préférée en raison des coûts moins élevés résultant du regroupement des sites, tandis que les concessions (approche 4) ne sont pas aussi courantes, étant donné qu'elles nécessitent une documentation importante et l'adhésion de nombreuses parties prenantes nationales et internationales.⁵³

⁵¹ Okra Solar

⁵² Entretien du consultant avec Powergen.

⁵³ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen et Ashish Shrestha. 2024. [Solutions de mini-réseau pour les clients mal desservis : Nouvelles perspectives au Nigeria et en Inde.](#)

ENCADRÉ 2.6 Approches gouvernementales du développement des mini-réseaux

- 1. Les promoteurs privés sélectionnent les sites.** Dans le cadre de cette approche, les promoteurs choisissent les sites des mini-réseaux en fonction de leur rentabilité prévue, en s'appuyant souvent sur des bases de données géospatiales développées par les gouvernements et les bailleurs de fonds. Les licences ou permis et l'approbation des tarifs peuvent être accordés site par site ou pour un portefeuille de mini-réseaux. Les subventions d'investissement destinées à rendre les projets commercialement viables sont généralement accordées par l'agence d'électrification rurale ou une autre entité gouvernementale selon le principe du "premier arrivé, premier servi" (à condition que les exigences techniques et financières minimales spécifiées soient remplies), la dernière partie étant basée sur les performances. Cette approche est suivie par le projet d'électrification du Nigeria financé par la Banque mondiale, dans le cadre duquel 110 mini-réseaux sont devenus opérationnels en octobre 2023.
- 2. Les promoteurs privés sélectionnent les sites, en combinaison avec la déréglementation.** Dans ce cas, le promoteur peut vendre de l'électricité sans licence ou permis et peut également être en mesure de fixer les tarifs de détail sans l'approbation des autorités de régulation. L'Inde est un exemple de cette approche (voir annexe A2).
- 3. Le gouvernement sélectionne des groupes de sites individuels et lance un appel d'offres.** Dans le cadre de cette approche, plusieurs sites de mini-réseaux sont regroupés en lots afin de réduire les coûts de développement et les développeurs intéressés soumissionnent généralement sur les tarifs proposés ou sur les subventions minimales requises. Par exemple, dans le cadre du programme d'énergie rurale renouvelable de la Sierra Leone (voir annexe A1), le ministère de l'énergie a sélectionné 54 villages pour le développement de mini-réseaux, qui ont été divisés en quatre lots. Les promoteurs retenus ont été sélectionnés sur la base de critères multiples et ont obtenu des licences de 20 ans pour gérer et exploiter les mini-réseaux.
- 4. Le gouvernement procède à une mise en concurrence pour l'attribution de concessions dans les zones qu'il sélectionne.** Une concession est un contrat formel entre le gouvernement et un opérateur privé (concessionnaire), sur la base duquel le concessionnaire assume les obligations d'exploitation et de maintenance et, souvent, les responsabilités d'investissement pour l'actif sur une période convenue. Cette approche intègre les réglementations pertinentes (telles que les tarifs, la qualité du service, l'exclusivité et les dispositions relatives à l'arrivée sur le réseau) dans l'accord, offrant ainsi un régime réglementaire stable et prévisible pour le développeur. La République démocratique du Congo prévoit de suivre cette approche, combinée à des subventions accordées aux promoteurs pour améliorer l'accessibilité financière.
- 5. Le gouvernement lance des appels d'offres pour que des promoteurs privés construisent et exploitent de nouveaux mini-réseaux qui seront ensuite repris par une compagnie d'électricité.** Cette approche vise à garantir que la compagnie conserve son monopole sur toutes les ventes au détail d'électricité dans le pays. La construction et l'exploitation initiale des mini-réseaux sont confiées à des entreprises privées, généralement en raison de l'expérience limitée de la compagnie en matière de développement de mini-réseaux.

Source : Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen et Ashish Shrestha. 2024. [Solutions de mini-réseau pour les clients mal desservis : Nouvelles perspectives au Nigeria et en Inde.](#)

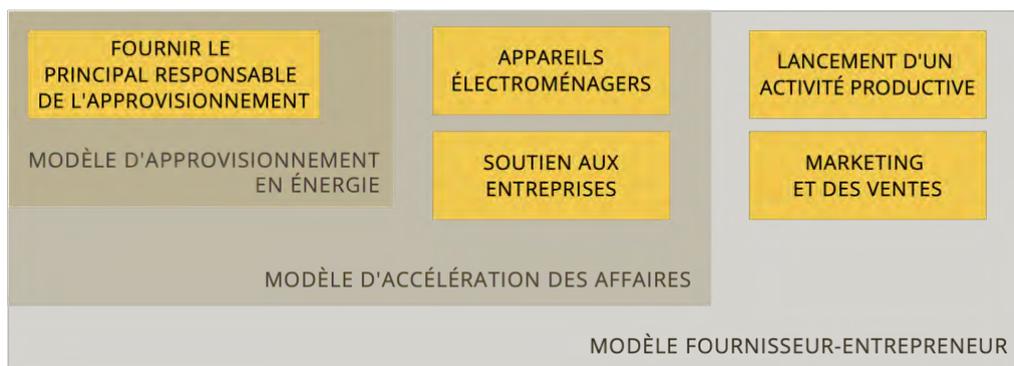
L'utilisation productive de l'énergie reste une partie intégrante du développement des mini-réseaux, souvent avec un champ d'application élargi

L'utilisation productive de l'énergie (PUE) a été établie comme un aspect fondamental du développement des mini-réseaux, améliorant la viabilité financière des mini-réseaux et

catalysant la croissance économique au sein des communautés. L'utilisation productive de l'énergie fait référence aux applications énergétiques qui renforcent l'activité économique, permettant aux communautés d'augmenter leurs revenus ou de remplacer des sources d'énergie moins efficaces telles que les générateurs diesel. L'importance du PUE va au-delà de la simple fourniture d'énergie ; il s'agit de faciliter activement l'autonomisation économique des communautés. L'importance du PUE pour la durabilité des mini-réseaux est soulignée par les développeurs de mini-réseaux en Inde (voir section A2), où le PUE fait partie intégrante de leurs activités. Le PUE permet de relever le défi majeur de la faible demande d'électricité dans les zones rurales, ce qui facilite le recouvrement des coûts d'investissement dans les infrastructures de production, de distribution et de comptage. Cela se traduit également par un coût nivelé de l'électricité (LCOE) plus faible (voir également le point 2.6.1) par rapport au LCOE dans un scénario sans PUE. En outre, le PUE peut apporter une solution au problème de la forme de la charge résidentielle et du facteur de charge, étant donné que la demande résidentielle est concentrée le soir, lorsque la production solaire photovoltaïque n'est pas directement utilisable et doit être recyclée dans des batteries avant d'être utilisée⁵⁴.

À mesure que le secteur mûrit, les promoteurs reconnaissent de plus en plus le fait que la croissance durable du PUE nécessite un environnement favorable plus large. Il s'agit notamment d'identifier les lacunes dans les compétences commerciales et techniques requises pour utiliser les appareils de PUE, de sensibiliser aux activités productives et d'améliorer l'accès au capital pour l'acquisition d'équipements de PUE, l'accès aux applications énergétiques physiques elles-mêmes et l'accès aux marchés pour la vente des produits. Ainsi, le champ d'application du PUE s'étend de l'opérateur de mini-réseau fournissant de l'électricité aux charges d'ancrage (*modèle de fourniture d'énergie*) à la fourniture d'un financement aux consommateurs pour faciliter l'acquisition d'équipements PUE (*modèle d'accélération des affaires*) ou à l'introduction de chaînes de valeur PUE et au fait de devenir soi-même le principal fournisseur (*modèle de fournisseur-offtaker*). Ces modèles d'entreprise sont présentés dans la FIGURE 2.12 et analysés dans les sections ci-dessous.

FIGURE 2.12 Modèles d'entreprise PUE



⁵⁴ van Hove et al. 2022. [Évaluation de l'impact des utilisations productives de l'électricité sur la bancabilité des mini-réseaux](#).

Source : CEA, d'après EPP Africa et Nordic Development Fund ; CEA sur la base de EPP Africa et du Fonds nordique de développement. 2019. [Alimenter la productivité : Lessons in Green Growth from the EEP Africa Portfolio](#).

Modèle d'approvisionnement en énergie

Les modèles commerciaux des mini-réseaux sont traditionnellement axés sur l'existence d'un client d'ancrage, à savoir un grand consommateur d'électricité, tel qu'une tour de télécommunications, qui consomme la majorité de l'électricité fournie par le mini-réseau. Le client d'ancrage est la première étape de la stratégie ABC⁵⁵ (Ancre-Business-Consommateurs) pour la durabilité financière des mini-réseaux. Cette stratégie consiste d'abord à négocier un accord avec un client d'ancrage, qui a un profil de charge prévisible, puis à identifier ou à aider à développer les entreprises locales qui peuvent fournir une demande stable et promouvoir la croissance économique dans les communautés. La dernière étape concerne les clients résidentiels, étant donné que ce segment ne peut pas garantir la viabilité économique, mais qu'il est crucial pour atteindre l'objectif d'expansion de l'accès. Des recherches basées sur des données relatives à la demande et aux coûts en Inde ont montré que la connexion des centres de santé en tant que charges d'ancrage améliore la viabilité financière et environnementale des mini-réseaux, en réduisant le coût unitaire et l'intensité des émissions de gaz à effet de serre de l'électricité⁵⁶. Parmi les exemples d'application pratique de la stratégie ABC, on peut citer Engie Energy Access (voir l'encadré 2.7), OMC Power en Inde⁵⁷, et de nombreux promoteurs au Bangladesh qui connectent d'abord les principaux clients commerciaux pour assurer une charge de base initiale de la consommation et générer la confiance dans le projet, avant de l'étendre aux clients domestiques⁵⁸.

⁵⁵ GIZ. 2014. [Le modèle ABC : Anchor customers as core clients for mini-grids in emerging economies](#) ; et EEP Africa. 2018. Opportunités et défis dans le secteur des mini-réseaux en Afrique.

⁵⁶ Beath et al. 2021. [Les avantages en termes de coûts et d'émissions de l'incorporation de charges d'ancrage dans les mini-réseaux solaires en Inde](#).

⁵⁷ Alliance solaire internationale. s.d. [Étude de cas. Utilisation opérationnelle du "Anchor Load Business Community Model"](#).

⁵⁸ Réseau de connaissances sur le climat et le développement. 2019. [Mini-réseaux solaires : Investment Case - Bangladesh](#).

ENCADRÉ 2.7 La stratégie ABC en pratique

La stratégie ABC repose sur le concept consistant à se concentrer sur un client principal dont la demande est fiable et à connecter ensuite d'autres clients dont les habitudes de consommation sont moins prévisibles. Engie Energy Access utilise la stratégie ABC pour assurer la viabilité économique de ses sites de mini-réseaux :

- Les études de site servent à recueillir des informations sur les besoins énergétiques futurs afin de dimensionner les systèmes de manière appropriée. Une analyse complémentaire du site facilite la planification de l'aide au développement des activités génératrices de revenus.
- Une fois les différentes activités identifiées, Engie Energy Access dresse une liste de **clients principaux**, y compris ceux qui possèdent des machines à gros capital telles que des moulins à marteaux et des extracteurs d'huile.
- Enfin, les **clients résidentiels** sont raccordés dans un délai de deux ans, conformément aux objectifs suivants :
 - 60 % avant le démarrage du site
 - 80 % à la fin de la première année
 - Le reste dans l'année qui suit.

Source : Engie Energy Access. [Impact Review 2023](#).

Une autre application de ce modèle est en train de voir le jour, à savoir le refroidissement durable, qui est essentiel pour réduire les importantes pertes post-récolte des produits alimentaires périssables, qui représentent souvent 40 % de ce qui est cultivé dans les chaînes de valeur agricoles sur les marchés en développement.⁵⁹ Comme expliqué dans ENCADRÉ 2.8, les chambres froides peuvent servir de charges d'ancrage pour améliorer la viabilité financière des mini-réseaux. Inspira Farms⁶⁰ (opérant en Afrique) et Ecozen⁶¹ (opérant en Inde) sont des exemples de fournisseurs de chambres froides et d'autres technologies de la chaîne du froid qui peuvent augmenter la consommation d'électricité des mini-réseaux.

ENCADRÉ 2.8 Le refroidissement durable comme moyen d'augmenter la demande d'électricité en mini-réseau

L'entreposage frigorifique est le meilleur moyen de réduire les pertes de produits alimentaires périssables après la récolte, en particulier sur le "premier kilomètre" ; plus la température des produits est abaissée à proximité de l'exploitation, plus l'impact sur leur durée de conservation est important. La réduction des taux de perte de produits grâce à l'augmentation de la capacité de stockage frigorifique accroît le revenu des ménages parmi les agriculteurs qui vivent dans les communautés desservies par les mini-réseaux éloignés. Cela augmente à son tour leur capacité à acheter des appareils et leur demande d'électricité.

La conception technique est un élément important pour équilibrer les fluctuations de l'énergie solaire dans la communication avec le mini-réseau ; l'utilisation de glace et de batteries dans les dispositifs

⁵⁹ Article d'opinion fourni par SEforALL.

⁶⁰ [InspiraFarms](#)

⁶¹ [Ecozen](#)

de réfrigération est cruciale pour réduire la consommation pendant la nuit ou les jours où le rayonnement solaire est faible.

SEforALL développe actuellement l'**outil de planification de l'accès à la chaîne du froid agricole (AgCAP)**, un outil de planification open-source unique en son genre pour l'évaluation (géospatiale) des besoins en chambres froides agricoles et des implications des demandes de refroidissement pour la planification de l'électrification. Cet outil est destiné à soutenir et à améliorer la viabilité des projets d'électrification des mini-réseaux grâce à la planification des chambres froides servant de charges d'ancrage.

Source : Article d'opinion fourni par SEforALL.

Les sociétés de mini-réseaux envisagent de plus en plus d'abandonner les charges d'ancrage au profit d'une clientèle diversifiée et durable. L'approche traditionnelle consistant à s'appuyer sur un seul client d'ancrage a d'abord été privilégiée en raison de sa capacité perçue à fournir une source stable et prévisible de demande et de revenus, en plus de fournir une "contrepartie solvable" pour signer un contrat qui pourrait être présenté à un prêteur. Cependant, cette approche est de plus en plus considérée comme moins viable. L'un des principaux défis posés par les clients d'ancrage, en particulier les tours de télécommunication, est le pouvoir de négociation considérable que ces charges d'ancrage exercent, ce qui se traduit souvent par des marges bénéficiaires minces pour les opérateurs de mini-réseaux. Le secteur s'oriente désormais vers un modèle qui se concentre sur un éventail plus large de clients. Il ne s'agit pas seulement de diversifier les risques, mais aussi d'identifier et de cultiver une charge durable susceptible de remplacer le client d'ancrage. Des entreprises comme Powergen et Husk Power sont à l'avant-garde de cette tendance, se concentrant stratégiquement sur l'identification du segment de 20 % de leur réseau qui représente 80 % de la consommation et des revenus.⁶² Cette approche consiste à déterminer avec précision qui constitue ces 20 % critiques et à adapter les services à leurs besoins. Cette transition vers un modèle de clientèle durable reflète une meilleure compréhension de la dynamique du marché et une approche plus nuancée pour atteindre la rentabilité et la viabilité à long terme.

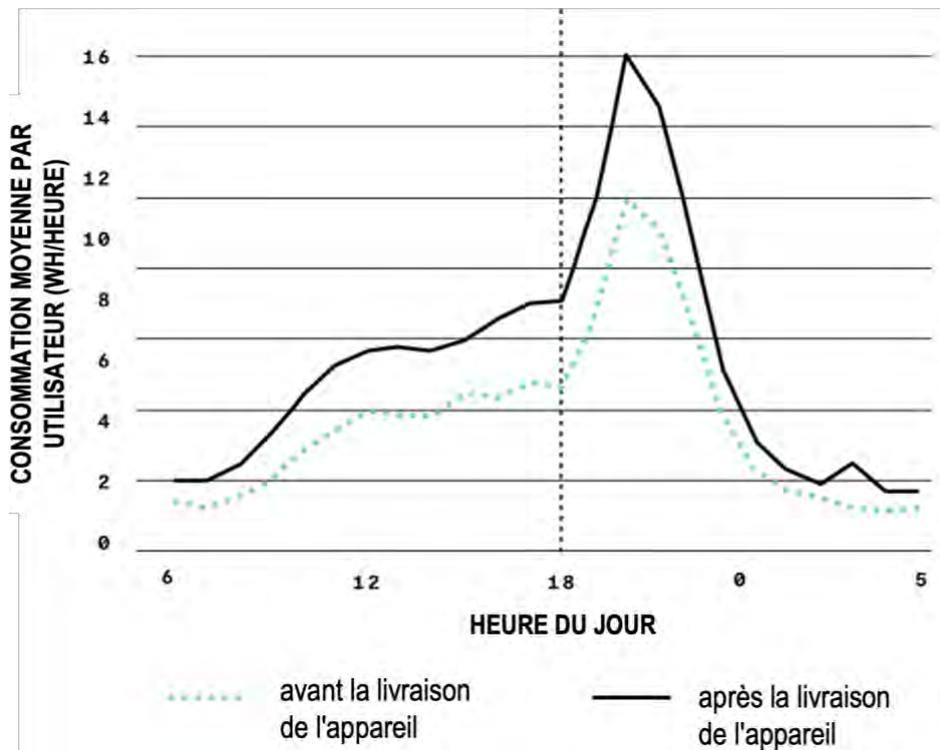
Modèle d'accélération des affaires

Afin d'augmenter la demande et d'établir une base de revenus stable, les développeurs fournissent de plus en plus d'appareils aux clients, dans le but d'équiper les clients des mini-réseaux ruraux, qui sont souvent prêts à consommer plus d'électricité, des moyens de mettre cette énergie à profit. Sans appareils, les clients ne peuvent pas profiter pleinement des avantages de l'électrification, alors que leur consommation d'énergie est trop faible pour permettre aux développeurs d'exploiter durablement leurs mini-réseaux. Le programme pilote du CrossBoundary Mini-Grid Innovation Lab en Afrique de l'Est et au Nigeria a montré que dans les cinq mois suivant la livraison des appareils, les acheteurs de ces appareils ont consommé deux fois plus d'électricité (FIGURE 2.13).⁶³

⁶² INENSUS. 2023. Le podcast Mini-Grid Business. "Charges d'ancrage, utilisation productive et industrialisation rurale".

⁶³ Fondation Rockefeller. 2020. [Electrifier les économies : Financement des appareils électroménagers. CrossBoundary Mini-Grid Innovation Labs - Afrique de l'Est, Zambie et Nigeria.](#)

FIGURE 2.13 Consommation moyenne par utilisateur en fonction de l'heure de la journée, avant et après la livraison des appareils, Afrique de l'Est



Source : Fondation Rockefeller : Fondation Rockefeller. 2020. [Electrifier les économies : Financement des appareils électroménagers. CrossBoundary Mini-Grid Innovation Labs Afrique de l'Est, Zambie et Nigeria.](#)

Les coûts initiaux élevés des équipements PUE restent un défi, et le financement des appareils est utilisé pour y remédier, comme la location avec option d'achat ou les systèmes de paiement à l'acte. Dans le cadre d'un système de location-achat, le client doit payer une redevance mensuelle qui couvre à la fois l'électricité et le paiement de l'appareil pendant une période de remboursement spécifique (souvent 12 mois), après quoi il devient propriétaire de l'appareil et la redevance mensuelle est ramenée aux seuls coûts de l'électricité⁶⁴. Cet accord de location permet au client de tirer un revenu de l'activité productive, ce qui accroît sa capacité à payer la redevance. Des entreprises comme Engie Equatorial (voir Encadré 2.9) et PowerGen ont consacré une part importante de leurs activités à la fourniture de dispositifs d'efficacité énergétique, reconnaissant ainsi la valeur du PUE dans leur modèle opérationnel. En outre, Okra Solar a mis au point une application numérique pour la location d'appareils qui réduit les frais généraux, encourage la croissance de la charge et augmente les revenus. L'application recueille des données sur l'utilisation de l'énergie et les paiements mobiles et crée un profil de crédit qui peut être utilisé pour améliorer l'accès au financement⁶⁵.

⁶⁴ EPP Afrique et Fonds nordique de développement. 2019. [Alimenter la productivité : Lessons in Green Growth from the EEP Africa Portfolio.](#)

⁶⁵ Okra Solar

ENCADRÉ 2.9 Modèle d'accélération de l'activité : Engie Equatorial

En 2022, Engie Equatorial (une collaboration entre Engie Energy Access et Equatorial Power) a inauguré un mini-réseau solaire hybride de 600 kWp sur l'île de Lolwe, en Ouganda. Ce projet dispose d'un **centre de production intégré** qui transforme les matières premières en produits à valeur ajoutée, y compris des services de pompage, de distribution et de purification de l'eau, des installations de séchage du poisson et des dispositifs de fabrication de glace pour conserver les prises quotidiennes de poisson.

En outre, le modèle d'entreprise comprend une solution de **mobilité électronique** pour les bateaux de pêche et les motos, associée à des services d'**incubation d'entreprises et de financement d'actifs** pour soutenir la croissance des entreprises locales.

Source : ENGIE Energy Access : ENGIE Energy Access. 2022. [ENGIE Equatorial inaugure le mini-réseau de Lolwe en Ouganda](#).

La capacité limitée de gestion des entreprises locales, qui menace leur viabilité économique, reste un défi majeur dans le cadre de ce modèle. Les promoteurs, tels que JUMEME (voir ENCADRÉ 2.10), doivent souvent s'engager dans un accompagnement et une formation intense des ressources humaines pour les entreprises locales afin de rendre ce modèle viable.

ENCADRÉ 2.10 JUMEME : Aide au développement ciblée

En Tanzanie, JUMEME a utilisé le modèle d'accélération des affaires pour soutenir ses mini-réseaux dans 20 villages insulaires du lac Victoria, une région économiquement dynamique, et en particulier le commerce du poisson tilapia. Outre l'augmentation de la consommation d'électricité du mini-réseau, cette initiative a profité à l'économie locale en créant des emplois et des opportunités entrepreneuriales dans une multitude de secteurs, notamment la semi-transformation, le transport et la congélation du tilapia, ainsi que la production d'aliments pour poissons, créant ainsi un **lien entre l'énergie et l'aquaculture**.

JUMEME a également permis l'automatisation et l'expansion des entreprises existantes en créant un magasin pour vendre des appareils à crédit (généralement pour six mois) en fonction des besoins des entreprises locales. Compte tenu de l'accès limité au financement et du coût initial prohibitif des équipements PUE, **JUMEME a favorisé les liens entre ses clients et les banques locales, les organisations coopératives d'épargne et de crédit et les institutions de microfinance**, tout en offrant la possibilité de ne payer que 10 % de l'équipement à l'avance⁶⁶. Cependant, les difficultés persistent et conduisent souvent à des défauts de paiement. Dans ce contexte, les entreprises ont suggéré qu'un délai de grâce leur permettrait de constituer leur trésorerie sur la base du nouvel équipement.⁶⁷

JUMEME reconnaît que **son modèle nécessite un soutien ciblé au développement des entreprises pour devenir durable**. C'est pourquoi elle organise des programmes de formation, des services de conseil et de mentorat pour améliorer les compétences des entreprises locales en matière de méthodes de gestion, de comptabilité et de tâches administratives. JUMEME s'attache également à maintenir une relation étroite avec les entrepreneurs nouvellement connectés afin de leur fournir toute l'assistance technique nécessaire pour connecter ou adapter les machines, ce qui permet d'éviter les problèmes techniques.

⁶⁶ IIED. 2017. [Making mini-grids work Productive uses of electricity in Tanzania](#).

⁶⁷ EPP Afrique et Fonds nordique de développement. 2019. [Alimenter la productivité : Lessons in Green Growth from the EEP Africa Portfolio](#).

Sources : PREO. 2020. [JUMEME](#) ; et ESMAP. 2022. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Market Outlook and Handbook for Decision Makers](#).

Compte tenu des ressources importantes nécessaires aux développeurs pour mettre en œuvre avec succès le modèle d'accélération commerciale, les financiers privés, qui commencent à prêter attention au PUE dans le cadre des mini-réseaux, peuvent jouer un rôle crucial dans la résolution de ce problème. Par exemple, CrossBoundary et Oikocredit (cf. l'encadré 2.11) ont aidé les promoteurs de mini-réseaux, Havenhill et Weziza respectivement, à mettre en œuvre le financement des appareils à l'échelle.

ENCADRÉ 2.11 Oikocredit : construire un écosystème autour du PUE

L'investisseur d'impact Oikocredit met fortement l'accent sur la mise en place d'un écosystème favorable au PUE dans le cadre des projets qu'il finance. Pour ce faire, il collabore avec des financeurs d'appareils et s'appuie sur des réseaux de coopératives agricoles afin de maximiser la portée du soutien à la PUE. Pour éviter de travailler en vase clos, un département spécialisé d'Oikocredit s'occupe de l'intersection entre l'utilisation de l'énergie solaire et les mini-réseaux.

Par exemple, le financement d'Oikocredit a permis à Weziza, un opérateur de mini-réseau au Bénin, de mettre en place un **programme de location qui permet aux ménages d'utiliser des congélateurs ou des moulins électriques pour un prix forfaitaire**. Comparés aux moulins à diesel précédemment utilisés, les moulins électriques nécessitent peu d'entretien, ce qui permet d'économiser jusqu'à 35 % des coûts de maintenance, tandis que l'équipement a également créé des opportunités de revenus supplémentaires, par exemple en exploitant de petits moulins. Les moulins ont été déployés après des **études sur le terrain** et une formation de la population locale.

Source : entretien du consultant avec Oikocredit et Oikocredit : Entretien du consultant avec Oikocredit et Oikocredit. 2023. [Comment Weziza, partenaire d'Oikocredit, améliore l'accès à l'électricité au Bénin](#).

Ce modèle souligne la possibilité pour les entreprises de mini-réseaux de générer davantage de revenus en fournissant des services supplémentaires, plutôt que de se concentrer uniquement sur la fourniture d'électricité. En offrant une gamme de services et de solutions qui répondent aux besoins globaux des communautés rurales, les entreprises de mini-réseaux améliorent non seulement leur modèle d'entreprise, mais jouent également un rôle essentiel dans le développement durable et la croissance économique des zones rurales.

Modèle fournisseur-entrepreneur

Le champ d'action des entreprises de mini-réseaux s'est remarquablement étendu, transcendant le rôle traditionnel de fournisseurs d'énergie pour devenir des architectes d'écosystèmes industriels ruraux. La dernière étape de l'évolution des modèles commerciaux axés sur le PUE a été l'importance croissante des sociétés de mini-réseaux dans la promotion du développement rural, qui ne se limite plus au simple soutien des activités économiques existantes. Le modèle fournisseur-fournisseur reflète cette évolution : l'opérateur de mini-réseau établit une activité commerciale ou industrielle basée sur un produit local (comme la production de glace pour les pêcheurs), qui sert de fournisseur principal pour le mini-réseau,

comblant ainsi l'écart de la demande⁶⁸. Par exemple, parallèlement à la mise en place d'un mini-réseau en Ouganda, Volt-Terra a également développé un modèle d'exploitation agricole qui utilise une approche par blocs, en étroite collaboration avec les agriculteurs locaux. Volt-Terra achète les produits des agriculteurs, leur fournit une formation et utilise un séchoir à pompe à chaleur sur place, alimenté par l'électricité du mini-réseau, pour la transformation. L'augmentation des revenus que les agriculteurs tirent de la production de piments et de vanille leur permet d'acheter de plus grandes quantités d'électricité du mini-réseau.⁶⁹

Le soutien des donateurs et la normalisation sont essentiels dans le cadre de ce modèle, étant donné les ressources substantielles que les développeurs doivent consacrer à l'analyse détaillée de la chaîne de valeur. L'identification des moyens d'étendre les activités de PUE existantes en utilisant les ressources locales demande beaucoup de ressources, ce qui souligne l'importance des programmes des bailleurs de fonds qui impliquent l'évaluation du marché du PUE. En Éthiopie, par exemple, le programme ADELE financé par la Banque mondiale a centré ses activités de déploiement de mini-réseaux sur l'identification et la stimulation des utilisations de l'électricité génératrices de revenus⁷⁰, tandis que le projet DREAM en Éthiopie implique que la Fondation Rockefeller fournisse une assistance technique au ministère de l'eau et de l'énergie pour l'aider à déterminer des modèles commerciaux de mini-réseaux axés sur le PUE par le biais d'études de faisabilité et de projets pilotes de suivi⁷¹.

En outre, les promoteurs s'intéressent de plus en plus aux utilisations productives que les communautés ont toutes en commun. Alors que les chaînes de valeur des PUE varient considérablement d'une région à l'autre, les développeurs identifient de plus en plus une variété de solutions qui peuvent être standardisées et mises à l'échelle sur plusieurs sites. Par exemple, les utilisations productives qui sont pertinentes dans n'importe quel contexte, comme l'équipement de purification de l'eau ou l'e-mobilité, peuvent être développées en solutions standardisées qui peuvent être déployées efficacement sur différents portefeuilles de sites. En facilitant l'accès à l'eau potable grâce à des systèmes de purification à haut rendement énergétique, les entreprises de mini-réseaux répondent à un besoin fondamental tout en stimulant les opportunités commerciales locales. De même, l'intégration de solutions d'e-mobilité, telles que les bicyclettes et les véhicules électriques, n'améliore pas seulement le transport dans les zones rurales, mais ouvre également de nouvelles voies pour l'activité économique et l'emploi. Par exemple, OX Delivers,⁷² une start-up britannique spécialisée dans l'e-mobilité, a créé un camion électrique spécialement conçu dans le cadre d'un modèle de transport en tant que service. Plus précisément, les clients réservent une place dans le camion par le biais d'une application ou d'un appel téléphonique et paient à peu près le même montant que pour une livraison à vélo.⁷³

⁶⁸ EPP Afrique et Fonds nordique de développement. 2019. [Alimenter la productivité : Lessons in Green Growth from the EEP Africa Portfolio.](#)

⁶⁹ PREO. 2024. [Nouvelles du projet : De la ferme au marché.](#)

⁷⁰ ESMAP. 2022. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Perspectives du marché et manuel à l'intention des décideurs.](#)

⁷¹ SNV. n.d. [Distributed Renewable Energy-Agriculture Modalities \(DREAM\).](#)

⁷² OX livre

⁷³ Peters, Adele. 2024. [Ces camions électriques peuvent être expédiés à plat et assemblés sur place.](#) fastcompany.com.

L'expansion du développement des mini-réseaux dans ces divers secteurs d'activité n'est pas seulement une question de rentabilité ; il s'agit d'une question d'évolutivité et de développement holistique des zones rurales. Ainsi, **l'impact escompté des PUE a été élargi pour englober le développement social, au-delà de l'autonomisation économique**, certaines initiatives de PUE prenant en compte les questions sociales et les disparités locales, comme le montre le cas d'East African Power dans l'ENCADRÉ 2.12, où il est question de l'impact des PUE sur le développement social.

ENCADRÉ 2.12 L'autonomisation des communautés grâce à la PUE

East African Power (EAP) encourage l'autonomisation des communautés grâce à un mini-réseau de 150 kW au Rwanda, qui fournira une énergie abordable à un **parc micro-industriel** et à un **centre d'autonomisation des villages** comprenant un bâtiment communautaire polyvalent, une bibliothèque/centre d'apprentissage et un centre d'excellence agricole. Le résultat attendu du projet est la fourniture d'énergie **aux micro-entreprises locales, ainsi que le développement d'initiatives sociales et éducatives par le biais du centre communautaire.**

Source : EEP Afrique : EEP Afrique. 2019. [East African Power - Centrale hydroélectrique fournissant de l'énergie propre au Rwanda](#)

Des approches innovantes de promotion du PUE ont également reconnu que les hommes et les femmes occupent des sphères différentes dans l'économie productive⁷⁴ et bénéficient de l'accès à l'électricité de différentes manières. Par exemple, le programme de la Banque mondiale sur le genre et l'énergie en Afrique a collaboré avec le gouvernement du Mali pour veiller à ce que les initiatives d'électrification rurale prennent en compte les différents besoins des femmes et favorisent des résultats équitables. Les enquêtes menées dans le cadre du programme ont montré que les femmes étaient moins susceptibles que les hommes d'utiliser l'électricité pour des activités génératrices de revenus, pour des raisons telles que l'accès limité au crédit et à la formation, ainsi que l'absence de prise en compte des besoins énergétiques spécifiques des femmes dans la conception des programmes d'accès à l'énergie. Le programme a mis en évidence les défis posés par le soutien au développement d'entreprises respectueuses de l'égalité des sexes dans le cadre des efforts d'électrification⁷⁵.

Relever le défi d'une demande initiale faible de manière flexible

Les entreprises trouvent d'autres applications à forte valeur ajoutée pour l'énergie excédentaire au cours des premières années d'exploitation des mini-réseaux afin de maximiser leurs revenus. Au cours des premières années d'exploitation des mini-réseaux, la capacité disponible est nettement supérieure à l'utilisation. Dans ce contexte, l'électricité inutilisée du mini-réseau peut être achetée par un acheteur de dernier recours, ce qui génère des revenus supplémentaires pour le développeur et fait baisser les tarifs pour les autres utilisateurs. Un exemple de ce modèle commercial a été mis en place par Gridless, une entreprise basée au Kenya qui utilise l'électricité excédentaire des mini-réseaux renouvelables

⁷⁴ ESMAP. 2022. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Perspectives du marché et manuel à l'intention des décideurs.](#)

⁷⁵ ESMAP. 2023. [Accélérer l'utilisation productive de l'électricité.](#)

pour le minage de bitcoins, en co-localisant de petits centres de données bitcoin à côté de ces mini-réseaux.⁷⁶ Cette approche est cruciale aux premiers stades du développement des mini-réseaux, lorsque la demande des ménages peut être insuffisante pour rendre les projets de mini-réseaux viables sur le plan économique.

ENCADRÉ 2.13 Utilisation de l'électricité excédentaire pour le minage de crypto-monnaies : Sans réseau

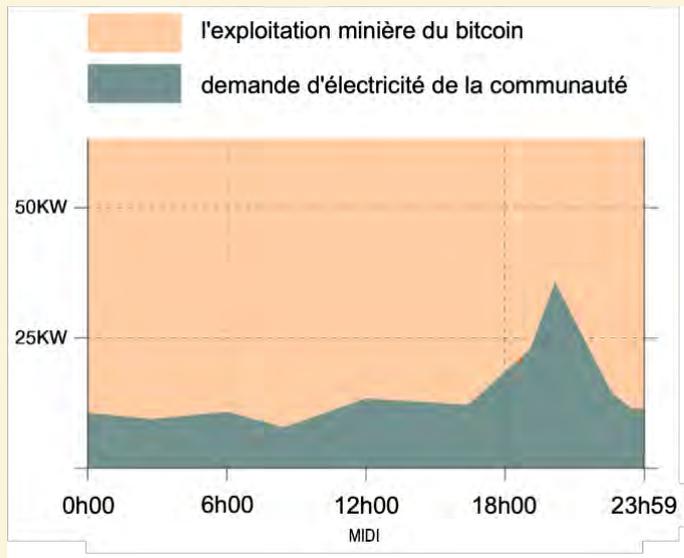
Gridless se concentre sur l'utilisation de l'énergie renouvelable des mini-réseaux pour le minage de bitcoins, en particulier en Afrique de l'Est. Grâce à des partenariats avec des sociétés d'énergie renouvelable, Gridless finance et gère l'exploitation de centres de données dans des zones rurales où les clients industriels ou commerciaux traditionnels ne sont pas disponibles. Le partenariat avec Gridless fournit aux opérateurs de mini-réseaux un flux de revenus stable, améliorant ainsi leur viabilité financière, en particulier au cours des premières années. Alors que la demande énergétique des communautés est instable, avec des pics entre 6 et 8 heures et entre 18 et 21 heures et une très faible consommation d'énergie pendant les autres heures de la journée, le minage de bitcoins peut contribuer à créer une demande régulière, comme le montre la FIGURE 2.14. Le nivellement de la demande en temps réel garantit que les besoins en énergie du minage de bitcoins sont activés et désactivés en quelques secondes.

En créant une demande et des revenus prévisibles, le modèle commercial Gridless fonctionne de la même manière qu'une charge d'ancrage. Toutefois, contrairement aux clients d'ancrage du modèle de fourniture d'énergie, qui sont difficiles à servir en raison de leur pouvoir de négociation et de leurs exigences rigides en matière de service, le modèle Gridless offre une certaine souplesse quant à la quantité d'électricité consommée et au moment où elle l'est. Le nivellement automatisé de la demande en temps réel permet d'augmenter ou de réduire la consommation en quelques secondes par rapport à l'offre du mini-réseau. Ainsi, les centres de données bitcoin fonctionnent également comme un équilibreur de réseau de dernier recours, fournissant des services auxiliaires de réponse à la demande pour maintenir le mini-réseau toujours stable⁷⁷. Au fur et à mesure que la demande de la communauté augmente, Gridless peut réduire son activité de minage ou la supprimer complètement.⁷⁸

⁷⁶ Sans grille

⁷⁷ Alliance minière de l'Afrique verte. 2023. [Énergie et Bitcoin en Afrique](#).

⁷⁸ Cryptographie africaine. 2022. [Le minage de bitcoins permet aux régions rurales du Kenya de bénéficier d'une énergie renouvelable bon marché sans réseau](#).

FIGURE 2.14 Modèle sans grille

Outre le minage de bitcoins, l'électricité des mini-réseaux est utilisée à diverses fins communautaires, telles que l'entreposage frigorifique pour les agriculteurs locaux, les stations de recharge pour les motos électriques et les points WiFi publics. Ainsi, le modèle ne soutient pas seulement la durabilité des projets de mini-réseaux, mais contribue également à un développement rural plus large.

Source : Alliance minière de l'Afrique verte. 2023. [L'énergie et le bitcoin en Afrique](#).

Les réseaux maillés, un moyen rentable de connecter les communautés dispersées

Les réseaux maillés sont de plus en plus considérés comme une solution efficace pour électrifier les zones à faible densité de population. Contrairement aux mini-réseaux, qui nécessitent des zones densément peuplées, les réseaux maillés relient les maisons voisines entre elles pour partager l'électricité, ce qui leur permet de mettre en commun leur consommation. En raison de la faible distance entre les maisons, le réseau de distribution est à basse tension, ce qui permet une installation moins coûteuse que celle d'un mini-réseau. Les coûts de distribution sont inférieurs d'environ 75 % à ceux des mini-réseaux⁷⁹. En outre, le déploiement est plus rapide car il n'est pas nécessaire d'acquérir des terrains ; il suffit d'un accord direct avec le ménage. Avec cette solution, il n'est pas nécessaire de concevoir dès le départ un mini-réseau complet avec des lignes de distribution desservant tous les ménages et toutes les entreprises ; au lieu de cela, les liens du réseau se développent organiquement⁸⁰. Les réseaux maillés ont été déployés avec succès en Haïti par le développeur Alina Enèji, en partenariat avec Okra Solar et avec le soutien du GEAPP, avec plus de 900 connexions réalisées et un objectif de 5 000 d'ici août 2024.⁸¹

⁷⁹ Okra Solar

⁸⁰ GET.Invest. n.d. [Une avancée en matière de partage de l'énergie pour les communautés hors réseau - GET.invest](#).

⁸¹ GEAPP. n.d. [Rural Electrification : Les réseaux maillés changent-ils la donne ?](#)

ENCADRÉ 2.14 Mini- réseaux maillés d'Okra Solar

Okra Solar a déployé des réseaux maillés en Asie du Sud-Est où, en 2021, elle avait créé des réseaux maillés pour plus de 400 ménages. Elle s'est récemment implantée au Nigeria. Le réseau maillé est coordonné par l'Okra Pod, un dispositif qui permet aux systèmes d'énergie solaire individuels des ménages de partager l'énergie via des câbles de transmission à basse tension. Le pod est l'élément constitutif de chaque réseau maillé, garantissant une redistribution optimale de l'énergie entre les foyers voisins. Plus précisément, les algorithmes de contrôle de l'énergie intégrés au module Okra prélèvent l'énergie excédentaire de chaque système et la redistribuent aux charges voisines, maximisant ainsi l'efficacité du réseau et la santé de la batterie. Les modules sont **regroupés avec des kits de réseau maillé standardisés** composés de panneaux solaires, d'onduleurs et de batteries, formant ainsi une **solution modulaire et évolutive dont la capacité de réseau peut être augmentée en fonction de la croissance de la demande**. Le coût d'Okra Solar par connexion pour le réseau maillé est de 550 USD.

L'entreprise a récemment lancé un chargeur de mini-réseau à réseau maillé, qui permet aux développeurs d'installer le mini-réseau là où il y a une grande charge d'ancrage et d'exploiter des réseaux maillés à faible coût pour le réseau résidentiel. L'énergie excédentaire générée par le mini-réseau est injectée dans le réseau maillé.⁸²

Sources : GET.invest. n.d : GET.invest. n.d. [A power-sharing breakthrough for off-grid communities](#) et [Okra Solar](#).

Des chaînes de valeur intégrées verticalement pour tirer parti des synergies

Afin d'optimiser les coûts et de tirer parti des synergies, les entreprises de mini-réseaux forment des partenariats et opèrent au sein d'une chaîne de valeur verticalement intégrée. L'intégration des différentes étapes de la chaîne de valeur, telles que la conception technique et la construction, la vente et le service, ainsi que l'exploitation et la maintenance, permet de réaliser des économies d'échelle et d'augmenter les marges bénéficiaires. En outre, les entreprises de mini-réseaux peuvent mieux contrôler la qualité des composants et des services à chaque étape de la chaîne de valeur, ce qui permet souvent d'améliorer la satisfaction et la confiance des clients. L'intégration favorise également l'innovation en facilitant la collaboration et la communication entre les différents services. Engie Energy Access est un exemple d'entreprise opérant au sein d'une chaîne de valeur verticalement intégrée afin de s'adapter rapidement aux tendances du marché et aux avancées technologiques, et de conserver ainsi un avantage concurrentiel. En couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur des mini-réseaux, depuis les appels d'offres et le financement jusqu'aux ventes et à l'exploitation et à la maintenance, Engie Energy Access dispose d'une plus grande influence sur les fournisseurs et peut réduire les coûts.⁸³

Le modèle coopératif comme solution potentielle pour les zones "peu attrayantes" pour les investisseurs privés

Le modèle coopératif est souvent accueilli avec scepticisme par les fonctionnaires et les institutions de prêt, même si les coopératives ont réussi à électrifier les populations rurales aux États-Unis, aux Philippines, au Bangladesh et en Amérique latine. La Cooperativa Rural de

⁸² SEforALL. 2021. [Okra Solar : Démarrer rapidement, commencer à petite échelle et se développer au fil du temps](#).

⁸³ Accès à l'énergie d'Engie. 2023. [Examen des performances et de l'impact](#).

Electrificaci3n de Bolivie, par exemple, est la plus grande coop3rative d'3lectricit3 au monde, avec plus de 800 000 membres.⁸⁴ Le Bangladesh offre un excellent exemple de coop3ratives facilitant l'3lectrification rurale, avec 80 coop3ratives ou PBS (*Palli Bidyut Samity*) desservant plus de 100 millions de personnes 3 travers le pays.⁸⁵ Le Pakistan a 3galement suivi le mod3le communautaire pour le d3veloppement des mini-r3seaux, selon lequel les mini-r3seaux sont exploit3s et g3r3s par les membres de la communaut3. Plus pr3cis3ment, la responsabilit3 de l'exploitation et de la gestion incombe 3 des comit3s compos3s de membres issus des communaut3s locales. Les techniciens sont s3lectionn3s au sein de la communaut3 locale et pay3s gr3ce au tarif per3u aupr3s des consommateurs.⁸⁶ Ce mod3le est difficile 3 mettre en 3uvre car il n3cessite beaucoup de temps et de ressources consacr3es 3 l'assistance technique,⁸⁷ ainsi qu'un certain nombre de caract3ristiques de la communaut3, telles que la coh3sion sociale, l'existence de dirigeants de confiance et l'activit3 3conomique. Cependant, un nombre croissant de pays tirent parti du mod3le communautaire, notamment le Liberia, l'Ouganda et la Zambie,⁸⁸ ce qui prouve son potentiel pour servir les clients ruraux.

Tendances en mati3re de financement

Le financement public est limit3 et ne peut r3pondre aux besoins de financement requis pour que le secteur des mini-r3seaux atteigne son plein potentiel dans le cadre du programme d'3lectrification universelle. C'est pourquoi les gouvernements et les institutions financi3res internationales ont concentr3 leurs efforts sur l'attraction de capitaux priv3s en cr3ant un environnement favorable et en r3duisant les risques associ3s aux investissements dans les mini-r3seaux afin d'accro4tre leur bancabilit3. Cela implique de mettre en 3uvre des politiques de soutien, d'offrir des incitations financi3res et de fournir des garanties pour att3nuer les risques d'investissement. Ces mesures visent 3 mobiliser des ressources et des comp3tences suppl3mentaires, 3 acc3l3rer le d3ploiement et l'extension des mini-r3seaux dans les zones isol3es et mal desservies, et 3 contribuer ainsi de mani3re significative 3 l'objectif d'3lectrification universelle.

Le financement du secteur des mini-r3seaux reste substantiel, mais le d3ficit de financement est encore important

Au cours des 15 derni3res ann3es, le financement du secteur a connu une augmentation substantielle, l'Afrique subsaharienne restant le principal b3n3ficiaire des fonds provenant d'investisseurs priv3s, de gouvernements et de partenaires de d3veloppement. Deux tendances peuvent 4tre identifi3es dans le financement du secteur des mini-r3seaux. La premi3re est l'augmentation significative du financement total engag3, les principaux partenaires de d3veloppement augmentant rapidement le financement disponible

⁸⁴ NRECA International. 2023. [L'histoire de la CRE : Le pouvoir de la pers3v3rance.](#)

⁸⁵ NRECA International. 2018. [Bangladesh : Le secret de la r3ussite.](#)

⁸⁶ SAARC. 2021. [Minigrids et acc3s 3 l'3lectricit3 dans l'ASACR.](#)

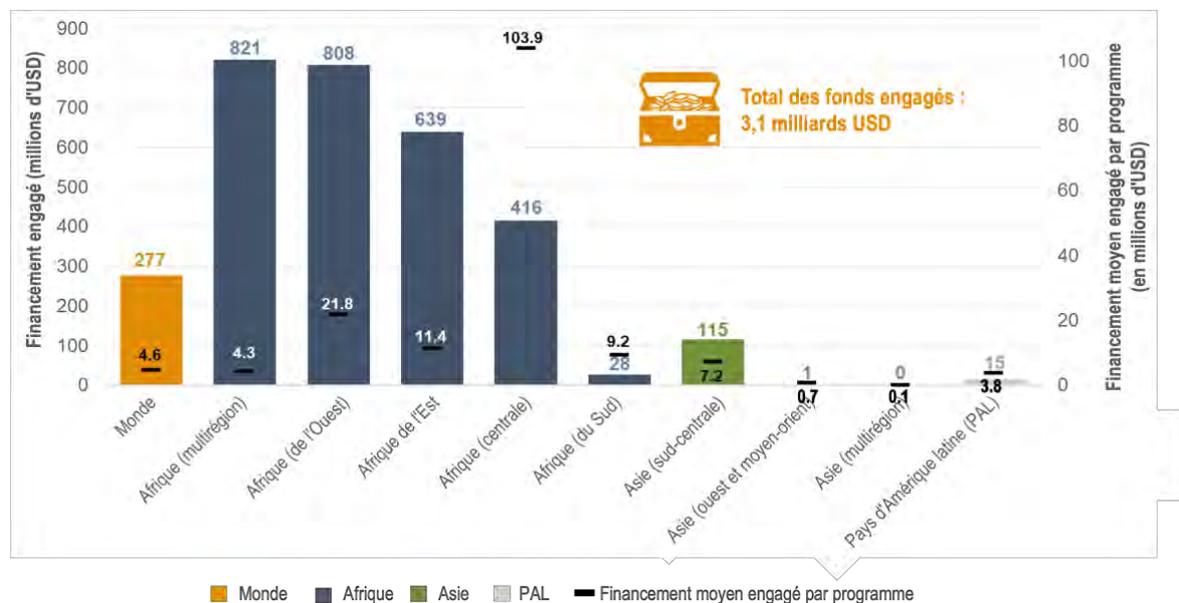
⁸⁷ Entretien du consultant avec la NRECA.

⁸⁸ NRECA International. 2023. [Les coop3ratives 3lectriques se d3veloppent en Afrique.](#)

pour les programmes, passant de millions de dollars américains dans les années 2000⁸⁹ à plus de 2,5 milliards de dollars américains en 2023. La deuxième tendance est la participation croissante des investisseurs privés. Selon les données de l'ESMAP, le financement de⁹⁰ par des investisseurs privés a été multiplié par six en sept ans, passant de moins de 100 millions d'USD en 2015 à près de 600 millions d'USD en 2022.

D'après les données disponibles, le total des fonds engagés pour les programmes en cours, s'élève à plus de 3,1 milliards d'USD, comme le montre les figures FIGURE 2.15 et FIGURE 2.16, répartis sur 377 programmes. Plus de 2,7 milliards d'USD des fonds engagés sont destinés aux pays africains, 820 millions d'USD étant engagés dans des programmes multirégionaux sur l'ensemble du continent et 277 millions d'USD finançant des programmes transcontinentaux.

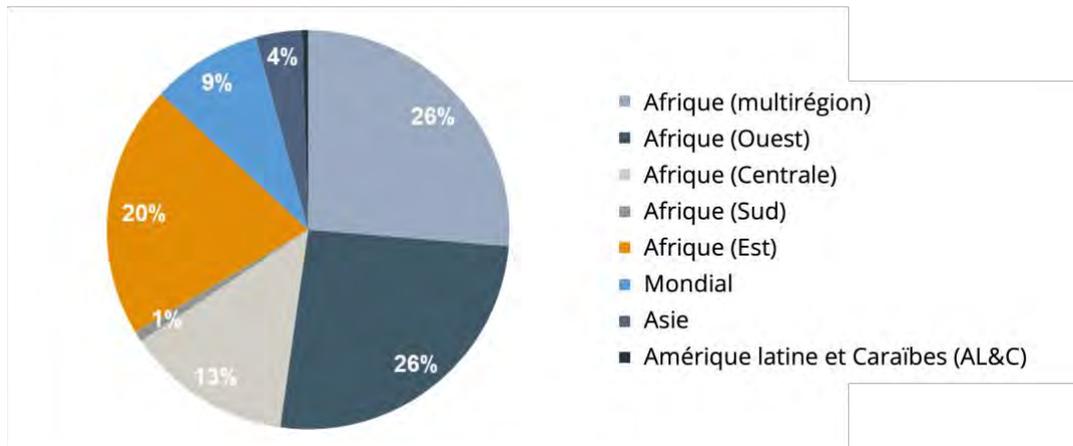
FIGURE 2.15 Total des fonds engagés dans les programmes en cours par région



Source : Analyse de la CEA basée sur la base de données du FGM et sur des données supplémentaires fournies par la Banque mondiale.

⁸⁹ ESMAP. 2022. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Perspectives du marché et manuel à l'intention des décideurs.](#)

⁹⁰ ESMAP. 2022. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Perspectives du marché et manuel à l'intention des décideurs.](#)

FIGURE 2.16 Total des fonds engagés pour les programmes en cours par région

Source : Analyse de la CEA basée sur la base de données du FGM et sur des données supplémentaires fournies par la Banque mondiale.

Le secteur des mini-réseaux montre des signes de croissance

Le marché des mini-réseaux a commencé à attirer l'attention d'investisseurs à l'esprit commercial. Comme indiqué plus haut, les capitaux publics disponibles pour répondre aux besoins de financement du secteur sont actuellement limités. La rareté des projets susceptibles d'être financés limite les investissements privés dans le secteur. Toutefois, plus récemment, des financiers privés tels que Stoa⁹¹ et Triodos Investment Management⁹² ont recherché activement des opportunités d'investissement sur le marché des mini-réseaux, ce qui témoigne d'un intérêt croissant de la part d'une série d'investisseurs, notamment des sociétés de capital-risque, des sociétés de capital-investissement et des institutions de financement du développement. Cette évolution témoigne d'une reconnaissance plus large du rôle que les mini-réseaux peuvent jouer dans les objectifs mondiaux d'accès à l'énergie et de durabilité, et offre de nouvelles possibilités de croissance et d'impact dans le secteur de l'énergie. Dans ce contexte, les investisseurs d'impact dans le secteur des mini-réseaux reconnaissent également de plus en plus la nécessité d'être prêts à prendre plus de risques.

Au cours de la dernière décennie, on a assisté à un glissement du capital-risque vers le financement de projets d'infrastructure. L'attention croissante portée au développement durable, en particulier à l'accès à l'énergie, a mis en avant le rôle des mini-réseaux comme solution viable pour l'électrification des communautés rurales et isolées. Cette reconnaissance a rendu les mini-réseaux attrayants pour un plus grand nombre d'investisseurs, en particulier ceux qui recherchent des rendements stables et à long terme associés à des projets d'infrastructure. Si le financement du secteur reste un obstacle important, de nouvelles sources de capital et de nouvelles approches de financement sont apparues, reconnaissant les mini-réseaux comme des infrastructures essentielles plutôt que comme de simples entreprises

⁹¹ STOA. 2023. [STOA, DFC et Proparco rejoignent FMO et d'autres investisseurs existants dans une prise de participation de 43 millions d'USD dans Husk Power Systems, leader des mini-réseaux, afin d'améliorer l'accès à l'énergie dans les zones rurales d'Afrique subsaharienne et d'Inde.](#)

⁹² PV Magazine. 2023. [Les miniréseaux se rapprochent de la rentabilité.](#)

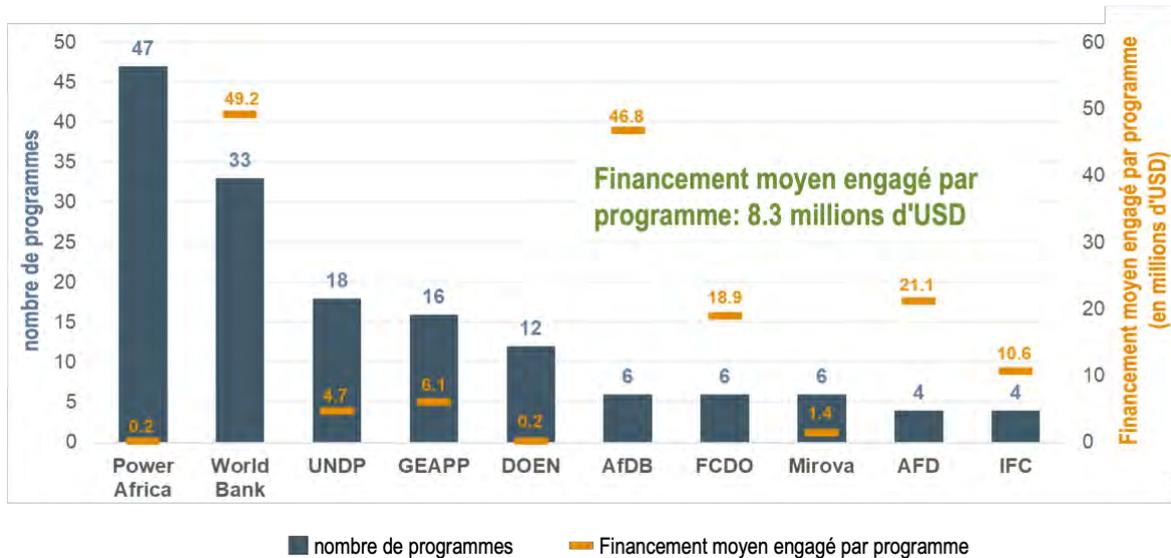
commerciales. Le passage du capital-risque au financement de projets d'infrastructure permet des horizons d'investissement plus longs avec des périodes de remboursement prolongées et des attentes de rendement plus faibles qui s'alignent sur les cycles de vie des projets de mini-réseaux. Ces projets sont conçus pour apporter un bénéfice sociétal à long terme, ce qui correspond à la nature des mini-réseaux qui visent à fournir un accès durable et fiable à l'électricité, en particulier dans les zones rurales et mal desservies. Cependant, le capital-risque, avec son appétit pour les risques et les rendements plus élevés, reste une source de financement pour des domaines tels que les plateformes technologiques, la recherche et le développement, et les modèles d'entreprise innovants au sein du secteur.

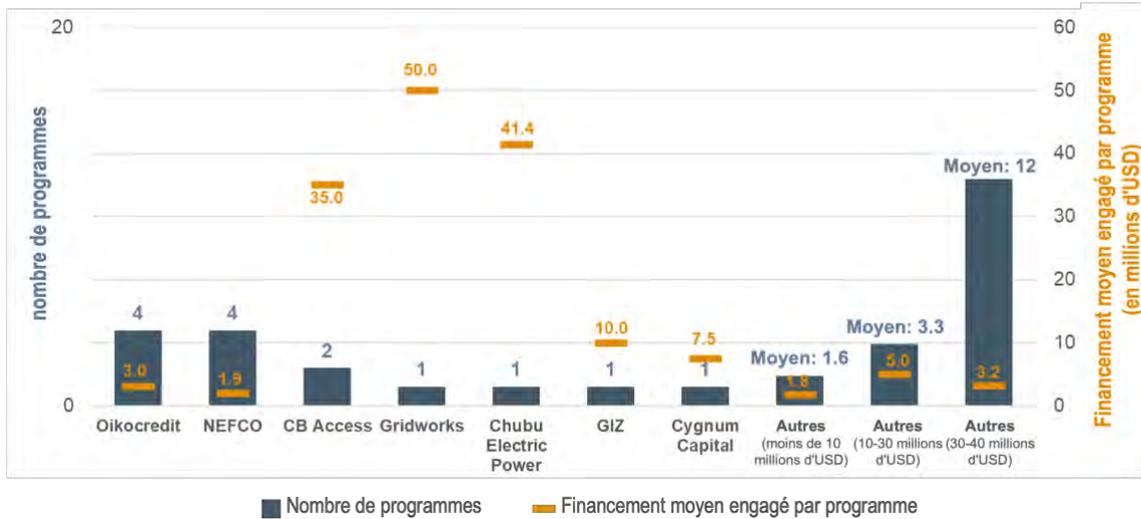
Les bailleurs de fonds ont engagé de manière ambitieuse davantage de capitaux pour soutenir la mise à l'échelle

Les bailleurs de fonds ont reconnu l'importance des mini-réseaux dans la pratique en engageant des sommes importantes dans de nombreux programmes de mini-réseaux.

FIGURE 2.17 montre que Power Africa, la Banque mondiale, le PNUD et le GEAPP revendiquent le plus grand nombre de programmes de mini-réseaux. D'après les données reçues, une moyenne de 8,3 millions USD est engagée par programme.

FIGURE 2.17 Nombre de programmes par financeur et financement moyen engagé par programme



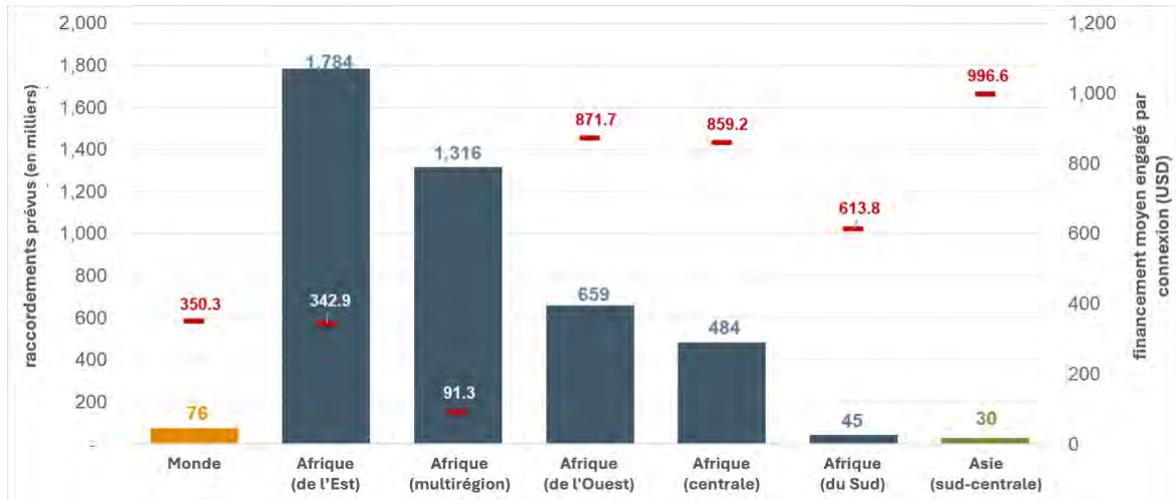


Note : La catégorie "Autres" englobe les bailleurs de fonds figurant dans une base de données fournie par la Banque mondiale, ventilés en fonction du total des fonds engagés.

Sources : Analyse de la CEA basée sur la base de données Mini-Grid Funders fournie par Carbon Trust et les données fournies par la Banque mondiale.

L'ambition des bailleurs de fonds en termes de financement engagé dans les programmes de mini-réseaux se traduit également par un grand nombre de connexions totales de mini-réseaux planifiées. Sur la base des projets pour lesquels des données sur les connexions ont été fournies, le nombre total de connexions prévues est de 4,4 million, la Banque mondiale représentant 64 % de ces connexions, suivie par la BAD avec 28 %. Les projets ciblant l'Afrique de l'Est sont ceux qui prévoient le plus de connexions, avec un total d'environ 1,7 million, comme le montre la FIGURE 2.18. Les projets ciblant des pays de différentes régions d'Afrique (désignés comme multirégionaux dans le graphique ci-dessous) suivent, avec 1,3 million de connexions planifiées. Sur la base des mêmes projets pour lesquels des données ont été obtenues, le niveau moyen de financement engagé par connexion est de 411 USD, le niveau de financement le plus élevé par connexion étant engagé par les projets ciblant l'Asie du Sud et du Centre (996 USD), suivis par les projets ciblant l'Afrique de l'Ouest et l'Afrique centrale (872 USD et 860 USD respectivement).

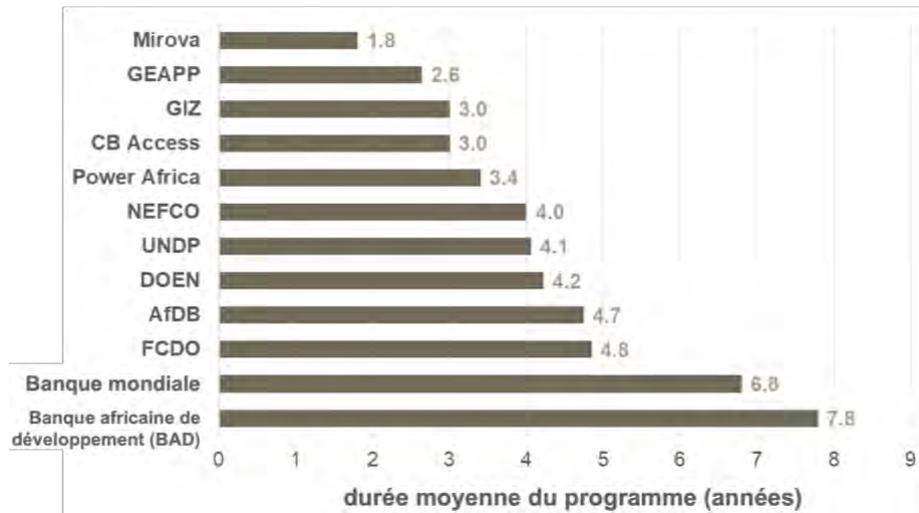
FIGURE 2.18 Financement moyen engagé par connexion planifiée et nombre total de connexions planifiées pour les programmes sélectionnés



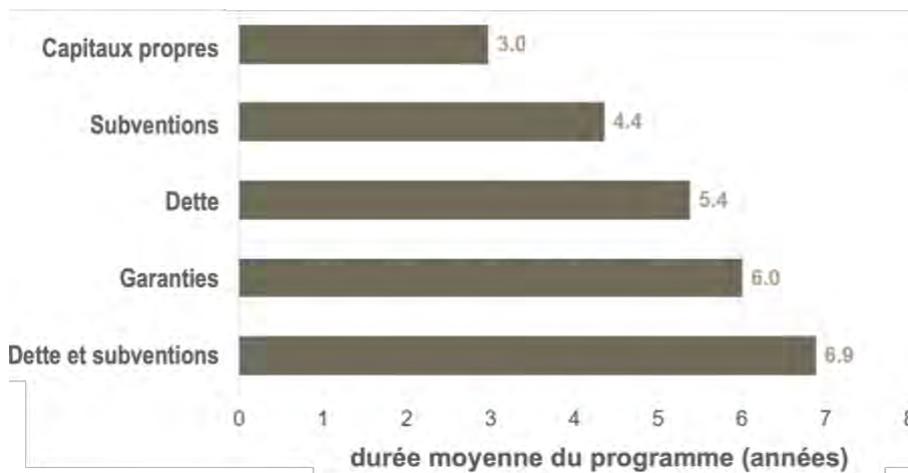
Note : Les catégories "Global" et "Multiregion" ne représentent pas des moyennes, mais plutôt des programmes ciblant les mini-réseaux dans le monde entier ou dans les régions d'un même continent, respectivement.

Sources : Analyse de la CEA basée sur la base de données MGF fournie par Carbon Trust ; Analyse de la CEA basée sur la base de données MGF fournie par Carbon Trust et les données fournies par la Banque mondiale.

La durée des programmes de mini-réseaux varie considérablement d'un bailleur de fonds à l'autre et d'un type de financement à l'autre. Elle va d'environ deux ans pour Mirova à environ huit ans pour l'AFD. Les bailleurs de fonds qui ont lancé les programmes les plus longs, à savoir l'AFD, la Banque mondiale, le Foreign, Commonwealth and Development Office (FCDO) et la BAD, sont présentés dans la Figure 2.19. Les bailleurs de fonds qui ont lancé des programmes de plus longue durée, à savoir l'AFD, la Banque mondiale, le Foreign, Commonwealth and Development Office (FCDO) et la BAD, comme le montre le graphique 2.19, fournissent également une assistance technique pour la majorité de leurs programmes (analysée plus loin dans la section). Les programmes qui incluent une assistance technique ont une durée moyenne de 5,4 ans, contre moins de quatre ans pour les programmes qui ne bénéficient pas d'une assistance technique. De même, les programmes financés par des fonds propres, qui peuvent impliquer un risque plus élevé mais une mise en œuvre plus rapide, ont tendance à avoir des durées plus courtes, par rapport à des structures financières plus complexes ou moins enclines à prendre des risques (Figure 2.20).

FIGURE 2.19 Durée moyenne des programmes par financeur

Source : analyse de la CCE basée sur la base de données MGF fournie par Carbon Trust : Analyse de la CCE basée sur la base de données MGF fournie par Carbon Trust.

FIGURE 2.20 Durée moyenne des programmes par principal instrument de financement

Source : Analyse de la CCE basée sur la base de données du MGF : Analyse de la CEA basée sur la base de données du FGM.

Des mécanismes innovants sont en cours d'élaboration pour réduire les risques liés aux investissements dans les mini-réseaux.

L'un des principaux défis du marché des mini-réseaux est le niveau élevé de risque perçu, en particulier en ce qui concerne la demande. Contrairement aux services publics conventionnels ou aux producteurs d'électricité indépendants, qui s'appuient souvent sur des contrats d'achat d'électricité à long terme pour obtenir des flux de trésorerie stables, les mini-réseaux sont confrontés à un risque plus élevé de fluctuation de la demande. Ce risque est exacerbé par la nécessité pour les opérateurs de mini-réseaux de stimuler la demande afin d'assurer la pleine utilisation de leur infrastructure, un facteur critique pour la bancabilité et la durabilité de ces projets. En outre, les problèmes de financement sont accentués par les

fluctuations monétaires, car la plupart des financements sont disponibles en devises fortes telles que le dollar américain ou l'euro, alors que les revenus des mini-réseaux sont perçus en devises locales.

Le recours au financement mixte, tant au niveau des projets que des fonds, a été crucial pour combler le fossé entre le besoin de solutions énergétiques durables et la viabilité financière de ces projets. Ce modèle combine différentes formes de financement, telles que les subventions ou l'assistance technique des agences de développement, les prises de participation des investisseurs d'impact, les garanties et la dette, afin d'atténuer les risques et d'améliorer les rendements financiers des projets de mini-réseaux. Cette approche attire non seulement des investisseurs commerciaux à la recherche de rendements au taux du marché, mais aussi des investisseurs d'impact qui se concentrent sur les résultats sociaux et environnementaux de leurs investissements. Alors que la disponibilité du financement par l'emprunt pour les projets de mini-réseaux reste relativement faible, en particulier en Afrique, le financement mixte facilite la mobilisation d'un plus grand nombre de financements par l'emprunt. La combinaison de ces sources de capitaux garantit que les projets n'ont pas seulement un impact, mais qu'ils sont également viables sur le plan commercial, ce qui permet de résoudre les problèmes de durabilité souvent observés dans les projets financés uniquement par des bailleurs de fonds. Les modèles de financement mixte peuvent être particulièrement innovants, combinant des subventions, des emprunts pour la construction et un financement basé sur les résultats (RBF). Au Bangladesh, par exemple, Infrastructure Development Company Limited (IDCOL) fournit des financements dans le cadre d'une structure fixe, qui comprend 50 % de subventions, 30 % de prêts concessionnels et 20 % de fonds propres⁹³. Ce modèle s'est avéré efficace pour mobiliser des fonds publics et privés pour le développement du marché des mini-réseaux.

Les modèles de financement mixte répondent également à la demande croissante du secteur pour des guichets uniques de financement. Compte tenu du besoin urgent de rapidité dans le secteur, les développeurs de mini-réseaux et les financiers reconnaissent le rôle clé que peuvent jouer les plateformes de financement couvrant une variété d'instruments. Par exemple, CEI Africa, une facilité de financement incorporée par KfW au nom du ministère fédéral allemand de la coopération économique et du développement (BMZ), fournit une approche de financement à guichet unique en offrant une combinaison de dettes, de capitaux propres et de subventions pour soutenir l'accès à l'électricité⁹⁴. Le préfinancement partiel des subventions est lié aux commandes d'équipement afin d'aider les entreprises au stade de la préconstruction, suivi par des subventions RBF pour les nouvelles connexions, des subventions basées sur les résultats pour la mise en œuvre du PUE sur les mini-réseaux opérationnels, et des dettes de premier et de second rang, ainsi que de petites tranches de capitaux propres offertes en collaboration avec des prêteurs de masse, couplées à une assistance technique.

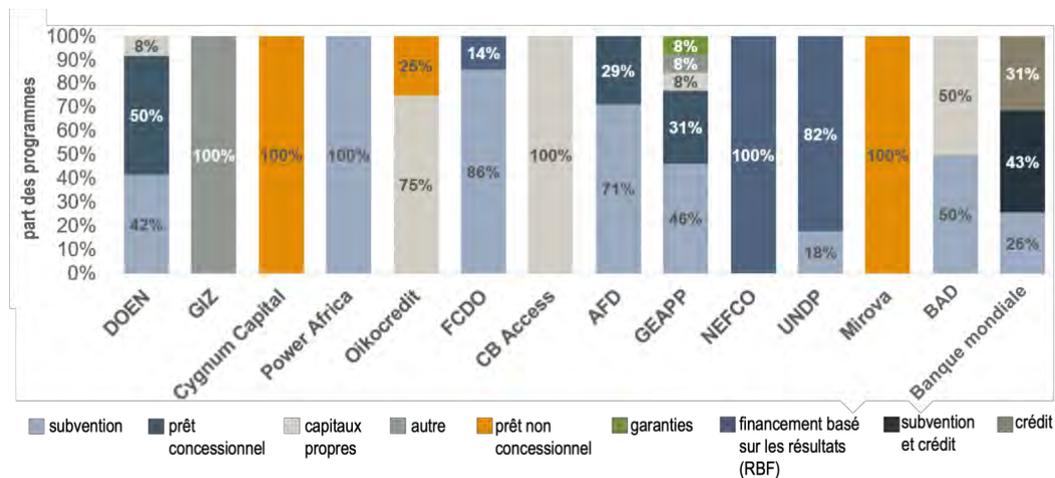
Malgré l'importance de tirer parti d'un menu d'instruments de financement par le biais de guichets uniques qui peuvent facilement s'adapter aux besoins du développement de mini-réseaux dans différents contextes, environ 40% des bailleurs de fonds du groupe MGF

⁹³ IDCOL

⁹⁴ Informations fournies par GreenMax Capital Advisors.

n'utilisent qu'un seul instrument dans leurs programmes de mini-réseaux, comme le montre la Figure 2.21 ci-dessous.

FIGURE 2.21 Instruments de financement utilisés par bailleur de fonds (part des programmes)

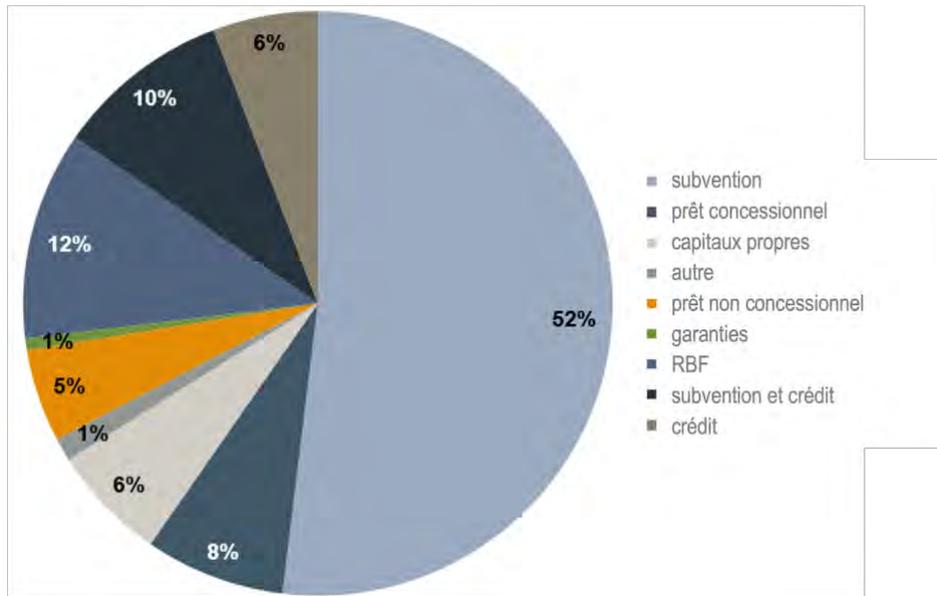


Note : La ventilation illustre l'allocation finale du financement fourni par le groupe MGF, indépendamment des canaux spécifiques par lesquels les fonds ont été déboursés.

Source : Analyse de la CCE basée sur la base de données du FGM fournie par Carbon Trust : Analyse de la CCE basée sur la base de données du FGM fournie par Carbon Trust.

Redéfinir les instruments de financement pour remédier aux inefficacités en matière de décaissement

Les programmes de financement public, tels que les subventions et les mécanismes de financement à long terme, jouent un rôle essentiel pour combler le déficit de viabilité dans les zones difficiles d'accès où le développement de mini-réseaux peut ne pas être rentable dans l'immédiat. Les subventions et les FRB restent les principales modalités de financement des mini-réseaux, comme le montre la Figure 2.22, représentant l'instrument de financement principal pour 52 % et 12 % des programmes menés par le groupe MGF respectivement. Une combinaison de subventions et de crédits est utilisée dans 10 % des programmes, tandis que les autres instruments sont moins fréquemment utilisés, les garanties étant l'instrument de financement le moins utilisé.

FIGURE 2.22 Part des programmes de mini-réseaux par principal instrument de financement

Source : Analyse de la CCE basée sur la base de données MGF fournie par Carbon Trust : Analyse de la CCE basée sur la base de données MGF fournie par Carbon Trust.

Cependant, les programmes de subvention s'accompagnent souvent de leur propre lot de défis. Leurs exigences peuvent être restrictives, les développeurs se retrouvant dans un cycle constant de collecte de fonds pour atteindre les niveaux de capitaux propres requis pour participer. Ils sont généralement limités dans le temps, ce qui ajoute un niveau de complexité supplémentaire, car les projets de mini-réseaux prennent plus de temps à développer en raison de la nécessité d'un travail préparatoire important avant la construction, y compris les négociations avec l'autorité de régulation. Les conditions strictes imposées par ces programmes peuvent involontairement créer des obstacles pour les développeurs, compliquant ainsi le chemin vers l'électrification des zones qui en ont le plus besoin. Ce scénario souligne le besoin urgent de structures de financement plus souples et plus favorables, capables de relever les défis uniques du développement des mini-réseaux, en particulier dans les régions isolées et mal desservies.

Certains bailleurs de fonds ont reconnu la nécessité de rationaliser leurs processus afin de déboursier les ressources plus efficacement pour les développeurs de projets. Cette tendance naissante est essentielle pour permettre aux développeurs d'accéder au financement initial nécessaire, ce qui leur permet ensuite de rechercher des financements supplémentaires pour l'expansion et la durabilité des projets. Le programme nigérian de mini-réseaux, mis en œuvre par l'agence nigériane d'électrification rurale avec le soutien de la Banque mondiale, est un excellent exemple de cette approche rationalisée. Le modèle RBF simplifie le processus de demande de subvention et de décaissement, réduisant ainsi les charges administratives et accélérant le déploiement des fonds vers les développeurs. Cette rationalisation permet non seulement d'accélérer le rythme de développement des projets, mais aussi d'établir une base de stabilité financière, ce qui permet aux promoteurs de se concentrer sur l'extension de leurs projets et sur l'exploration d'autres voies de financement. Pour rationaliser les processus du FRB, il faut également s'attaquer au problème du "stop-and-go" auquel sont confrontés les promoteurs en raison des délais stricts des guichets du FRB. Le dispositif (Facilité) universelle

pour l'énergie (FUE), présenté dans l'encadré 2.15, est un exemple de ce type de mécanisme. Ce mécanisme a été créé pour résoudre ce problème en consolidant les différentes sources de FRB en un seul grand instrument inter-financeurs afin d'assurer la continuité du financement⁹⁵. Une plus grande harmonisation de la diligence raisonnable des différents programmes serait également bénéfique. Des normes harmonisées pourraient alléger la charge administrative des promoteurs et garantir des flux de financement plus fluides et plus cohérents.

ENCADRÉ 2.15 Mécanisme de l'énergie universelle

La Facilité (dispositive) universelle pour l'énergie (UEF) est une facilité RBF multi-donateurs mise en place pour accélérer de manière significative l'accès à l'énergie en Afrique subsaharienne en fournissant des paiements incitatifs aux organisations éligibles qui déploient des solutions énergétiques, y compris des mini-réseaux, et qui fournissent des connexions électriques vérifiées à l'utilisateur final sur la base de normes prédéterminées.

L'UEF a été créée par SEforALL en collaboration avec plusieurs donateurs et partenaires, dont la Fondation Shell, la Fondation Rockefeller, la Fondation IKEA, Power Africa, Good Energies, UK FCDO, Carbon Trust, BMZ, GIZ et AMDA, en réponse à la demande croissante du secteur pour les FRB. Plus de 13 promoteurs privés de mini-réseaux soutiennent le mécanisme.

L'UEF verse des subventions aux projets de mini-réseaux approuvés selon une incitation basée sur les résultats de 592 USD par connexion électrique, quel que soit le pays dans lequel le mini-réseau est exploité.

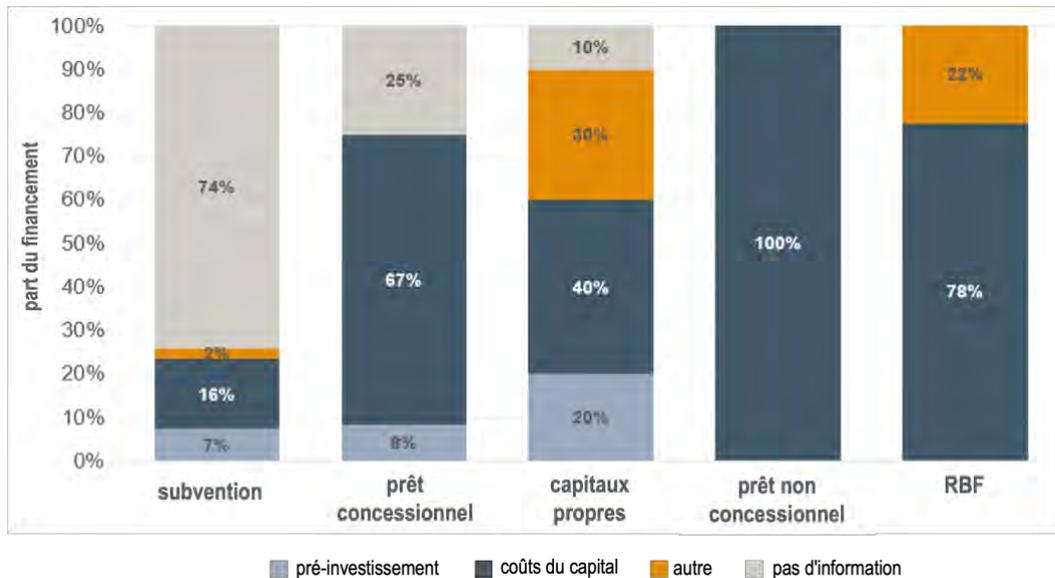
La subvention est versée une fois que le responsable du programme de l'UEF a vérifié les déploiements et les connexions. Le processus de vérification se fait à la fois à distance et physiquement, par le biais de visites de vérification effectuées par des agents de vérification indépendants. En outre, les bénéficiaires sont tenus de respecter les normes de qualité et de service de l'UEF.

Source : SEforAll : SEforAll. n.d. [Universal Energy Facility](#).

Il existe un besoin reconnu de structures de FRB plus flexibles pour répondre aux différents besoins et étapes des projets de mini-réseaux, comme le souligne l'encadré suivant (ENCADRÉ 2.16). Le FRB entre généralement en jeu assez tard dans la phase de mise en œuvre ; La figure 2.23 montre que la majorité des financements du FRB (ainsi que la majorité des prêts concessionnels et non concessionnels) sont destinés à couvrir les coûts d'investissement du développement des mini-réseaux.

⁹⁵ D'après l'entretien du consultant avec le GEAPP.

FIGURE 2.23 Part du financement par stade de développement des mini-réseaux et par principal instrument de financement



Source : Analyse de la CCE basée sur la base de données MGF fournie par Carbon Trust : Analyse de la CCE basée sur la base de données MGF fournie par Carbon Trust.

ENCADRÉ 2.16 Intégrer la flexibilité dans les programmes du FRB

La dynamique du marché des mini-réseaux est spécifique à chaque site, ce qui rend nécessaire l'adaptation des contrats RBF, notamment en ce qui concerne les structures d'incitation, les délais de livraison et la capacité du système. Dans ce contexte, les développeurs de projets soulignent l'importance de la "flexibilité intégrée" de la FRB comme facteur clé de son succès.

L'importance de la gestion adaptative est également soulignée par Energising Development (EnDev), le programme mondial d'accès à l'énergie, pour la mise en œuvre d'un projet de FRB visant à développer le marché. Un suivi permanent du marché, notamment des produits disponibles, des acteurs clés et de l'environnement favorable, ainsi qu'une interaction régulière avec les parties prenantes concernées, sont des conditions préalables à la mise en place d'un FRB qui adapte sa stratégie en fonction des dernières évolutions du marché.

La plupart des projets FRB d'EnDev adaptent leurs approches initiales au fil du temps sur la base de l'expérience acquise, en particulier la structure des incitations et les procédures de vérification, ou pour faire face à des changements majeurs dans l'environnement favorable.

Sources : Article d'opinion fourni par SEforALL ; et GIZ. 2021. [Transformer les marchés de l'accès à l'énergie grâce au financement basé sur les résultats](#)

Les promoteurs ont besoin d'un financement substantiel avant le développement, ce qui laisse un déficit de financement important dans les phases initiales des projets. Dans ce contexte, le FRB doit être restructuré de manière à ce qu'il puisse être déboursé avant le développement du projet. Une solution innovante consiste en un prêt à remboursement conditionnel, une approche dont CEI Africa a été le pionnier (voir ENCADRÉ 2.17). En outre, le Beyond the Grid Fund for Africa (BGFA), un mécanisme de financement pluriannuel opérant dans les pays d'Afrique subsaharienne, fonctionne grâce à une combinaison de mécanismes RBF innovants pour les entreprises énergétiques, une coopération étroite avec les

gouvernements et la collecte et l'analyse de données en temps réel. La BGFA vise à synchroniser la conception des fenêtres de financement avec les réalités du marché afin de créer un impact maximal par le biais du FRB. Une assistance technique est également fournie aux entreprises sélectionnées afin de s'assurer qu'elles peuvent atteindre leurs objectifs BGFA et développer durablement leurs activités sur les marchés cibles⁹⁶.

ENCADRÉ 2.17 Prêts bonifiés pour le préfinancement du FRB : CEI Africa

CEI Africa fonctionne comme un guichet unique pour les mini-réseaux verts, offrant une gamme d'instruments financiers sous un seul parapluie, soutenu par un processus intégré de diligence raisonnable. Les instruments financiers disponibles comprennent les subventions du FRB, les subventions basées sur les résultats, la dette junior et senior et les petites tranches de capitaux propres en partenariat avec les prêteurs participatifs (crowd lenders).

Un prêt à remboursement conditionnel est accordé en même temps que les subventions de la FRB. Pour les nouveaux raccordements financés par la FRB, la subvention peut couvrir jusqu'à 60 % des dépenses d'investissement, décaissées après vérification des nouveaux raccordements. Le prêt à remboursement différé peut être proposé jusqu'à 30 % du montant de la subvention approuvée, à un taux d'intérêt de 1 %. Lorsque 30 % des raccordements prévus par le contrat sont atteints, le principal et les intérêts du prêt à remboursement différé sont entièrement annulés. Si, après des prolongations accordées à la discrétion de CEI Africa, les développeurs ne parviennent pas à atteindre cette étape, le prêt-subvention est converti en un prêt à terme dont la durée et le taux d'intérêt sont négociés.

Le processus de diligence raisonnable applique un examen commercial rigoureux à chaque demandeur de subvention. La priorité est donnée aux entreprises réputées qui ont fait leurs preuves en matière de construction et d'exploitation de mini-réseaux et qui disposent de structures de financement sûres. Bien que le processus de diligence raisonnable réduise le risque que les projets ne respectent pas l'étape du prêt-subvention, il subsiste un risque de non-recouvrement du prêt en cas de non-conformité. CEI Africa est en mesure d'absorber ce risque en raison de sa dépendance à l'égard d'un capital de base entièrement financé par des subventions.

Source : Informations fournies par Greenmax capital.

Les bailleurs de fonds continuent d'explorer les garanties afin d'atténuer le risque de change.

Dans le contexte de la récente dépréciation des monnaies africaines et des pressions inflationnistes qui en résultent sur tout le continent, le financement en monnaie locale⁽⁹⁷⁾ a gagné en importance. Alors que la plupart des financements sont en devises fortes, les financements locaux sont essentiels sur les marchés où les taux de change sont volatils, car ils réduisent considérablement le risque de change qui décourage souvent les investisseurs. En permettant aux investissements d'être réalisés dans la monnaie locale, ces instruments financiers alignent les flux de revenus des projets de mini-réseaux sur leurs coûts de financement, atténuant ainsi le décalage qui résulte généralement des fluctuations des taux de change. Ce modèle s'avère particulièrement bénéfique dans des pays comme le Nigeria, où la volatilité des devises a été un obstacle majeur pour attirer les investissements étrangers dans les projets d'infrastructure, y compris les mini-réseaux. L'un des principaux fournisseurs de

⁹⁶ REEEP. n.d. [Beyond the Grid Fund for Africa](#).

⁹⁷ FMI. 2023. [Les monnaies africaines sont sous pression en raison des taux d'intérêt américains plus élevés pour longtemps](#).

garanties sur le marché est GuarantCo, la branche de garantie de crédit du Private Infrastructure Development Group, qui vise à mobiliser le financement du secteur privé en monnaie locale dans les infrastructures en Afrique et en Asie. La variété des garanties offertes, telles que les garanties de crédit partiel, d'extension de liquidité, de portefeuille et d'entrepreneur en ingénierie, approvisionnement et construction (EPC), peut être personnalisée pour répondre à des obstacles de financement spécifiques. La taille du ticket pour une transaction unique est assez importante, entre 5 et 50 millions d'USD ou le montant équivalent en monnaie locale, ce qui limite leur applicabilité au secteur des mini-réseaux.⁹⁸ De même, InfraCredit fournit des garanties pour améliorer la qualité de crédit des instruments de dette en monnaie locale. L'avantage supplémentaire qu'offre InfraCredit, outre des tickets plus petits, est le taux d'intérêt fixe⁹⁹, contrairement à la plupart des financements en monnaie locale, qui ne sont fournis qu'avec des taux d'intérêt flottants¹⁰⁰. Cet aspect est crucial dans le contexte de la dette en monnaie locale, car si le risque de change est atténué, les taux d'intérêt élevés rendent souvent ces instruments moins attrayants. Avec la garantie d'InfraCredit, Darway Coast a accédé pour la première fois aux marchés des capitaux de la dette nationale en 2022, levant avec succès 0,80 milliard NGN (~ 550 000 USD)¹⁰¹ par le biais d'une obligation à sept ans. Cette obligation est complétée par 800 millions NGN en capital de prêt concessionnaire subordonné à première perte du FCDO, visant à soutenir les mini-réseaux pour desservir les foyers et les entreprises hors réseau et mal desservis au Nigéria¹⁰².

En outre, la dépendance excessive à l'égard du financement en devises fortes ne permet pas l'expansion des marchés de capitaux locaux. Ainsi, les garanties qui offrent un rehaussement de crédit améliorant le profil de risque et la notation du crédit en monnaie locale peuvent servir de catalyseur pour accroître la participation des banques locales, des fonds de pension et des investisseurs institutionnels en offrant un financement en monnaie locale aux projets de mini-réseaux, pour lesquels des profils d'échéance plus longs sont une nécessité. Cela est essentiel pour combler le déficit d'investissement substantiel sur le marché du financement des infrastructures¹⁰³. Il est important de noter que le renforcement des capacités des financiers locaux est souvent nécessaire pour les aider à entrer dans ce secteur. L'expansion des marchés de capitaux locaux pourrait effectivement abaisser les barrières à l'entrée pour les petits promoteurs locaux qui ont plus de mal à obtenir des financements de sources internationales que les promoteurs internationaux.

Malgré l'importance accrue de l'atténuation du risque de change, la disponibilité des financements en monnaie locale reste limitée. En tant que Figure 2.24 montre que parmi le groupe MGF, seuls CrossBoundary Access et le PNUD fournissent un financement en monnaie locale pour la majorité de leurs programmes, alors que la plupart des bailleurs de fonds, y

⁹⁸ GuarantCo. 2024. [Permettre le développement des infrastructures](#).

⁹⁹ InfraCredit. 2024. [La garantie d'InfraCredit est soutenue par la Climate Finance Blending Facility financée par le Royaume-Uni](#).

¹⁰⁰ BAD. 2020. [Exploration du rôle des produits de garantie dans le soutien au financement en monnaie locale de projets d'énergie durable hors réseau en Afrique](#).

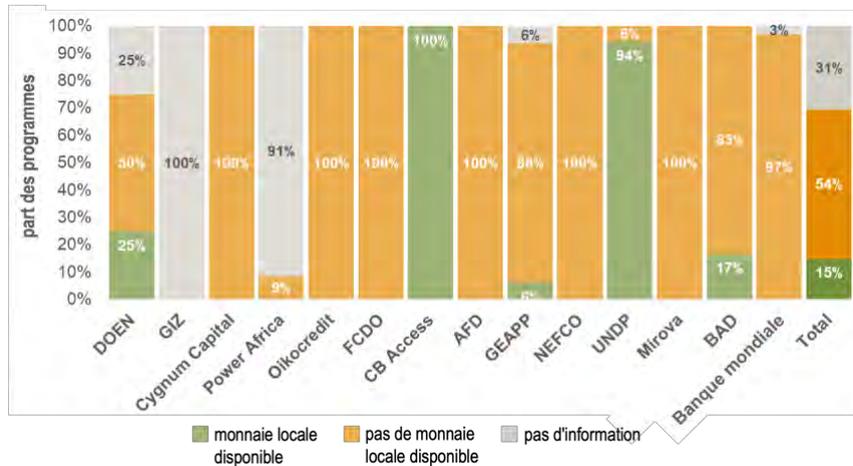
¹⁰¹ Sur la base d'un taux de change de 1 USD = 1 448,28 NGN.

¹⁰² InfraCredit. 2023. [Fourniture d'énergie renouvelable distribuée par le biais de solutions de mini-réseaux solaires hybrides](#).

¹⁰³ GuarantCo. 2020. [Permettre des solutions en monnaie locale pour combler le déficit de financement des infrastructures](#).

compris les bailleurs qui ont de nombreux programmes de mini-réseaux, tels que la Banque mondiale, le GEAPP, la BAD et l'AFD, ne fournissent pas ce type de financement.

FIGURE 2.24 Part des programmes de mini-réseaux fournissant un financement en monnaie locale, par bailleur de fonds



Note : La ventilation représente l'allocation finale du financement fourni par le groupe MGF, indépendamment des canaux spécifiques par lesquels les fonds ont été déboursés.

Source : analyse de la CCE basée sur la base de données du FGM fournie par Carbon Trust ; Analyse de la CCE basée sur la base de données du FGM fournie par Carbon Trust.

Outre l'atténuation du risque de change, les garanties peuvent également remédier à l'inadéquation entre la durée des prêts proposés dans le secteur et l'horizon à plus long terme généralement requis pour la rentabilité des mini-réseaux. Comme l'explique ENCADRÉ 2.18, une garantie de "prolongation de la durée" apporterait une solution innovante à ce décalage et donnerait aux mini-réseaux le temps dont ils ont besoin pour se constituer une clientèle rentable.

ENCADRÉ 2.18 Garanties d'extension de durée

Dans les années 1930, aux États-Unis, où seuls 10 % des agriculteurs étaient raccordés à l'électricité, le gouvernement a adopté la loi sur l'électrification rurale (Rural Electrification Act), qui autorisait l'octroi de prêts concessionnels à long terme aux coopératives. Les prêts étaient accordés à des taux d'intérêt légèrement supérieurs au coût d'emprunt du gouvernement, fixé à environ 2 %.¹⁰⁴ Non seulement ces prêts ont permis d'accélérer l'électrification rurale, mais ils ont également été presque tous remboursés rapidement, car ils ont stimulé de nouvelles utilisations productives non planifiées de l'électricité.

L'Afrique a un besoin urgent d'un crédit aussi facilement accessible. Actuellement, les investisseurs attendent un rendement à deux chiffres en devises fortes dans un délai de cinq à sept ans, soutenu par des garanties matérielles provenant des actifs des développeurs. Cependant, les projets de mini-réseaux ont une durée de 10 à 20 ans, car les projets plus longs permettent d'obtenir les prix de l'électricité plus bas dont ont besoin les clients à faible revenu, ainsi qu'un soutien politique et réglementaire. En outre, les projets sont souvent développés par des coopératives ou des start-ups avec des actifs physiques limités. En conséquence, la **durée des prêts et les exigences en matière**

¹⁰⁴ Loi américaine sur l'électrification rurale de 1936

de garantie ne sont absolument pas adaptées aux besoins des mini-réseaux, ce qui crée des problèmes de trésorerie au cours des cinq à sept premières années de projets par ailleurs viables.

Les outils de soutien financier actuels tentent de plus en plus de se rapprocher de l'impact des prêts concessionnels à long terme et des garanties : les subventions tentent de réduire les coûts initiaux et les exigences en matière de prêt ; les systèmes de fonds de roulement augmentent les rendements au cours des premières années, lorsque des remboursements de prêts élevés deviennent exigibles ; et quelques rares systèmes de garantie existants offrent des garanties partielles de huit ans ou plus aux prêts accordés aux développeurs de mini-réseaux. Malheureusement, nombre de ces mécanismes de soutien dépendent de programmes de donateurs ad hoc et limités dans le temps.

Cependant, la plupart des fonds proviennent d'institutions de financement du développement (à la fois sous forme d'actions et de dettes) et ont tendance à être confiés à des gestionnaires de fonds, qui ont des mandats de dix ans au maximum pour leurs fonds et ne peuvent pas, de manière réaliste, prolonger la durée de leurs prêts au-delà de l'existence de leur fonds. Toutefois, si les prêts étaient assortis d'une **garantie d'extension de la durée**, ils pourraient être accordés pour les 20 ans nécessaires, ce qui donnerait au mini-réseau le temps de se constituer une clientèle rentable. Tout ce qui n'aurait pas été perçu sur le prêt au moment de la clôture du fonds de dix ans deviendrait la responsabilité du garant. L'emprunteur serait toujours tenu d'effectuer des remboursements, mais ceux-ci pourraient être affectés à un nouveau véhicule ou à un autre fonds. Il n'y a donc pas nécessairement de perte associée à ce type de garantie, mais le prêteur - le fonds décennal - est indemnisé par le garant.

L'étalement des remboursements de prêts, comme l'a fait le gouvernement dans les années 1930 aux États-Unis, aurait le même effet de rendre l'accès à l'énergie abordable. Une fois abordable, les nombreuses utilisations de l'électricité deviennent accessibles aux clients ruraux.

Source : Cet encadré a été rédigé par Michael Feldner et Maurice Pigaht de GET.invest Finance Access Advisory.

Exploiter les options de financement climatique comme sources de revenus supplémentaires

De nouveaux mécanismes de financement innovants, tels que les crédits d'énergie renouvelable distribuée (D-REC) et les crédits d'énergie renouvelable pour la paix (P-REC), sont à l'étude pour soutenir les projets de mini-réseaux. L'entreprise sociale internationale Nuru, par exemple, a vendu avec succès des P-REC, une forme de crédit énergétique qui représente non seulement la production d'énergie renouvelable, mais qui comporte également des avantages sociaux et environnementaux. Energy Peace Partners¹⁰⁵ joue un rôle central dans cet écosystème, en étant responsable de la vérification, de la validation et du traitement de ces RECs. En vendant ces crédits, Nuru a pu assurer le financement d'aspects essentiels de ses opérations, tels que les dépenses d'investissement. Par exemple, les RECs vendus à Google ont contribué à financer ses dépenses d'investissement initiales, démontrant ainsi l'existence d'un modèle viable de financement du développement des infrastructures.¹⁰⁶ En outre, la vente par Nuru de RECs à Microsoft a démontré la polyvalence de ce modèle de financement, en soutenant l'expansion des projets d'éclairage public et en permettant la connexion de centaines de nouveaux clients.¹⁰⁷ Cette approche contribue non seulement à la viabilité financière des

¹⁰⁵ [Partenaires énergétiques pour la paix](#)

¹⁰⁶ Basé sur l'entretien du consultant avec Nuru.

¹⁰⁷ Les énergies renouvelables maintenant. 2022. [Microsoft achète des certificats supplémentaires pour soutenir un mini-réseau solaire en République démocratique du Congo.](#)

entreprises de mini-réseaux, mais elle associe également des investisseurs tels que Google et Microsoft à des initiatives efficaces en matière d'énergies renouvelables, créant ainsi un scénario gagnant-gagnant à la fois pour les fournisseurs d'énergie et pour les entreprises qui achètent des RECs. Pour catalyser les avantages des P-REC, le P-REC Aggregation Facility a été conçu pour fournir des paiements initiaux aux développeurs, leur permettant ainsi de surmonter les obstacles financiers. Avec la possibilité de conclure des contrats à l'avance et de fournir un financement anticipé des P-REC aux développeurs avant d'atteindre la date d'exploitation commerciale, l'installation vise à accélérer le développement de projets.

L'échelle est devenue un facteur clé de la viabilité financière des mini-réseaux

Le regroupement de projets de mini-réseaux apparaît comme une stratégie cruciale pour obtenir des financements, en particulier lorsqu'il s'agit d'un mélange de sites plus grands et plus petits. Cette approche, qui consiste à regrouper plusieurs projets, permet aux promoteurs de réaliser des économies d'échelle, ce qui rend l'ensemble du projet plus attrayant pour les investisseurs. Les économies d'échelle se reflètent à la fois dans les coûts matériels et immatériels des mini-réseaux. En ce qui concerne les coûts matériels, en combinant les ressources et les demandes de différents projets, les promoteurs peuvent obtenir des conditions plus favorables pour l'achat d'équipements en ayant plus de poids auprès des fournisseurs et en réduisant les coûts unitaires grâce à des remises sur les prix de gros. Cette négociation efficace avec les fournisseurs et les entrepreneurs permet de réaliser des économies qui peuvent améliorer de manière significative la viabilité financière des projets. En ce qui concerne les coûts indirects, le regroupement permet également de rationaliser la gestion du projet. Le contrôle préalable technique, juridique et financier et le suivi des actifs prennent plus de temps et sont plus lourds avec plusieurs petits actifs qu'avec un seul grand actif.

Cette agrégation peut être réalisée en regroupant des sites dans des portefeuilles ou par l'intermédiaire de plateformes d'agrégation. Les agrégateurs offrent la possibilité de regrouper les achats d'équipement, l'approvisionnement et la logistique, ce qui permet aux petits promoteurs de réaliser plus facilement des économies d'échelle dans le déploiement des mini-réseaux en leur donnant plus de poids que s'ils agissaient individuellement. Cette stratégie est également plus convaincante pour les financiers, qui préfèrent souvent investir dans des portefeuilles plus importants et diversifiés qui offrent un risque réduit et un meilleur potentiel de rendement. Ainsi, l'agrégation ne rend pas seulement les projets de mini-réseaux individuels plus économiquement réalisables, mais elle ouvre également la voie à un développement plus systématique et plus efficace des initiatives d'électrification rurale, contribuant à l'extensibilité et à la durabilité du secteur des mini-réseaux dans son ensemble. ENCADRÉ 2.19 souligne le rôle clé de l'agrégation dans le modèle financier de CrossBoundary.

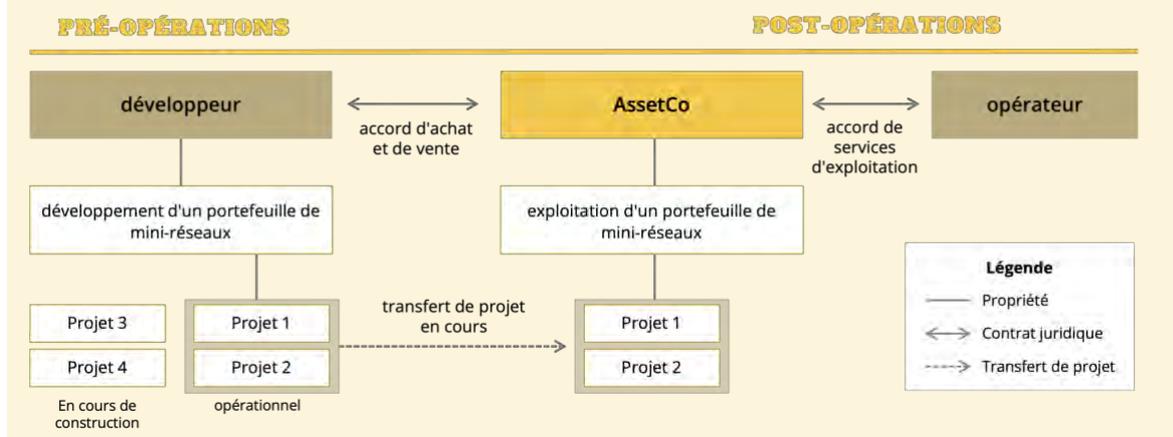
ENCADRÉ 2.19 Le modèle financier de CrossBoundary pour les mini-réseaux

Le modèle financier de CrossBoundary pour les mini-réseaux montre comment les investissements dans les mini-réseaux peuvent être structurés pour ressembler à des investissements d'infrastructure traditionnels, attirant ainsi les capitaux d'infrastructure. Ce modèle met l'accent sur l'isolation des

actifs, la répartition des risques et l'agrégation pour répondre aux besoins des investissements dans les infrastructures :

- Clôture des actifs (isoler) : Les actifs des mini-réseaux sont isolés en les transférant, une fois la construction achevée, du bilan de l'entreprise qui les développe et les construit à une société créée spécifiquement pour détenir les actifs (une société d'actifs, AssetCo). Tous les contrats, permis et équipements appartiennent à AssetCo, propriété de CrossBoundary.
- Contrats fixes à long terme avec incitations (allouer) : Les risques et les coûts avant la mise en service et la vente sont répartis par le biais de l'accord d'achat et de vente, et les risques et les coûts après la mise en service et la vente sont répartis par le biais d'un accord de services d'exploitation à long terme.
- Échelle (agrégat) : Pour atteindre l'échelle, CrossBoundary regroupe plusieurs AssetCos en une seule plateforme d'investissement (une HoldCo) qui est suffisamment grande pour lever des fonds propres et de la dette mezzanine auprès des investisseurs.

Figure 2.25 Modèle de financement transfrontalier pour les mini-réseaux



Source : CrossBoundary (2020). [Financement ouvert des infrastructures pour les mini-réseaux](#).

Reconnaître la nécessité de soutenir les acteurs locaux

La nécessité de soutenir les acteurs locaux est de plus en plus reconnue. Si les entités internationales peuvent apporter des atouts précieux tels que la technologie, les connaissances et l'accès aux réseaux financiers mondiaux, les entreprises et les dirigeants locaux possèdent souvent une connaissance unique des subtilités de leurs communautés et peuvent apporter une contribution précieuse à la réussite du projet. De nombreux projets réussis impliquent des partenariats entre des fondateurs locaux et des homologues internationaux. Conscientes de l'importance de cultiver les talents locaux, des entreprises comme CrossBoundary identifient et soutiennent activement les candidats prometteurs dans leur pipeline de projets. En outre, des initiatives telles que les ateliers d'investisseurs (voir l'encadré 2.20) facilitent les relations entre les investisseurs et les entreprises locales, reconnaissant ainsi la diversité des besoins et des atouts du marché. Ce soutien croissant aux entreprises locales favorise non seulement le développement durable au sein de ces communautés, mais encourage également l'innovation et la concurrence dans le secteur, contribuant en fin de compte à un écosystème de mini-réseaux plus robuste et plus résilient.

ENCADRÉ 2.20 Ateliers pour investisseurs organisés par EEP Africa

Si le financement par subvention joue un rôle essentiel dans les phases initiales d'essai, l'atteinte de l'échelle et de la viabilité financière nécessite d'obtenir un financement de suivi de la part d'investisseurs commerciaux. EEP Africa organise des forums d'investisseurs en Afrique de l'Est et en Afrique australe depuis 2016, qui présentent aux investisseurs régionaux et internationaux des entreprises émergentes de mini-réseaux, catalysant ainsi les opportunités d'investissement. Chaque événement est personnalisé pour un seul investisseur, notamment Charm Impact, SunFunder, Camco et Lendahand. En fonction du profil de l'investisseur, de l'offre de financement et de la taille du ticket, un petit groupe d'entreprises ayant des besoins de financement appropriés sont invitées à présenter leur dossier commercial. Le forum permet également de discuter des critères d'investissement et des défis auxquels sont confrontées les entreprises locales en phase de démarrage, afin d'améliorer la compréhension des besoins et des priorités des investisseurs et des entreprises. Ce type de jumelage sur mesure permet de présenter efficacement aux investisseurs des entreprises locales prometteuses en phase de démarrage et de favoriser des relations qui devraient profiter à toutes les parties prenantes.

Sources : EEP Afrique : EEP Afrique. 2021. [Opening Access to Finance through Investor Workshops](#) ; et EEP Africa. 2021. [Se développer au-delà des subventions](#).

La nécessité de soutenir les acteurs locaux devrait se refléter dans la conception des mécanismes de financement. Par exemple, lors de la mise en œuvre d'un FRB, les grandes initiatives multinationales excluent souvent les acteurs locaux, ce qui est contraire à l'objectif du FRB, à savoir la création d'un écosystème d'acteurs qui adaptent leurs services aux besoins locaux et répondent à la dynamique locale.¹⁰⁸ Reconnaître que la réalisation de l'accès universel à l'énergie nécessite davantage d'entreprises de mini-réseaux, et en particulier des entreprises locales, implique la nécessité d'une approche adaptative de la part des gestionnaires de FRB, dans laquelle la conception du fonds, les critères d'éligibilité et les conditions de financement sont adaptés pour soutenir la participation des entreprises locales.

Besoin accru d'assistance technique et de partage des connaissances à la lumière des exigences strictes en matière de diligence raisonnable

Les critères de bancabilité et de diligence raisonnable des bailleurs de fonds sont relativement standardisés dans le secteur. Une diligence raisonnable approfondie, comprenant des évaluations financières et environnementales, sociales et de gouvernance (ESG), est essentielle pour garantir la durabilité et l'impact des projets de mini-réseaux. Les critères employés par les financiers sont similaires dans l'ensemble du secteur. Par exemple, Oikocredit se concentre d'abord sur l'existence d'un cadre favorable plus large, y compris des politiques et des réglementations favorables et des mécanismes de financement public. L'expérience du promoteur est ensuite évaluée sur la base du nombre de connexions réalisées jusqu'à présent (au moins 5 000 connexions sont requises) et de la capacité à naviguer entre les niveaux et les structures du gouvernement (comme les royaumes au Nigeria). Enfin, le savoir-faire technique et la fourniture d'un service clientèle de suivi sont évalués¹⁰⁹. Ces

¹⁰⁸ SNV et Sunfunder. 2021. [Pourquoi la localisation est importante pour le financement de l'énergie hors réseau](#).

¹⁰⁹ D'après l'entretien du consultant avec Oikocredit.

considérations et d'autres encore sont reflétées dans deux fiches de notation qui garantissent une diligence raisonnable : la fiche de notation du risque de viabilité du projet, qui évalue la performance financière de l'entreprise, et la fiche de notation ESG, qui analyse l'impact environnemental et social et la gouvernance d'un partenaire potentiel.¹¹⁰

Outre la diligence financière, EnDev recherche également une forte présence locale et des antécédents de la part des développeurs.¹¹¹ Charm Impact, un fournisseur de financement par emprunt en phase de démarrage, souligne trois aspects clés de son processus de diligence raisonnable : le flux de trésorerie (économie des unités, dépenses d'exploitation et marges bénéficiaires), l'équipe et l'expérience de l'entreprise, ainsi que la sélection et la gestion des clients¹¹². Cependant, le secteur réclame de plus en plus un partage accru des analyses et de la documentation relatives à la diligence raisonnable entre les investisseurs, ainsi qu'une plus grande harmonisation des cadres de contrôle des risques et de l'impact.¹¹³

La normalisation des mécanismes d'établissement de rapports et des cadres de suivi de l'impact gagne du terrain au sein de la communauté des donateurs et des investisseurs.

La fragmentation des exigences en matière de rapports des différents programmes financés par des donateurs, ainsi que des mécanismes requis pour la gestion des risques, peut entraîner des coûts importants pour les développeurs de mini-réseaux, ce qui ralentit le déploiement du capital. Les normes de performance de la SFI, qui servent de référence internationale pour l'évaluation des performances environnementales et sociales d'un projet, sont un exemple d'approche normalisée de l'identification et de la gestion des risques environnementaux et sociaux. De plus en plus, de nombreuses institutions de financement du développement et d'investisseurs exigent le respect des normes de performance de la SFI de la part des développeurs de projets recevant un financement afin de garantir l'intégrité environnementale et sociale des projets¹¹⁴.

Conformément à la nécessité d'impliquer les acteurs locaux, un soutien accru est nécessaire pour les entreprises de mini-réseaux en phase de démarrage, en particulier les entreprises locales, afin de répondre aux exigences strictes des financiers en matière de diligence raisonnable. Dans le cadre de ses activités de soutien à la préparation des investissements, Mirova a identifié les lacunes suivantes dans les capacités financières des petites entreprises locales : structuration du capital et options de financement ; planification des flux de trésorerie ; économie des unités et modélisation financière ; soutien comptable et formation à la création de rapports financiers de haute qualité ; soutien juridique pour aider à comprendre les documents de prêt et formation aux clauses restrictives ; analyse des données relatives aux utilisateurs finaux et de la santé du portefeuille.¹¹⁵ Les prêts plus modestes et le soutien à la préparation à l'investissement dont ont besoin les entreprises locales entraînent des coûts de transaction élevés, ce qui les rend souvent peu attrayants pour les prêteurs

¹¹⁰ Oikocredit. 2023. [Inclusion financière : Comment Oikocredit sélectionne-t-il ses partenaires ?](#)

¹¹¹ D'après l'entretien du consultant avec EnDev.

¹¹² EEP Afrique. 2021. [Se développer au-delà des subventions.](#)

¹¹³ MGP. 2023. [Lettre d'information de la MGP. Décembre 2023.](#)

¹¹⁴ REPP et AMDA. 2018. [Développer des mini-réseaux selon les normes de performance environnementale et sociale de la SFI.](#)

¹¹⁵ SNV et Sunfunder. 2021 [Pourquoi la localisation est importante pour le financement de l'énergie hors réseau.](#)

commerciaux. Un soutien accru des donateurs sous forme d'assistance technique pour combler ces lacunes est essentiel pour aider les entreprises à absorber les investissements de croissance et à développer leurs activités.

Un soutien supplémentaire (non financier) est nécessaire pour renforcer les capacités de l'entreprise et lui permettre d'acquérir de solides antécédents. Il s'agit notamment d'activités telles que l'étude de marché, la formulation d'un plan d'affaires clair et d'une trajectoire de croissance viable, ainsi que d'une méthodologie et d'une mesure ESG et de l'impact.¹¹⁶ L'apprentissage commun sur ces aspects peut être facilité par l'échange de connaissances entre développeurs, compte tenu de la nécessité d'accélérer le temps de préparation à l'investissement. Dans l'ensemble, la fourniture d'une assistance technique aux entreprises locales devrait encourager l'expansion nécessaire pour parvenir à l'accès universel et contribuer à la croissance inclusive du marché des mini-réseaux.

Tendances technologiques

Génération – Baisse du coût des composants des mini-réseaux

Au cours des dernières années, les composants utilisés pour construire les mini-réseaux ont connu des réductions de prix significatives, améliorant ainsi la faisabilité financière de ces projets. La baisse du coût des modules photovoltaïques, des onduleurs, des batteries (en particulier lithium-ion), des onduleurs de batterie et des compteurs intelligents a joué un rôle essentiel dans la croissance globale du secteur.

Les prix du photovoltaïque ont chuté en partie en raison de l'augmentation de l'offre pour répondre à la demande de projets beaucoup plus importants. Au cours de la dernière décennie, le coût moyen d'un panneau solaire photovoltaïque a diminué d'environ 90 %¹¹⁷. Le volume de panneaux photovoltaïques déployés dans le monde a doublé tous les deux ans au cours des cinq dernières décennies. Cette augmentation de l'offre s'est accompagnée d'une réduction constante des prix, d'environ 23% pour chaque doublement du volume. Entre novembre 2022 et décembre 2023, les prix de l'énergie photovoltaïque ont encore baissé de moitié. En outre, le coût de l'énergie solaire devrait continuer à baisser jusqu'en 2030¹¹⁸.

Comme le montre la figure 2.26, la période entre 2020 et 2022 a été marquée par une rupture par rapport à la tendance à la baisse régulière des prix observée depuis des décennies. Cette anomalie à court terme peut être attribuée à l'impact de la pandémie COVID-19, exacerbée par l'invasion de l'Ukraine par la Russie. La pandémie mondiale de COVID-19, qui a débuté en 2020, a fait des ravages dans les chaînes d'approvisionnement mondiales, entraînant des pénuries et une volatilité des prix du photovoltaïque. Les perturbations de la

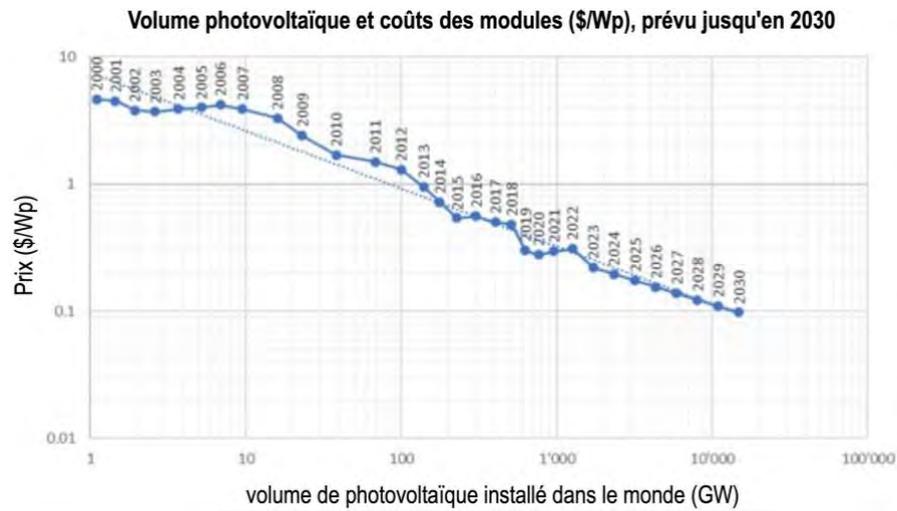
¹¹⁶ SNV et Sunfunder. 2021. [Pourquoi la localisation est importante pour le financement de l'énergie hors réseau.](#)

¹¹⁷ Mordor Intelligence. 2023. Analyse de la taille et des parts du marché de la production d'énergie solaire distribuée - Tendances de croissance et prévisions (2024-2029).

¹¹⁸ PV Magazine. 2023. [Une approche empirique montre que le photovoltaïque devient moins cher que ne le prévoient tous les prévisionnistes.](#)

chaîne d'approvisionnement ont été encore amplifiées par les répercussions largement ressenties de l'invasion de l'Ukraine par la Russie. Malgré ces difficultés à court terme, les deux dernières années semblent indiquer que le marché de l'énergie photovoltaïque a repris sa trajectoire à long terme de baisse régulière des prix¹¹⁹.

FIGURE 2.26 Volume d'énergie photovoltaïque et coûts des modules prévus à l'horizon 2030



Source : PV Magazine : PV Magazine. 2023. [L'approche empirique montre que le photovoltaïque devient moins cher que ne le prévoient tous les prévisionnistes](#)

De nouveaux matériaux, tels que les cellules en pérovskite, et de nouvelles méthodes de fabrication ont également permis de réduire les coûts en améliorant l'efficacité et la durabilité de l'énergie photovoltaïque. Par rapport aux cellules photovoltaïques en silicium, les cellules en pérovskite nécessitent un processus de fabrication beaucoup moins intensif en raison de leur flexibilité. Toutefois, comme le silicium fait déjà l'objet d'investissements considérables et qu'il occupe une place prépondérante sur le marché, la transition vers l'adoption totale de la pérovskite est moins évidente. Au cours des cinq dernières années, les "cellules tandem", c'est-à-dire les cellules photovoltaïques construites en combinant les deux matériaux de manière complémentaire, ont été adoptées comme une solution provisoire prometteuse.¹²⁰

Les tendances des prix des onduleurs sont plus nuancées, car il existe une grande variété d'onduleurs sur le marché, y compris des onduleurs hybrides PV et des onduleurs à transformateur, chacun avec des types de composants technologiques différents. D'une manière générale, la fabrication d'onduleurs s'est développée au cours des dernières années. La croissance de nouveaux cas d'utilisation de l'électrification, tels que la recharge des véhicules électriques et la maturation des marchés de niche (y compris le secteur des énergies renouvelables distribuées), a également stimulé l'innovation sur le marché. Bien qu'il soit plus

¹¹⁹ PV Magazine. 2023. [Une approche empirique montre que le photovoltaïque devient moins cher que ne le prévoient tous les prévisionnistes.](#)

¹²⁰ The Economist. 2018. [Un nouveau type de cellule solaire arrive sur le marché.](#)

difficile de discerner les tendances exactes en matière de prix, le développement des onduleurs s'oriente vers des produits qui nécessitent moins d'entretien et qui sont conçus pour durer¹²¹.

Les innovations sur le marché, telles que la conception modulaire et l'agrégation, réduisent encore les coûts des projets de mini-réseaux

Parallèlement aux innovations concernant les composants spécifiques utilisés pour construire un mini-réseau, la conception générale des systèmes a évolué. Les développeurs optent pour des conceptions plus simplifiées, avec des composants prêts à l'emploi et des solutions conteneurisées. Par exemple, Zhyphen a mis au point son "Instant Grid", un système modulaire unique qui peut être mis en place en quelques heures et qui s'adapte facilement à l'augmentation de la demande d'énergie.¹²² Cette approche a été exploitée par l'Institute for Transformative Technologies (ITT) en Inde, grâce à son système de mini-réseau pré-assemblé, "Utility in a Box", qui peut être installé en quelques jours. De la même manière, d'autres développeurs de projets, tels qu'AlphaESS et JINKO Solar, proposent désormais une solution clé en main, précâblée et testée avant l'expédition, de sorte que l'installation sur site peut se faire en toute transparence.

En outre, le secteur étant arrivé à maturité, il est moins courant qu'un projet de mini-réseau soit développé de manière isolée. Plus précisément, les entreprises ont choisi de développer des portefeuilles de mini-réseaux plutôt que des projets uniques. Notamment, comme nous le verrons plus loin dans cette section, l'évolution vers le développement d'un portefeuille, plutôt que d'un projet unique, se prête aux innovations technologiques qui permettent de normaliser et d'agréger les données des sites. En outre, ces systèmes sont souvent prêts à être interconnectés au réseau et exploitent des composants technologiques intelligents, tels que des compteurs intelligents et les derniers équipements photovoltaïques, onduleurs et batteries. Il est important de noter que ces projets intègrent de plus en plus de technologies d'utilisation productive dans leurs modèles commerciaux.

Stockage – Augmentation de la prévalence et réduction des coûts des batteries lithium-ion

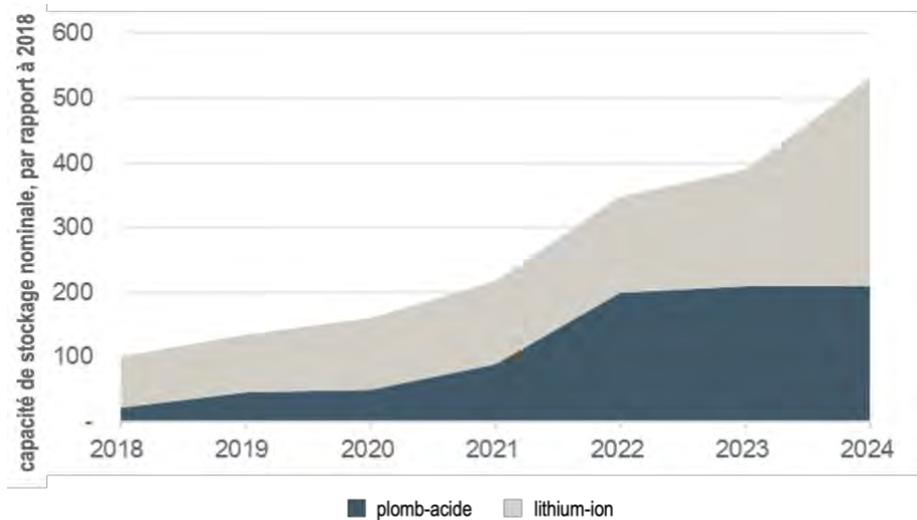
Les développeurs de mini-réseaux préfèrent de plus en plus les batteries lithium-ion aux batteries plomb-acide. En 2021, les coûts des batteries lithium-ion étaient en moyenne d'environ 123 USD par kWh, tandis que ceux des batteries au plomb étaient d'environ 200-220 USD par kWh. Les prix des batteries lithium-ion devraient continuer à baisser au cours de la prochaine décennie, certaines projections prévoyant un prix d'environ 75 USD par kWh d'ici 2030. Les batteries lithium-ion ont également tendance à avoir une durée de vie plus longue, un rendement plus élevé et des besoins de maintenance moindres par rapport aux batteries plomb-acide. Néanmoins, des différences spécifiques au site peuvent amener un développeur

¹²¹ PV Magazine. 2022. [2022 revue des tendances : Onduleurs](#).

¹²² Zhyphen. s.d. [L'Afrique et les installations médicales hors réseau : Malawi](#).

de mini-réseau à choisir l'acide-plomb plutôt que le lithium-ion. Par exemple, l'acide-plomb peut être préféré lorsque la demande d'électricité d'un système n'est pas très élevée.

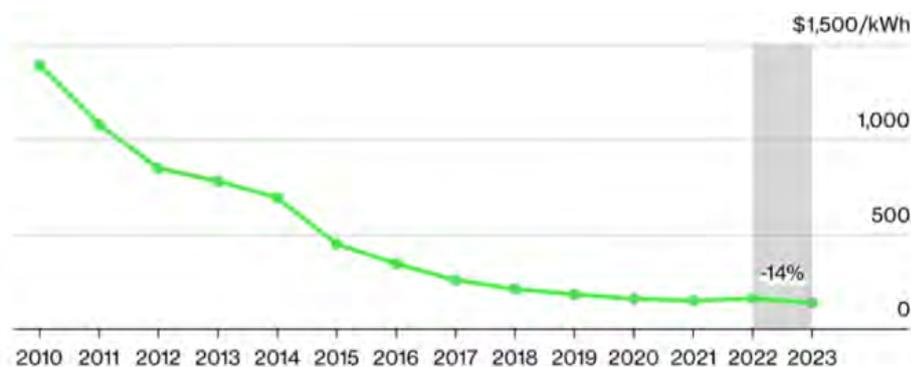
FIGURE 2.27 Capacité de stockage nominale, indexée à 2018



Source : Analyse de la CCE basée sur la base de données MGA : Analyse de la CEA basée sur la base de données MGA.

En ce qui concerne les coûts des batteries, le marché a connu une baisse des prix au cours de la dernière décennie. Selon l'analyse 2023 de BloombergNEF, le prix moyen des batteries a baissé de 14 % en 2023, passant de 161 USD/kWh en moyenne en 2022 à 139 USD/kWh en moyenne en 2023, comme le montre la Figure 2.28. La réduction des coûts des matières premières semble être le principal facteur en jeu, plutôt que la seule innovation technologique, qui a contribué à la baisse des prix au cours des années précédentes. Les experts prévoient que les coûts des batteries continueront à baisser au cours des prochaines années, certaines projections estimant un prix inférieur à 100 USD/kWh d'ici 2027.¹²³

FIGURE 2.28 Baisse du prix des batteries lithium-ion, 2019-2023



Note : La ligne verte représente le prix moyen pondéré en volume d'une batterie lithium-ion en dollars réels de 2023.
Source : BloombergNEF : BloombergNEF.

¹²³ PV Magazine. 2023. Les prix des batteries ont baissé de 14 % cette année, selon BloombergNEF.

Parallèlement à ces tendances, les technologies de surveillance et de contrôle à distance, examinées à la section 0, contribuent à améliorer encore l'efficacité et l'optimisation, à réduire le besoin de remplacement des pièces et à diminuer les coûts globaux.

L'émergence d'autres technologies de stockage

Parallèlement à la prédominance croissante des batteries lithium-ion, les batteries sodium-ion (Na-ion) sont apparues comme une alternative prometteuse présentant des avantages en termes de coût, de sécurité, de durabilité et de performance. En raison de leur poids, les batteries Na-ion n'ont pas été une solution pratique pour les technologies nécessitant une densité énergétique élevée, telles que les véhicules électriques. Cependant, lorsqu'il s'agit de stockage stationnaire de l'énergie, elles apparaissent comme une option appropriée, notamment parce que leur production est compatible avec les méthodes de fabrication des batteries lithium-ion existantes. Avec une trajectoire de croissance reflétant celle des batteries lithium-ion, IDTechEx prévoit que 10 GWh de capacité de batteries Na-ion seront installés d'ici 2025 et que les prix chuteront à environ 40 USD/kWh d'ici 2030.¹²⁴

La commercialisation des batteries Na-ion est relativement récente, avec seulement une poignée d'entreprises produisant à grande échelle, et il s'agit d'un domaine à surveiller dans les années à venir. Comme l'a noté IDTechEx dans son récent rapport, la diversification des technologies de batteries serait bénéfique à long terme en raison de l'offre limitée de matières premières et des préoccupations croissantes en matière de sécurité énergétique.¹²⁵

Outre la diversification des batteries, l'utilisation d'autres technologies à la place des batteries ou des générateurs diesel s'est concrétisée sur certains marchés hors réseau. Par exemple, dans la région de Sarawak en Malaisie, la technologie des piles à hydrogène de H2Energy s'est avérée être un outil fiable pour compléter l'énergie produite directement par l'énergie solaire. La conception modulaire de H2Energy se prête à la desserte des zones rurales et isolées, et constitue donc une tendance importante à suivre à mesure que divers projets pilotes sont menés à bien.¹²⁶ Dans le même ordre d'idées, Rutten-NES, une entreprise belge du secteur de l'énergie, a mis au point son NES-Store modulaire et conteneurisé pour stocker et libérer de l'énergie au moyen de mécanismes similaires à ceux de l'hydroélectricité par pompage. Cette technologie innovante est testée au cours du second semestre 2024 dans un très petit village isolé de 300 habitants sur l'île de São Tomé, et constitue un autre projet de validation de concept qui mérite d'être suivi¹²⁷.

¹²⁴ IDTechEx. 2023. [Batteries sodium-ion 2023-2033 : Technologie, acteurs, marchés et prévisions.](#)

¹²⁵ IDTechEx. 2023. [Batteries sodium-ion 2023-2033 : Technologie, acteurs, marchés et prévisions.](#)

¹²⁶ Alliance pour l'électrification rurale. 2024. [H2Energy remplace les batteries par de l'hydrogène en Malaisie hors réseau.](#)

¹²⁷ Alliance pour l'électrification rurale. 2024. [Projet de technologie innovante de stockage hydropneumatique de Rutten NES à São Tomé et Príncipe.](#)

Mini-réseaux CA et CC – La popularité croissante des systèmes à courant continu

Les pertes de puissance dans les réseaux de distribution, ainsi que les pertes de conversion aux différents stades de la transmission de l'énergie, constituent un aspect majeur de l'efficacité et de la rentabilité d'un mini-réseau. Les mini-réseaux à courant alternatif (CA) et à courant continu (CC) varient en termes d'application et d'utilisation, et le choix entre ces systèmes dépend de divers facteurs, notamment les types de charge, les exigences en matière d'efficacité et les contextes environnementaux. La nécessité d'un onduleur est la principale distinction entre les deux types de mini-réseaux. Les systèmes à courant continu ne nécessitent pas d'onduleur car les étapes de conversion de puissance inhérentes à un système à courant alternatif ne sont pas nécessaires.

Les mini-réseaux à courant continu gagnent de plus en plus en importance dans le secteur, car ils peuvent être plus efficaces pour certains types de charges (en particulier les appareils à courant continu) et s'aligner sur les exigences en matière d'énergie renouvelable. Il est important de noter que les systèmes à courant continu évitent les pertes de conversion de puissance qui sont nécessaires pour les systèmes à courant alternatif ou les systèmes hybrides à courant alternatif. Cela contribue à réduire le besoin de composants supplémentaires et permet aux équipements à courant continu d'être plus compacts. Les systèmes à courant continu ont également tendance à être plus modulaires et évolutifs que leurs homologues à courant alternatif ; ils sont non seulement plus compacts, mais peuvent aussi être plus facilement intégrés dans la conception des systèmes, car les lignes peuvent fonctionner en parallèle les unes avec les autres et sont plus faciles à contrôler. Au fur et à mesure que le secteur des énergies renouvelables distribuées gagne en maturité, les appareils à courant continu, plutôt qu'à courant alternatif, peuvent être envisagés pour réduire davantage les pertes supplémentaires dues à la conversion de l'énergie. Il convient toutefois de souligner la disponibilité potentiellement limitée des appareils à courant continu sur certains marchés, ce qui réduit le choix du développeur et de l'utilisateur final¹²⁸.

Développement et opérations – Des solutions logicielles robustes rationalisent le développement des mini-réseaux à chaque étape du cycle de vie du projet

La numérisation offre de grandes possibilités de réduction des coûts dans la chaîne de valeur des mini-réseaux. Les mini-réseaux sont relativement petits et, par conséquent, ils sont souvent associés à des coûts matériels et immatériels plus élevés. Il s'agit notamment des coûts liés à la planification, à la recherche de financement, à l'achat d'équipement, à la diligence raisonnable et à la gestion des actifs¹²⁹. Pour minimiser ces coûts, des logiciels dédiés ont proliféré, ce qui a permis au secteur d'atteindre de nouveaux niveaux de croissance. La

¹²⁸ Opiyo, N. N. 2019. ["Une comparaison des miniréseaux basés sur le courant continu par rapport au courant alternatif pour l'électrification rentable des communautés rurales en développement"](#). *Rapports sur l'énergie* 5 : 398-408.

¹²⁹ L'agenda vert. 2023. [L'énergie solaire décentralisée est prête à sortir l'Afrique du Sud de son déficit énergétique, à condition d'éliminer les coûts cachés.](#)

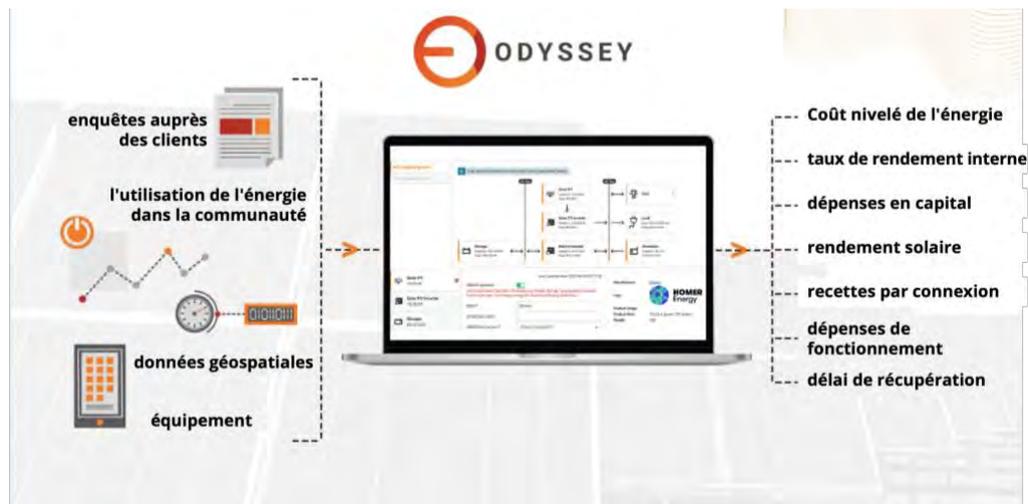
numérisation offre la possibilité d'accroître la transparence, de promouvoir la normalisation et l'agrégation, d'introduire des économies d'échelle et de rationaliser les points de friction à chaque étape du cycle de vie du projet, depuis l'étude du site, la modélisation et l'analyse du système technico-économique, jusqu'au suivi et à l'établissement de rapports.

Dans la phase de planification, les outils de planification géospatiale à faible coût sont de plus en plus largement adoptés par les développeurs de projets de mini-réseaux. Des outils tels que le logiciel cartographique de VIDA utilisent des données d'imagerie satellitaire, regroupant des données clés telles que la densité de population et l'infrastructure de réseau existante pour aider les développeurs à évaluer les risques d'un projet. Les innovations en matière de granularité et de disponibilité des données ont permis à VIDA d'intégrer davantage de données et de rendre le contexte d'un projet donné plus transparent. Un développeur peut évaluer une variété de facteurs susceptibles d'avoir un impact sur l'économie à long terme d'un projet, tels que les risques liés à l'accessibilité (y compris l'infrastructure de réseau routier) et les risques liés au climat (tels que les zones inondables), ainsi que l'endroit où les charges d'ancrage sont situées ou planifiées. La possibilité d'une planification plus efficace du site grâce à un outil numérique réduit certainement le temps et les coûts, ainsi que les visites potentielles sur le site. Néanmoins, il convient de noter que les visites en personne restent un aspect essentiel de la planification des sites afin de recouper les données SIG et d'impliquer les communautés locales. Les économies réalisées grâce aux technologies SIG sont encore plus importantes si l'on considère que des outils de planification robustes peuvent aider un développeur de projet à éviter de choisir un site moins optimal. Dans l'ensemble, la plupart des aspects d'une étude de faisabilité peuvent être réalisés à l'aide d'outils numériques; cette réduction des coûts ouvre la voie à l'évolutivité dans le secteur des mini-réseaux. Il est à noter que la solution du moindre coût est différente de la bancabilité dans les modèles commerciaux existants, ce qui implique que les sites de mini-réseaux qui sont inclus dans les plans d'électrification à moindre coût ne sont pas nécessairement les mêmes que les sites sélectionnés sur la base de la bancabilité.

Les outils de modélisation des systèmes numériques sont de plus en plus utilisés pour normaliser les données dans le secteur et améliorer la transparence pour les bailleurs de fonds, les agences gouvernementales et les développeurs de projets. Les outils de planification rationalisent le processus de conception pour les développeurs de projets, comme HOMER Pro qui permet l'optimisation du profil de charge et la cartographie numérique de la production et de la distribution, et de solides mécanismes de modélisation financière qui intègrent des données dynamiques, y compris les coûts d'investissement et d'exploitation et les barèmes tarifaires. À leur tour, les financiers et les autres acteurs clés du projet peuvent constituer des portefeuilles de projets agrégés et normalisés. Par exemple, EM-ONE s'est associé à Odyssey pour identifier 150 sites viables d'électrification sanitaire sur 1 200 au Nigeria, qui seront financés par une grande agence de développement basée aux États-Unis. Dans le cadre du projet, la plateforme d'Odyssey a ingéré autant de données pertinentes que possible à partir d'une variété de sources externes, y compris des données géospatiales, des données sur l'utilisation de l'énergie par les communautés et des enquêtes auprès des clients. D'autres données fournies par EM-ONE sur des détails spécifiques au site, y compris les coûts projetés d'investissement et d'exploitation, ont été utilisées comme données supplémentaires pour les outils intégrés dans la plateforme, tels que HOMER Pro, pour l'optimisation de la conception. Un modèle financier standardisé a ensuite été appliqué à tous les sites pour déterminer les

aspects économiques du projet, tels que le taux de rendement interne et la période de retour sur investissement, comme le montre la Figure 2.29. Cette analyse technique jette les bases du travail d'EM-ONE pour passer à la phase d'exécution¹³⁰. Comme les données techniques et financières accessibles et normalisées continuent à démystifier les mini-réseaux en tant que catégorie d'actifs, les flux d'investissement dans le secteur devraient augmenter.

FIGURE 2.29 Planification financière à travers la plateforme Odyssey



Source : Odyssey Energy Solutions : Odyssey Energy Solutions. n.d. [Breaking ground on a ground-breaking project.](#)

ENCADRÉ 2.21 Outils numériques de modélisation technique et financière : Odyssey

Odyssey Energy Solutions offre une suite d'outils numériques permettant aux développeurs de projets de modéliser les profils de charge, de concevoir des systèmes optimisés (avec HOMER Pro), d'introduire différents coûts et revenus, et de générer des perspectives financières solides pour un projet spécifique.

L'externalisation de certains aspects du développement de projets par le biais de logiciels permet aux entreprises d'énergie renouvelable d'économiser du temps et des ressources. Plus précisément, plutôt que d'effectuer ses propres calculs financiers, une entreprise peut s'appuyer sur le modèle financier standardisé d'Odyssey en entrant simplement les données et les hypothèses clés dans la plateforme. De même, les financiers peuvent plus facilement comparer, étalonner et agréger des projets qui reposent sur des hypothèses cohérentes et utilisent le même modèle.

La figure 2.30 présente le profil de charge d'un mini-réseau type et la conception complète de la production, en tenant compte de la demande prévue et des spécifications techniques et des coûts des composants du système installé.

¹³⁰ Odyssey Energy Solutions. n.d. [Breaking ground on a ground-breaking project.](#)

FIGURE 2.30 Profil de charge et conception de la production sur la plate-forme Odyssey

Source : Odyssey Energy Solutions : Odyssey Energy Solutions. n.d. [Breaking ground on a ground-breaking project.](#)

Même avec des outils numériques, la prévision précise de la demande future reste un domaine en cours d'affinement. D'importants développements sont attendus à cet égard, compte tenu de l'application croissante de l'apprentissage automatique et de l'intelligence artificielle. Ces progrès continuent de remodeler la manière dont la demande d'énergie est analysée et prévue. Plus précisément, les modèles d'apprentissage automatique peuvent prendre en compte un large éventail de variables, y compris l'utilisation historique et les modèles météorologiques saisonniers, ce qui facilite la prévision de la demande et la prise de décisions fondées sur des données concernant la conception des projets¹³¹.

La numérisation est également cruciale au stade de la passation des marchés. Une fois les sites planifiés, un développeur de mini-réseau doit se procurer des équipements, ce qui implique des processus historiquement complexes de commande, d'expédition et d'importation. L'année dernière, Odyssey a lancé sa plateforme d'approvisionnement, destinée à rationaliser le processus pour les développeurs de mini-réseaux, à les aider à accéder au financement des fonds de roulement et, en fin de compte, à faire baisser le coût de l'équipement grâce à l'approvisionnement groupé. Une plateforme numérique sécurisée qui

¹³¹ Forbes. 2023. [L'intelligence artificielle : Accélérer la transformation des énergies propres.](#)

facilite l'approvisionnement peut se traduire par des économies de temps et d'argent pour un développeur, ce qui aide le secteur à se développer davantage.

Les outils de surveillance et de contrôle à distance ont progressé pour aider les développeurs de projets à gérer et à optimiser les performances de vastes portefeuilles de sites de mini-réseaux.

Une fois les sites mis en service, l'éloignement de nombreux projets de mini-réseaux et les vastes portefeuilles de nombreuses entreprises d'énergie renouvelable peuvent constituer des obstacles à une exploitation et à une maintenance efficaces. Les mini-réseaux sont plus viables dans les endroits dépourvus d'infrastructures de réseau traditionnelles, où les réseaux de transport ou de communication font souvent défaut. En outre, les entreprises d'énergie renouvelable peuvent opérer dans une zone géographique étendue, ce qui rend les déplacements vers les sites individuels longs et coûteux. Jusqu'à récemment, les développeurs de projets pouvaient gérer leurs projets par le biais d'une approche de surveillance plus ad hoc. Cependant, l'augmentation du nombre d'actifs dans le portefeuille d'un développeur a fait naître le besoin de systèmes de contrôle et de surveillance des données plus efficaces et plus rentables.

Les entreprises s'appuient de plus en plus sur la télésurveillance et les plateformes de données pour réduire leurs coûts et optimiser leurs opérations. Les progrès des technologies de surveillance et de contrôle à distance ont permis de gérer à distance les sites les plus difficiles d'accès. Ces outils numériques réduisent les coûts des entreprises d'énergie renouvelable, estimés à au moins 15 % des frais d'exploitation et de maintenance, qui devaient auparavant allouer des ressources à des visites sur le terrain¹³². Même dans des environnements plus urbains tels que Lagos, au Nigeria, réputé pour sa circulation, la possibilité de résoudre les problèmes à distance permet de réaliser des économies de temps et d'argent considérables¹³³.

Les problèmes peuvent également être traités de manière proactive grâce à des boucles logiques et des algorithmes de contrôle avancés qui optimisent les performances du système, contribuant ainsi à réduire les coûts d'exploitation. Par exemple, la température des batteries peut être régulée selon des paramètres spécifiques grâce à des systèmes d'alerte intelligents, ou un générateur diesel peut être moins utilisé car le système est rendu plus réactif à la demande grâce à des boucles logiques¹³⁴. Lorsque les problèmes de performance du système sont traités de manière proactive et que les décisions sont automatisées, la performance de l'actif s'améliore, ce qui a pour effet d'améliorer l'expérience de l'utilisateur final, de réduire la nécessité de remplacer les composants et d'atténuer les coûts des projets en cours. Ces algorithmes basés sur des règles permettent également d'augmenter la productivité et de libérer du temps pour les équipes de développeurs de projets afin qu'elles

¹³² L'énergie au service du développement durable. 2023. [Quantification de l'impact et des avantages des solutions avancées de télésurveillance pour l'exploitation des mini-réseaux en Afrique subsaharienne.](#)

¹³³ Le podcast de l'entreprise Mini-Grid. 2024. [Gérer la complexité - outils numériques pour l'espace mini-réseau](#)

¹³⁴ Le podcast de l'entreprise Mini-Grid. 2024. [Gérer la complexité - outils numériques pour l'espace mini-réseau.](#)

puissent se consacrer à des activités commerciales essentielles, telles que l'augmentation d'échelle.

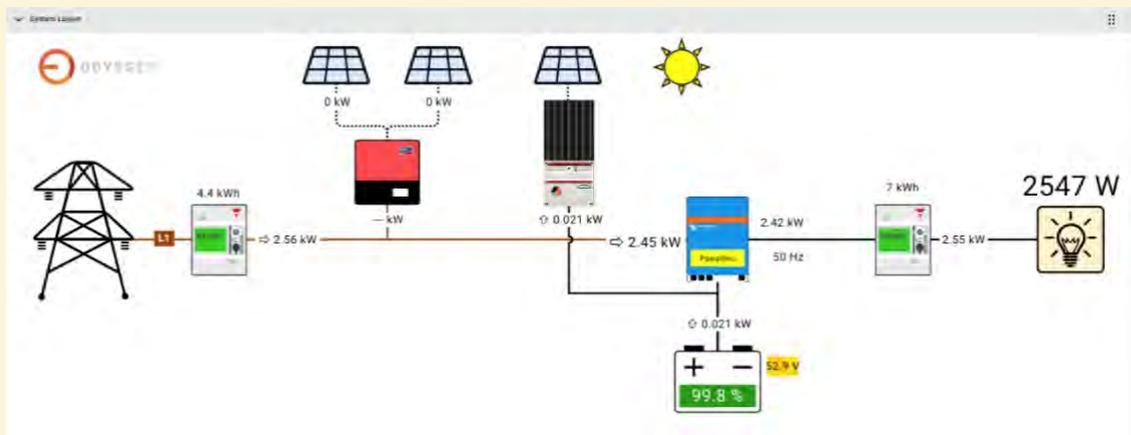
Les technologies de surveillance et de contrôle à distance peuvent également aider les développeurs de mini-réseaux à prendre des décisions mieux fondées sur les données concernant la conception d'un système. Ainsi, grâce à la capacité de dimensionner des composants tels qu'un groupe électrogène diesel, les dépenses d'investissement d'un projet peuvent être réduites. En empruntant ces voies - dépannage à distance, optimisation des opérations et conception plus intelligente - les économies pourraient représenter au moins 30% des coûts totaux du projet pour un développeur de mini-réseau donné. Cependant, pour réaliser pleinement les économies de coûts, le renforcement des capacités est essentiel en plus de la technologie elle-même. Par exemple, Odyssey a constaté qu'en plus de fournir sa puissante suite de surveillance, l'établissement d'une relation de travail étroite avec les équipes de développeurs et l'équipement des ingénieurs sur site avec une formation solide sont la clé du succès.

L'augmentation du nombre de sites sous la responsabilité d'un développeur s'est accompagnée d'une augmentation de la complexité des données qu'il doit gérer. Les solutions technologiques centralisées ont évolué pour répondre à la nécessité de nettoyer, de traiter et de gérer les données provenant de sites géographiquement dispersés et de diverses sources de données. Les grands développeurs de mini-réseaux souhaitent avoir une vue consolidée des projets, qui peut inclure des données provenant d'onduleurs, de compteurs de clients, d'interfaces de programmation d'applications de systèmes de paiement, d'outils de gestion de la relation client et de matériel sur site. Chacun de ces éléments est vital pour les opérations d'un développeur. Par exemple, le suivi et l'analyse des données de consommation de manière automatisée et efficace grâce à la technologie avancée des compteurs intelligents aident les développeurs à vérifier les connexions et à débloquer des financements. Ainsi, les solutions modernes de surveillance et de contrôle à distance doivent s'intégrer et collecter des données granulaires sur différentes marques d'équipement, ainsi que sur les systèmes de billetterie, de gestion de la relation client et de paiement, afin de rationaliser pleinement les opérations.

ENCADRÉ 2.22 Analyse avancée de la surveillance

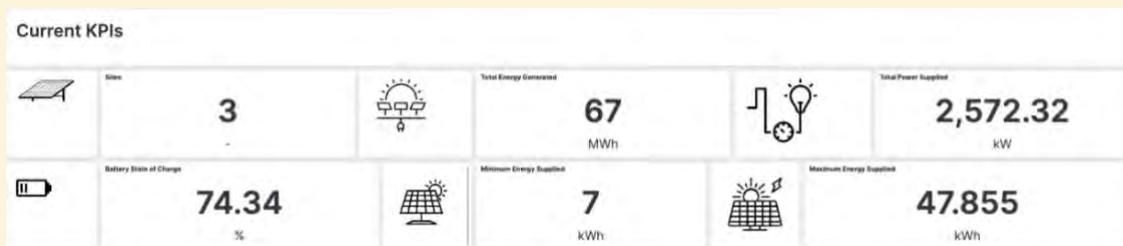
La capacité à visualiser et à analyser les données en temps réel est tout aussi importante que la capacité à collecter des données. Des tableaux de bord dynamiques et des systèmes d'alerte avancés permettent aux équipes d'exploitation et d'ingénierie d'avoir une vision granulaire des sites de projets spécifiques.

FIGURE 2.31 Exemple de tableau de bord technique



Avec l'échelle, les tableaux de bord de haut niveau s'adressent également aux équipes qui gèrent de nombreux actifs décentralisés. Ici, l'intégration avec des marques et des sources disparates permet aux équipes de gérer efficacement de grandes flottes de projets et de suivre facilement les indicateurs clés de performance et les progrès globaux de l'initiative. En outre, ces types de tableaux de bord d'impact offrent aux bailleurs de fonds et autres parties prenantes externes une image claire de la performance des projets, les aidant à comprendre où et comment le capital est déployé.

FIGURE 2.32 Exemple de tableau de bord des ICP



Source : Odyssey Energy Solutions

La télésurveillance peut également être une source essentielle d'enseignements pour les développeurs de mini-réseaux au fur et à mesure qu'ils développent leurs activités. L'une des principales raisons pour lesquelles les entreprises de mini-réseaux adoptent l'utilisation de solutions avancées de surveillance et de contrôle à distance est la nécessité d'améliorer les projets futurs en tirant des enseignements des opérations en cours. De cette manière, et comme la présence physique sur les sites devient moins essentielle, la surveillance à distance peut également être un catalyseur pour les développeurs qui souhaitent s'étendre géographiquement¹³⁵.

¹³⁵ Pittalis, Marco et al. 2023. "Quantifier les impacts et les bénéfices des solutions avancées de télésurveillance pour l'exploitation des mini-réseaux en Afrique subsaharienne". *L'énergie au service du développement durable* 77 : 101335.

Les outils logiciels sont également de plus en plus utilisés par les développeurs de projets de mini-réseaux pour gérer leurs clients et participer à des mécanismes de financement basés sur les résultats.

Les outils numériques deviennent partie intégrante de la gestion des interactions avec les clients. Une fois les sites mis en service, il faut gérer d'autres aspects de l'exploitation du projet, au-delà de la surveillance et du contrôle directs des systèmes. Par exemple, les développeurs de mini-réseaux agissent souvent comme de petits services publics, gérant simultanément leurs clients finaux et le système de mini-réseaux lui-même. Pour rationaliser la gestion des clients, des outils tels que Micropower Manager développé par INENSUS sont apparus pour faciliter les interactions bidirectionnelles avec les clients, les flux de trésorerie et même l'installation et l'utilisation d'appareils électriques.

En outre, la numérisation rationalise la collecte de données pour répondre aux exigences en matière de rapports. Les promoteurs de mini-réseaux qui participent aux programmes de FRB sont tenus de soumettre des données et de rendre compte de l'état d'avancement du projet pour bénéficier d'incitations spécifiques. À leur tour, les bailleurs de fonds concessionnels doivent vérifier les données et effectuer les décaissements en conséquence. Les bailleurs de fonds peuvent également être amenés à rendre compte des indicateurs clés de performance du programme à d'autres parties prenantes externes. Ce processus complexe et lourd en données serait, en somme, impossible sans la numérisation. Dans ce contexte, une plateforme logicielle telle qu'Odyssey permet aux développeurs de mini-réseaux de télécharger des millions de points de données et de vérifier automatiquement les connexions en direct grâce à des intégrations avec les compteurs intelligents sur site. La plateforme rationalise également la collecte et l'analyse des données pour les bailleurs de fonds, ainsi que l'ensemble du processus de paiement. Plutôt que de rassembler des données Excel disparates ou de rechercher des courriels ponctuels avec les développeurs d'un projet, les bailleurs de fonds bénéficient d'une vue d'ensemble de l'avancement d'un programme FBR et peuvent facilement superviser un projet spécifique.

Tendances économiques

Ces dernières années ont été marquées par une évolution positive de l'économie des mini-réseaux, notamment du LCOE, des coûts d'investissement, des coûts d'exploitation et des coûts de développement, comme indiqué dans les sections ci-dessous. Cela se reflète dans la croissance de l'ARPU, qui a augmenté entre 2020 et 2022, atteignant 8,30 USD en 2022 pour les sites mis en service avant 2019, contre 4,44 USD en 2020, dépassant ainsi les réseaux nationaux fortement subventionnés¹³⁶.

Dans la mesure du possible, cette analyse s'appuie sur les données de la base de données MGA, qui a été développée parallèlement à ce rapport. Néanmoins, il est important de reconnaître les limites posées par les problèmes de collecte de données. L'hésitation du secteur à divulguer

¹³⁶ AMDA. 2022. [Rapport sur l'analyse comparative des minigrids en Afrique](#).

des informations relatives aux dépenses d'investissement et aux dépenses d'exploitation a eu un impact notable sur la disponibilité des données. Par conséquent, la taille de l'échantillon est limitée par le nombre restreint de parties prenantes désireuses de fournir des données. De plus amples détails concernant la collecte de données sont disponibles à l'annexe A4.

LCOE

Conformément aux réductions importantes des coûts des mini-réseaux au cours des dernières années, analysées dans les sections 0 et 0 **le LCOE a également baissé**. Selon ESMAP¹³⁷ en 2018, le mini-réseau le plus performant produisait de l'électricité avec un LCOE de 0,55 USD par kWh, qui a ensuite chuté d'environ 31 % d'ici 2021 pour atteindre seulement 0,38 USD par kWh.¹³⁸ Dans les cas où le facteur de charge est plus élevé, une diminution encore plus importante du LCOE a été observée. Cette baisse est principalement due à la diminution du coût des composants des mini-réseaux ; la baisse des coûts de la production et du stockage photovoltaïques a également permis de réduire la consommation de carburant, ce qui a encore réduit le LCOE.¹³⁹ Enfin, un facteur crucial a été la baisse des coûts de développement grâce aux économies d'échelle. Par exemple, Husk Power a réalisé d'importantes réductions de LCOE, rapportant des LCOE inférieurs à 0,30 USD/kWh sur ses sites les plus récents en Inde, et s'est fixé pour objectif d'atteindre 0,17 USD/kWh d'ici 2030.¹⁴⁰

Le LCOE est une mesure cruciale non seulement pour les développeurs mais aussi pour les investisseurs, car il représente le potentiel des mini-réseaux à concurrencer la technologie en place, généralement le diesel. Pour faire baisser le LCOE et rendre ainsi les mini-réseaux plus compétitifs, il faut s'attaquer aux facteurs susceptibles de l'influencer de manière significative. Un aspect essentiel à cet égard est le facteur de charge, qui mesure le taux d'utilisation du mini-réseau, calculé en divisant la charge moyenne par la charge de pointe sur une année. L'analyse des données a montré qu'un facteur de charge plus élevé, par exemple en encourageant les utilisations productives de l'électricité (pour lesquelles la demande est plus élevée pendant la journée), conduit à un LCOE plus faible.

Par exemple, l'impact du PUE sur le LCOE a été étudié à l'aide de l'outil LCOE REopt du NREL pour une communauté de 500 ménages au Kenya dans deux scénarios : l'un sans aucune activité PUE et l'autre avec des charges d'irrigation et de meunerie. Le LCOE résultant dans le premier scénario était de 0,329 USD/kWh, tandis que dans le second scénario, il était de 0,298 USD/kWh.¹⁴¹ Ces réductions sont conformes aux résultats de la modélisation de l'ESMAP de trois scénarios représentant différents facteurs de charge ; le premier scénario est le cas de base (facteur de charge de 22 %) représentant une charge résidentielle rurale typique. Les deux

¹³⁷ ESMAP. 2022. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Perspectives du marché et manuel à l'intention des décideurs](#).

¹³⁸ Non subventionné, avec un taux de remplissage de 22%.

¹³⁹ ESMAP. 2022. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Perspectives du marché et manuel à l'intention des décideurs](#).

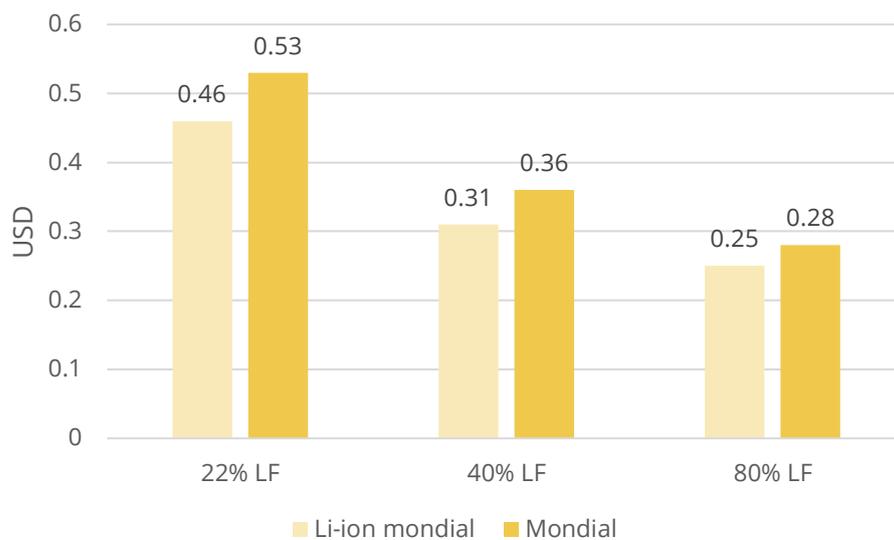
¹⁴⁰ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen et Ashish Shrestha. 2024. [Solutions de mini-réseau pour les clients mal desservis : Nouvelles perspectives au Nigeria et en Inde](#).

¹⁴¹ Webinaire du Partenariat africain d'action pour le climat. 2022. [Analyse technico-économique des minigrids PUE en Afrique - YouTube](#).

autres scénarios représentent des facteurs de charge plus élevés, à savoir 40 % (cas moyen) et 80 % (cas élevé), grâce à l'ajout de charges à usage productif telles que le pompage de l'eau, le traitement agricole, le stockage frigorifique avec inertie thermique et le chargement de véhicules électriques, pendant les heures creuses. Comme le montre la Figure 2.33 ci-dessous, des facteurs de charge plus élevés conduisent à un LCOE toujours plus bas.

Le choix des composants des mini-réseaux, tels que le type de batterie, a un impact important sur le LCOE. Le passage du type de batterie généralement utilisé dans les mini-réseaux de l'acide-plomb au lithium-ion, comme souligné dans la section 0a eu une incidence sur le LCOE, étant donné que le lithium-ion a des coûts initiaux similaires mais des caractéristiques de performance supérieures, ce qui se traduit par des coûts de cycle de vie inférieurs. La figure 2.33 présente le LCOE pour deux catégories de mini-réseaux : La catégorie "Global Li-ion" est limitée aux mini-réseaux utilisant des batteries lithium-ion, tandis que la catégorie "Global" comprend également les mini-réseaux utilisant des batteries plomb-acide. Il est évident que le LCOE des mini-réseaux utilisant des batteries au lithium-ion est systématiquement inférieur.

FIGURE 2.33 LCOE en fonction du facteur de charge et du type de solution de stockage



Note : LF signifie facteur de charge.

Source : ESMAP : ESMAP. 2022. [Des mini-réseaux pour un demi-milliard de personnes : Market Outlook and Handbook for Decision Makers.](#)

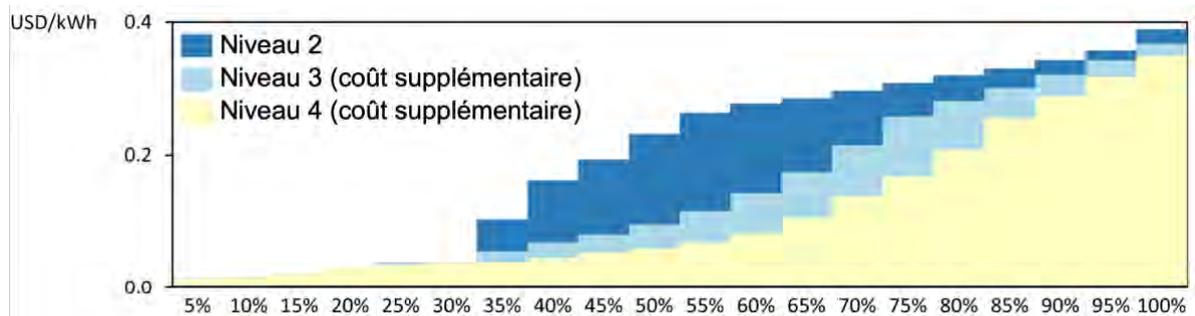
L'interconnexion avec le réseau principal peut également faire baisser le LCOE. Selon l'analyse des coûts effectuée par la Banque mondiale sur six projets de mini-réseaux interconnectés au Nigeria, ces mini-réseaux permettent de réduire le LCOE de 20 % par rapport aux mini-réseaux non interconnectés.¹⁴² Les économies réelles varient en fonction de facteurs tels que le coût de l'électricité en gros de la compagnie de distribution et les heures par jour

¹⁴² Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen et Ashish Shrestha. 2024. [Solutions de mini-réseau pour les clients mal desservis : Nouvelles perspectives au Nigeria et en Inde.](#)

pendant lesquelles la compagnie de distribution peut fournir de l'électricité. Les économies de LCOE sont à peu près doublées lorsque la fourniture d'électricité par la société de distribution est ferme.

Les chiffres du LCOE doivent être contextualisés afin d'être interprétés de manière significative. Par exemple, le LCOE dépend des niveaux d'électrification ; les niveaux inférieurs entraînent un LCOE plus élevé, comme le montre la Figure 2.34. Les niveaux inférieurs se traduisent par un LCOE plus élevé, comme le montre la figure 2.34, car l'investissement en capital est élevé par rapport à la production d'électricité sur la durée de vie de l'actif. Les variations de niveau peuvent représenter des applications d'utilisation productive à petite échelle, qui se situeraient généralement entre le niveau 3 et le niveau 4.¹⁴³ De même, le contexte national est crucial, car il entraîne des droits d'importation et des taxes variables. Dans ce sens, une distinction peut être faite entre le LCOE financier (incluant les droits d'importation, les taxes et tous les autres coûts rapportés par les développeurs pour la construction et l'exploitation d'un mini-réseau) et le LCOE économique, qui n'inclut pas ces coûts. Du point de vue de l'opérateur du secteur privé, le LCOE financier a plus de valeur, tandis que les décideurs politiques qui décident des approches de l'électrification sont intéressés par le LCOE économique.¹⁴⁴

FIGURE 2.34 Courbe du LCOE de l'électrification pour l'Afrique subsaharienne par niveau



Source : Egli, F., C. Agutu, B. Steffen et T. Schmidt. 2023. [Le coût de l'électrification de tous les ménages dans 40 pays d'Afrique subsaharienne d'ici 2030](#). *Nat Commun* 14 : 5066.

Une approche progressive de la conception technique peut contribuer à réduire les LCOE. Étant donné la difficulté d'estimer correctement la demande, le surdimensionnement - et donc la sous-utilisation des systèmes - est un risque clé qui fait augmenter le LCOE. Des évaluations détaillées de la demande basées sur la collecte de données sur le terrain peuvent aider à estimer les charges avec plus de précision, ce qui permet d'atténuer partiellement le risque lié à la demande, comme le souligne l'Encadré 2.23.

¹⁴³ Egli, F., C. Agutu, B. Steffen et T. Schmidt. 2023. [Le coût de l'électrification de tous les ménages dans 40 pays d'Afrique subsaharienne d'ici 2030](#). *Nat Commun* 14 : 5066.

¹⁴⁴ ESMAP. 2022. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Perspectives du marché et manuel à l'intention des décideurs](#).

ENCADRÉ 2.23 Une approche progressive du dimensionnement du système

PowerGen utilise HOMER Pro pour créer des simulations d'un nouveau système de mini-réseau, pour déterminer les tailles optimales des systèmes solaires et des batteries et pour calculer le LCOE.¹⁴⁵ Dans un premier temps, étant donné que la demande en électricité est une inconnue cruciale dans cet exercice de modélisation, PowerGen fait appel à des équipes d'acquisition de clients pour mener des **études de site et des enquêtes** afin de déterminer la consommation électrique de la communauté. Tout d'abord, les charges les plus importantes, y compris les entreprises locales, les hôpitaux, les écoles et les bâtiments gouvernementaux, sont estimées. Sur la base de l'expérience acquise dans le cadre de projets de mini-réseaux en Afrique, les données d'enquête peuvent être utilisées pour estimer les charges électriques résidentielles et leur taux de croissance.

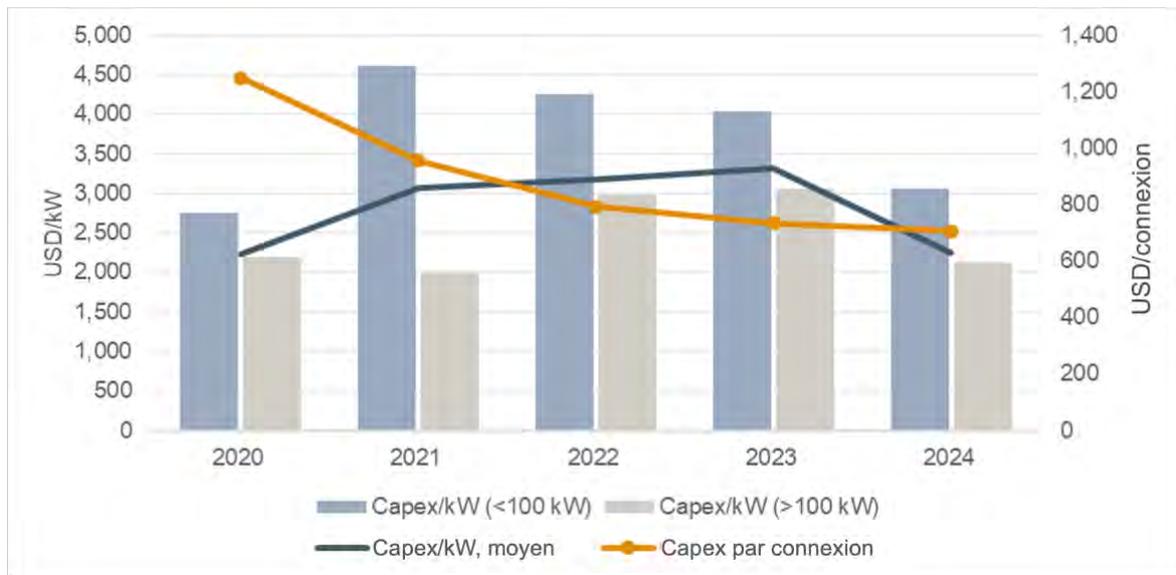
Dans un deuxième temps, les taux de consommation de la première tranche de clients sont soigneusement observés et les données de consommation réelles sont utilisées pour planifier la deuxième phase de construction. De cette manière, PowerGen peut déterminer les besoins réalistes du système et dimensionner les ressources de production et de stockage pour atteindre un coût optimal.

Source : HOMER Microgrid News. 2022. [Nigerian minigrids improve power reliability and utility revenues for communities “under” the grid.](#)

Coûts d'investissement

Les dépenses d'investissement n'ont cessé de diminuer au cours des quatre dernières années. Comme l'indique la Figure 2.35 le coût moyen des investissements par raccordement à un mini-réseau a chuté de 43 %, passant de 1 250 USD en 2020 à 707 USD en 2024. Tout au long de la période 2021-2024, les coûts d'investissement par kW sont restés aux alentours de 3 000 USD, avant de tomber à environ 2 200 USD en 2024. Cette tendance à la baisse des coûts reflète les avancées technologiques du secteur, les gains d'efficacité en matière d'approvisionnement et la mise à l'échelle des opérations, qui contribuent collectivement à réduire les obstacles financiers au déploiement de nouveaux projets de mini-réseaux. Au cours de la période 2020-2024, le coût marginal des investissements pour les sites de moins de 100 kW a été, en moyenne, 50 % plus élevé que celui des sites plus importants.

¹⁴⁵ Le LCOE fourni par HOMER Pro exclut généralement les dépenses associées aux actifs de distribution, à moins qu'elles ne soient explicitement incluses dans les coûts d'investissement. Par conséquent, le LCOE calculé dans HOMER Pro peut ne pas correspondre au LCOE financier ou économique mentionné ci-dessus.

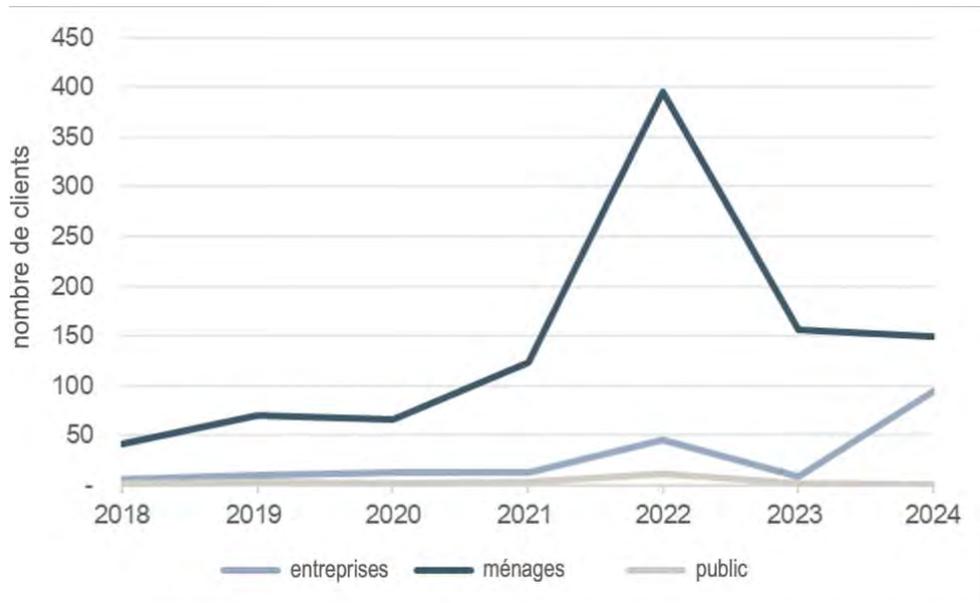
FIGURE 2.35 Coûts d'investissement par kW installé

Source : Analyse de la CCE basée sur la base de données MGA ; Analyse de la CEA basée sur la base de données MGA.

Les dynamiques qui influencent les investissements dans le secteur des mini-réseaux sont façonnées par deux tendances contradictoires. D'une part, le marché mondial a connu une escalade significative des prix des matériaux de construction essentiels depuis le début de la pandémie de COVID-19. Le prix du cuivre, par exemple, a presque doublé, reflétant des tendances similaires dans les prix du bois et du béton, tandis que l'acier, un autre composant essentiel, a connu des augmentations plus modérées. Ces matériaux jouent un rôle essentiel dans la construction des mini-réseaux, ce qui a un impact direct sur leurs coûts d'investissement.

De leur côté, les promoteurs élaborent des stratégies pour atténuer cette hausse des coûts en adoptant des approches plus efficaces. Une stratégie notable consiste à développer des projets de mini-réseaux de plus grande envergure (voir Figure 2.36), ciblant davantage de clients, et la création de chaînes de valeur verticalement intégrées, qui se sont avérées efficaces pour réduire les coûts marginaux. C'est le cas de Husk Power, une entreprise qui a considérablement réduit ses dépenses d'investissement en Inde, passant de 3 USD/Wp en 2018 à 2 USD/Wp en 2020. Cette réduction a été obtenue grâce à une gestion méticuleuse de la chaîne d'approvisionnement, à l'optimisation de la conception des systèmes et à l'affinement des processus opérationnels, de l'approvisionnement à l'installation. Cette approche souligne la capacité d'adaptation du secteur et les stratégies innovantes mises en œuvre pour contrebalancer les effets négatifs de l'augmentation des coûts des matériaux au niveau mondial sur le développement des mini-réseaux.¹⁴⁶

¹⁴⁶ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen et Ashish Shrestha. 2024. *Solutions de mini-réseau pour les clients mal desservis : Nouvelles perspectives au Nigeria et en Inde.*

FIGURE 2.36 Nombre moyen de clients par mini-réseau déclaré

Source : Analyse de la CCE basée sur la base de données MGA : Analyse de la CEA basée sur la base de données MGA.

La saturation du marché est un autre facteur qui influe sur les coûts d'investissement.

Dans certains pays, principalement en Asie du Sud, la saturation du marché oblige les développeurs à atteindre les consommateurs les plus difficiles à atteindre. En Inde, par exemple, les taux d'électrification extrêmement élevés signifient que les consommateurs non raccordés sont probablement ceux qui vivent dans les zones les plus reculées, et donc les plus "chères". Un autre aspect de ce défi est qu'à mesure que les économies se développent, tant au niveau local que national, les consommateurs d'électricité des mini-réseaux commencent à exiger une qualité de fourniture d'énergie qui nécessite des coûts initiaux plus élevés. Par exemple, à mesure que les économies se développent, la demande d'électricité augmente également, tant en termes absolus que temporels. Cela augmente la demande de connexions stables et fiables, ce qui oblige les développeurs à s'assurer que leurs réseaux sont plus fiables au fil du temps.

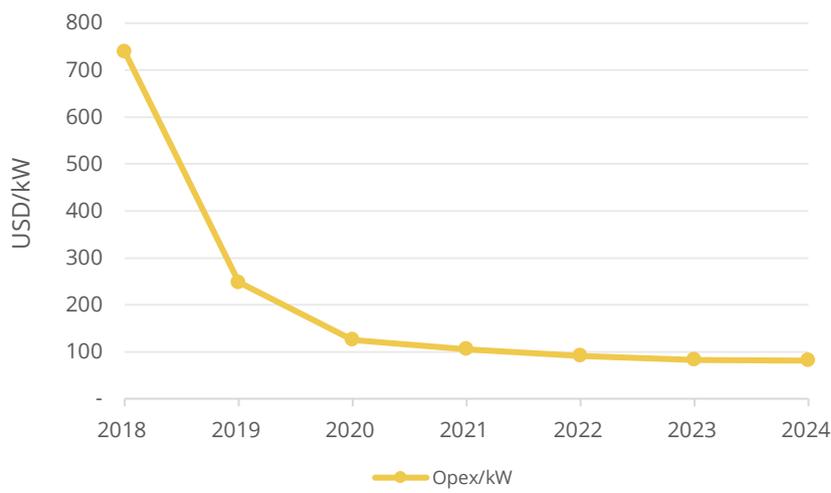
Coûts Opex

Parallèlement à la dynamique observée dans les coûts d'investissement, les coûts d'exploitation dans le secteur des mini-réseaux ont également connu une baisse notable au cours des dernières années. Cette tendance reflète les gains d'efficacité et l'optimisation des coûts à l'échelle du secteur. Selon les données de l'AMDA, il y a eu une réduction substantielle des coûts d'exploitation de 41 % entre 2020 et 2022. Plus précisément, le coût par client et par mois est passé d'une fourchette de 2,50 USD à 6 USD en 2020 à une fourchette plus abordable de 1 USD à 4 USD en 2022. Cette réduction est un résultat significatif, qui témoigne de l'amélioration de l'efficacité opérationnelle et des pratiques de gestion des coûts parmi les opérateurs de mini-réseaux.

Cette tendance est également illustrée, la figure 2.37 met en évidence la diminution des coûts d'exploitation par kW, qui passent d'environ 250 USD/kW en 2019 à 80 USD/kW en 2024. Cette

baisse peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment les progrès technologiques, les économies d'échelle liées à l'expansion du secteur et l'adoption de pratiques opérationnelles plus efficaces. Les innovations en matière de technologies de surveillance et de contrôle à distance, par exemple, ont joué un rôle essentiel dans la réduction des besoins de maintenance sur site, diminuant ainsi les coûts opérationnels globaux. En outre, à mesure que les opérateurs acquièrent de l'expérience et que le marché mûrit, on assiste à une progression naturelle vers des modèles opérationnels plus rationalisés et plus rentables.

FIGURE 2.37 Coûts d'exploitation moyens par kW



Note : Les coûts Opex comprennent : O&M, transport, remplacement, sécurité, argent mobile, comptage, agent local et coûts d'exploitation centraux (par exemple, frais juridiques).

Source : Analyse de la CEA basée sur la base de données MGA : Analyse de la CEA basée sur la base de données MGA.

Frais de développement

Il est difficile d'obtenir des données sur les coûts de développement, étant donné le manque de normalisation dans la manière dont ces coûts sont déclarés. Alors que certaines entreprises semblent déclarer explicitement les coûts de développement des projets, d'autres promoteurs les combinent avec les coûts d'équipement sous la forme de majorations, ou internalisent ces coûts et ne les déclarent pas du tout.

Les économies d'échelle sont essentielles pour réduire les coûts de développement. L'analyse de l'ESMAP a montré que les mini-réseaux construits séparément d'un portefeuille ont des coûts accessoires moyens (développement du projet et logistique) nettement plus élevés. En particulier, les mini-réseaux construits dans le cadre d'un portefeuille ont permis d'économiser en moyenne 81 000 USD en coûts indirects, par rapport aux mini-réseaux construits dans le cadre de projets ponctuels.¹⁴⁷

¹⁴⁷ ESMAP. 2022. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Perspectives du marché et manuel à l'intention des décideurs.](#)

La numérisation est un autre facteur crucial qui a entraîné une forte baisse des coûts de développement des projets. Les outils qui facilitent le processus de développement des projets comprennent Odyssey, VIDA et le logiciel Site Wizard for Analysis, Reconnaissance and Mapping (SWARM) utilisé par Powerhive.¹⁴⁸ Ce logiciel permet aux développeurs d'identifier à distance des sites viables sur de vastes régions, réduisant ainsi les coûts de développement des projets. En s'appuyant sur des données financières, techniques et géospatiales, SWARM identifie les emplacements optimaux des mini-réseaux et calcule la taille du système nécessaire, ce qui permet d'établir une liste des sites les plus viables par ordre de priorité.

Vers une approche holistique de l'électrification

Bien que l'analyse de l'économie des mini-réseaux soit précieuse pour montrer le potentiel des mini-réseaux à électrifier les zones non desservies de manière rentable et pour identifier les moyens de réduire davantage le coût du service, il est crucial de reconnaître les limites de l'utilisation du LCOE comme mesure unique du succès des mini-réseaux. Le LCOE des mini-réseaux incorpore généralement le coût des actifs de distribution, qui peut varier considérablement d'un site à l'autre. Cette variation rend difficile la comparaison d'un LCOE avec d'autres technologies telles que les produits solaires hors réseau et l'extension du réseau, car les bases de coûts peuvent différer. Par ailleurs, les mini-réseaux ne se contentent pas de fournir de l'énergie, ils stimulent également la demande future d'électricité grâce à des stratégies de développement socio-économique solides. Les mini-réseaux qui réussissent sont le plus souvent ceux qui adoptent une approche holistique, contribuant à la croissance de l'économie et de la communauté locales environnantes et, par conséquent, à l'augmentation de la demande d'électricité.

¹⁴⁸ Powerhive. s.d. [Technologie](#).



CHAPITRE TROIS

IMPACTS

Les mesures de performance et l'impact sociétal ont toujours démontré la supériorité des mini-réseaux par rapport aux services publics nationaux. Les mini-réseaux surpassent les services publics nationaux dans les pays où ils opèrent en ce qui concerne les mesures de service, y compris le temps de disponibilité, la qualité de l'énergie, les connexions fiables et la création d'emplois en aval. Leur temps de fonctionnement est constamment élevé, en moyenne supérieur à 99 %, alors que les réseaux nationaux subissent beaucoup plus de pannes.¹⁴⁹

Une approche cohérente de la mesure de l'impact permet au secteur d'évaluer les résultats créés par les projets de mini-réseaux de manière transparente et cohérente. Grâce au suivi et à l'évaluation continus des projets de mini-réseaux, les décideurs politiques, les institutions multilatérales, les entreprises, les investisseurs et les autres parties prenantes du secteur peuvent évaluer les approches qui ont le mieux fonctionné, identifier les domaines susceptibles d'être améliorés et prendre des décisions éclairées pour les projets futurs. En outre, les mesures d'impact sont un élément clé des systèmes de financement basés sur les résultats (RBF), qui versent des subventions en fonction de résultats prédéfinis qui doivent être vérifiés.

¹⁴⁹ AMDA 2022. [Rapport 2022 sur l'analyse comparative des minigrids en Afrique.](#)

Mesurer l'impact dans le cadre des ODD

Le secteur adopte de plus en plus des cadres de suivi et d'évaluation globaux pour saisir l'impact multiforme des mini-réseaux. Les financiers des mini-réseaux, y compris les organismes donateurs et les investisseurs privés, ont établi des mesures d'impact liées aux objectifs de développement durable (ODD) des Nations unies. Bien que le secteur ne dispose pas encore d'une approche largement adoptée ou normalisée pour mesurer l'impact, le thème commun des différentes méthodologies est de saisir les trois aspects clés de l'impact, à savoir l'économique, le social et l'environnemental. Ainsi, les mesures englobent non seulement les progrès vers l'ODD 7 (énergie abordable et propre), mais aussi :

- Les OMD 1 (pas de pauvreté), 8 (travail décent et croissance économique) et 9 (industrie, innovation et infrastructure) font partie de l'impact **économique**. Par exemple, un mini-réseau standard de 20 kW crée environ trois emplois à temps plein.¹⁵⁰
- L'impact **social des projets de** développement durable s'inscrit dans le cadre des ODD 3 (santé et bien-être), 4 (éducation de qualité), 5 (égalité des sexes) et 11 (villes et communautés durables). Selon une étude réalisée en Inde, les mini-réseaux électriques réduisent les maladies respiratoires, car ils diminuent la forte dépendance des ménages à l'égard du kérosène, permettent aux enfants d'étudier plus longtemps après le coucher du soleil et améliorent la sécurité des femmes à la tombée de la nuit grâce à un environnement bien éclairé.¹⁵¹
- L'ODD 13 (action climatique) fait partie de l'impact **environnemental**. Par exemple, dans le portefeuille d'EEP Africa, les mini-réseaux ont réduit les émissions de carbone de 490 tCO₂-eq par projet au cours de leur durée de vie.¹⁵²

¹⁵⁰ L'électricité pour tous. 2022. [Recensement des emplois 2022 : la main-d'œuvre dans le domaine de l'accès à l'énergie.](#)

¹⁵¹ La Fondation Rockefeller. 2017. [Comprendre l'impact de l'électrification rurale en Uttar Pradesh et Bihar, Inde.](#)

¹⁵² EEP Afrique. 2018. Opportunités et défis dans le secteur des mini-réseaux en Afrique.

FIGURE 3.1 Les ODD et les mini-réseaux



■ ODD pertinents pour les mini-réseaux

Source : ECA.

Ainsi, outre le nombre de connexions réalisées ou le nombre de mini-réseaux déployés, les mesures d'impact tiennent compte de la création d'emplois et de l'amélioration des moyens de subsistance, ainsi que de la réduction des émissions de carbone, certaines méthodologies fournissant également des mesures ventilées par sexe afin de rendre compte de l'impact positif en matière d'égalité des sexes.

Par exemple, Energising Development (EnDev) utilise un système de suivi et d'évaluation complet, qui mesure l'impact en termes de développement social, de développement économique et de changement climatique, en utilisant les catégories suivantes¹⁵³:

- **Bénéficiaires** : ménages (HH), institutions sociales (SI), micro, petites et moyennes entreprises (MSME), taille moyenne des HH, part des femmes dans les HH/SI/MSME, part des HH/SI/MSME dirigées par des femmes.
- **Technologie** : mode d'électrification (systèmes photovoltaïques, mini-réseau/nano-réseau, réseau), appareils électriques (y compris la cuisine électronique), durée de vie prévue, niveau de qualité de l'accès, capacité installée.
- **Type de soutien** : Soutien au développement des entreprises, partenariat stratégique, subvention du côté de la demande, énergie humanitaire, cuisson de niveau supérieur, RBF, réponse COVID-19
- **Résultats** : Nombre de connexions, nombre de systèmes vendus, nombre de personnes nouvellement connectées/ayant un meilleur accès, emplois dans l'utilisation productive

¹⁵³ Entretien du consultant avec EnDev et EnDev. 2022. [Rapport d'avancement 2022](#).

de l'énergie (PUE), emplois pour les femmes, émissions de CO₂ -eq économisées, biomasse économisée.

En outre, EnDev adopte une **approche** consistant à "**ne laisser personne de côté**", qui vise à atteindre les groupes défavorisés, tels que les réfugiés, les personnes déplacées à l'intérieur du pays et les communautés d'accueil, les femmes défavorisées sur le plan socio-économique, les plus pauvres parmi les pauvres et les personnes handicapées, ainsi que les groupes indigènes et les minorités ethniques. Cette stratégie est essentielle compte tenu de la répartition inégale actuelle de l'accès à l'électricité ; les consommateurs les moins aisés continuent de connaître des niveaux d'accès inférieurs à ceux de leurs homologues plus riches, et des disparités existent également entre les sexes, les hommes constituant la majorité de ceux qui ont accès à l'électricité¹⁵⁴.

De même, l'Alliance mondiale de l'énergie pour les peuples et la planète (GEAPP) utilise un "tableau de bord de l'impact", qui permet de suivre les impacts directs et indirects en contrôlant les résultats en temps réel par rapport à ses principaux objectifs stratégiques. Le tableau de bord d'impact du GEAPP établit une distinction entre les indicateurs à court terme, qui se concentrent sur la capacité installée (à savoir les MW installés, les mini-réseaux déployés et les systèmes solaires C&I déployés), et les indicateurs à long terme, qui englobent trois catégories principales (également illustrées dans la Figure 3.2):

- **Connecter les gens** : Mesuré par le nombre de personnes et d'entreprises bénéficiant d'un accès nouveau ou amélioré. L'indicateur est aligné sur le cadre à plusieurs niveaux de la Banque mondiale, qui met l'accent sur la qualité, la fiabilité et l'accessibilité financière en tant qu'indicateurs les plus pertinents de l'amélioration de l'accès dans les zones où la couverture universelle est atteinte ou presque atteinte.
- **Création d'emplois** : Mesuré par le nombre d'emplois et de moyens de subsistance soutenus par les projets financés par le GEAPP, cet indicateur rend compte de la création directe d'emplois grâce aux investissements dans les énergies renouvelables et à la transition vers l'abandon des combustibles fossiles, ainsi que de l'amélioration des moyens de subsistance liée à la fourniture d'énergies renouvelables financée par le GEAPP.
- **Réduction des émissions de CO₂** : Mesurée par les tonnes cumulées de CO₂ -eq réduites ou évitées tout au long du cycle de vie des projets¹⁵⁵.
- Le GEAPP mesure également la mobilisation financière directe et indirecte, qui est le principal mécanisme de soutien par lequel il crée un impact. Grâce à sa stratégie de financement mixte, le GEAPP a atteint un taux de levier¹⁵⁶ de 2,4 par rapport à son portefeuille d'investissements dans le secteur des énergies renouvelables, déclenchant des investissements publics et privés qui n'auraient peut-être pas eu lieu sans son soutien.

¹⁵⁴ 60 décibels. 2020. [Pourquoi l'énergie hors réseau est importante.](#)

¹⁵⁵ GEAPP. 2023. [Rapport d'impact 2023.](#)

¹⁵⁶ USD mobilisés directement ou indirectement pour 1 USD d'investissement du GEAPP.

FIGURE 3.2 Aperçu des mesures d'impact du GEAPP

| | | | | |
|--------------------------|---|---|---|---|
| |  |  |  |  |
| | TONNES CUMULÉES DE CO2E RÉDUITES OU ÉVITÉES | EMPLOIS/MOYENS DE SUBSISTANCE SOUTENUS | PERSONNES/ENTREPRISES BÉNÉFICIAIRES D'UN ACCÈS NOUVEAU/AMÉLIORÉ | USD MOBILISATION FINANCIÈRE DIRECTE ET INDIRECTE |
| INDICATEURS À LONG TERME | 147,000 | 605,000 | 1,285,000 | \$1.07B |
| CIBLES EN VUE | 43,300,000 | 2,175,000 | 77,300,000 | \$6.12B |

Source : GEAPP, 2023. [Rapport d'impact 2023](#).

Enfin, EEP Africa présente des indicateurs standardisés (notamment les économies réalisées sur les dépenses liées à l'énergie, les personnes bénéficiant d'un meilleur accès à l'énergie, les émissions de CO₂-eq réduites ou évitées, la création d'emplois directs et les femmes occupant des postes de direction, comme le montre la Figure 3.3) par pays d'initiative. Outre les indicateurs clés, le fonds suit également les financements obtenus, les ventes d'appareils à haut rendement énergétique et l'accès à l'énergie à des fins d'utilisation productive.

FIGURE 3.3 Aperçu de l'impact projeté par EEP pour son portefeuille actif, dans le cadre des ODD



Source : EEP Afrique : EEP Afrique. n.d. [Résultats](#).

En ce qui concerne l'impact environnemental des mini-réseaux, le secteur ne dispose pas d'une méthodologie normalisée pour mesurer les émissions de carbone déplacées par les mini-réseaux. Les méthodes existantes calculent les émissions évitées sur la base de l'énergie produite par les mini-réseaux et d'un facteur d'émission par défaut, qui suppose que tous les consommateurs des mini-réseaux utilisaient auparavant une seule source d'énergie, telle qu'un générateur diesel, alors que dans la pratique, les consommateurs utilisent généralement une variété de sources. En outre, le calcul des émissions sur la base de l'énergie produite peut

conduire à des résultats trompeurs si une partie de cette énergie n'est pas consommée¹⁵⁷. Pour répondre à ces questions, SEforALL a développé l'outil d'évaluation des émissions des mini-réseaux, utilisé par le Fonds pour l'énergie universelle (UEF), qui offre une approche harmonisée pour quantifier les avantages des mini-réseaux en termes d'atténuation, sur la base d'hypothèses réalistes.

En ce qui concerne les considérations environnementales, sociales et de gouvernance (ESG), bien que les bailleurs de fonds aient adopté des cadres de mesure ESG similaires, les paramètres de base utilisés varient encore d'un bailleur de fonds à l'autre.

L'identification et l'atténuation des risques ESG sont généralement menées conformément aux huit normes de performance de la SFI, mais les mesures et les modèles de rapport utilisés ne sont pas normalisés, ce qui impose un coût important aux développeurs. Ce coût est particulièrement élevé lorsqu'il s'agit de la diligence raisonnable de la chaîne d'approvisionnement en matière de droits de l'homme. Alors que le secteur des mini-réseaux se développe, les problèmes de travail forcé et de travail des enfants dans les mines et, par extension, dans les chaînes d'approvisionnement en batteries doivent être abordés. Cependant, les développeurs manquent actuellement de conseils de la part des financiers pour cartographier et traiter ces risques, tout en répercutant le coût de la traçabilité de la chaîne d'approvisionnement sur les consommateurs.

Enfin, il convient de noter que la réalisation des ODD entre parfois en conflit avec les modèles commerciaux existants. Étant donné que la rentabilité reste un facteur clé pour les développeurs de mini-réseaux, il arrive souvent que le nombre de connexions soit réduit pour augmenter la rentabilité. Plus précisément, les développeurs de sites de mini-réseaux plus importants adoptent une approche stratégique pour parvenir à une utilisation complète au cours des 12 premiers mois d'exploitation, en sous-dimensionnant légèrement l'infrastructure dans un premier temps, afin d'atteindre rapidement un taux d'utilisation de 100%. Cette approche minimise le risque d'électricité bloquée, un scénario dans lequel l'électricité produite reste inutilisée en raison de l'absence de clients connectés ou d'une demande suffisante. Une fois la pleine utilisation atteinte, les développeurs peuvent alors présenter aux investisseurs un dossier convaincant pour l'expansion des opérations, en démontrant à la fois la demande et l'efficacité du site. L'approche de Nuru en est un exemple, puisque la société s'engage à utiliser 75 % d'énergies renouvelables sur l'ensemble de ses sites. Cependant, à mesure qu'ils progressent vers une utilisation à 100%, il est nécessaire d'augmenter temporairement la part du diesel dans le mini-réseau pour assurer une alimentation électrique cohérente.

Approches axées sur le client pour mesurer l'impact

Parmi les approches innovantes de mesure de l'impact, on trouve également des entreprises tierces qui utilisent des enquêtes pour mesurer l'impact social dans le monde entier. Par exemple, 60 décibels, une société de mesure d'impact, a développé un indice d'énergie hors réseau basé sur des enquêtes qui fournit des données de performance sociale comparées sur l'impact des systèmes solaires domestiques, des lanternes, des appareils, des

¹⁵⁷ SEforALL. n.d. [Mini-grids emissions tool](#).

mini-réseaux et des fourneaux de cuisine propres. En se concentrant sur le secteur des mini-réseaux, les résultats présentés dans le tableau 3.1 sont basées sur des enquêtes menées auprès de 2 445 clients desservis par sept entreprises dans cinq pays. Les résultats sont encourageants en ce qui concerne l'accès : 84 % des clients accèdent à l'électricité pour la première fois, 97 % des clients ne sont pas raccordés au réseau et 94 % des clients abandonnent les sources traditionnelles. Cependant, l'accès *équitable* reste un défi, avec seulement 27% de femmes parmi les clients et des clients à faible revenu mal desservis.

TABLEAU 3.1 Mesures d'impact à 60 décibels pour le secteur des mini-réseaux

| METRIQUE | DESCRIPTION | IMPACT DES ENTREPRISES INTERROGÉES |
|---|--|------------------------------------|
| PROFIL | | |
| Atteinte à la pauvreté | Pourcentage de clients vivant en dessous du seuil de pauvreté international de la Banque mondiale, soit 3,20 USD par personne et par jour | 57% |
| Taux d'inclusion | Degré de desserte des clients à faibles revenus par rapport à la population du pays (1 = parité avec la population nationale, > 1 = desserte excessive, < 1 = desserte insuffisante) | 0.9 |
| Portée féminine | Pourcentage de clients féminins | 27% |
| Portée rurale | Pourcentage de clients vivant dans des zones rurales par rapport aux zones périurbaines et urbaines | 69% |
| Pas d'accès au réseau électrique | Pourcentage de clients non raccordés au réseau national | 97% |
| IMPACT | | |
| Qualité de vie très améliorée | Pourcentage de clients dont la qualité de vie s'est beaucoup améliorée grâce au service énergétique | 43% |
| Faire face à une lourde charge de remboursement | Pourcentage de clients déclarant que les paiements pour le service énergétique constituent une lourde charge | 16% |
| L'escalier de l'énergie s'est déplacé | Pourcentage de clients ayant abandonné les sources d'énergie plus traditionnelles/de base | 94% |
| Premier accès | Pourcentage de clients accédant au service énergétique pour la première fois | 84% |
| Utilisation productive | Pourcentage de clients utilisant le service énergétique pour des activités génératrices de revenus | 21% |
| EXPÉRIENCE | | |
| Taux de contestation des clients | Pourcentage de clients ayant rencontré des difficultés lors de l'utilisation du service énergétique | 36% |

| METRIQUE | DESCRIPTION | IMPACT DES ENTREPRISES INTERROGÉES |
|------------------------|---|------------------------------------|
| Questions non résolues | Pourcentage de clients en difficulté dont les problèmes n'ont pas été résolus | 55% |

Source : 60 décibels. 2024. [Pourquoi l'énergie hors réseau est importante.](#)

Selon les enquêtes menées par 60 décibels, les trois impacts les plus importants pour les clients des mini-réseaux sont l'accès à un (meilleur) éclairage, la fiabilité et l'accès aux appareils électroménagers.

Oikocredit utilise également une approche basée sur des enquêtes (voir ENCADRÉ 3.1), en plus de leurs mesures d'impact standard qui sont encadrées par les ODD (connexions, réduction des émissions de CO₂, emplois créés).

ENCADRÉ 3.1 Enquêtes finales d'Oikocredit

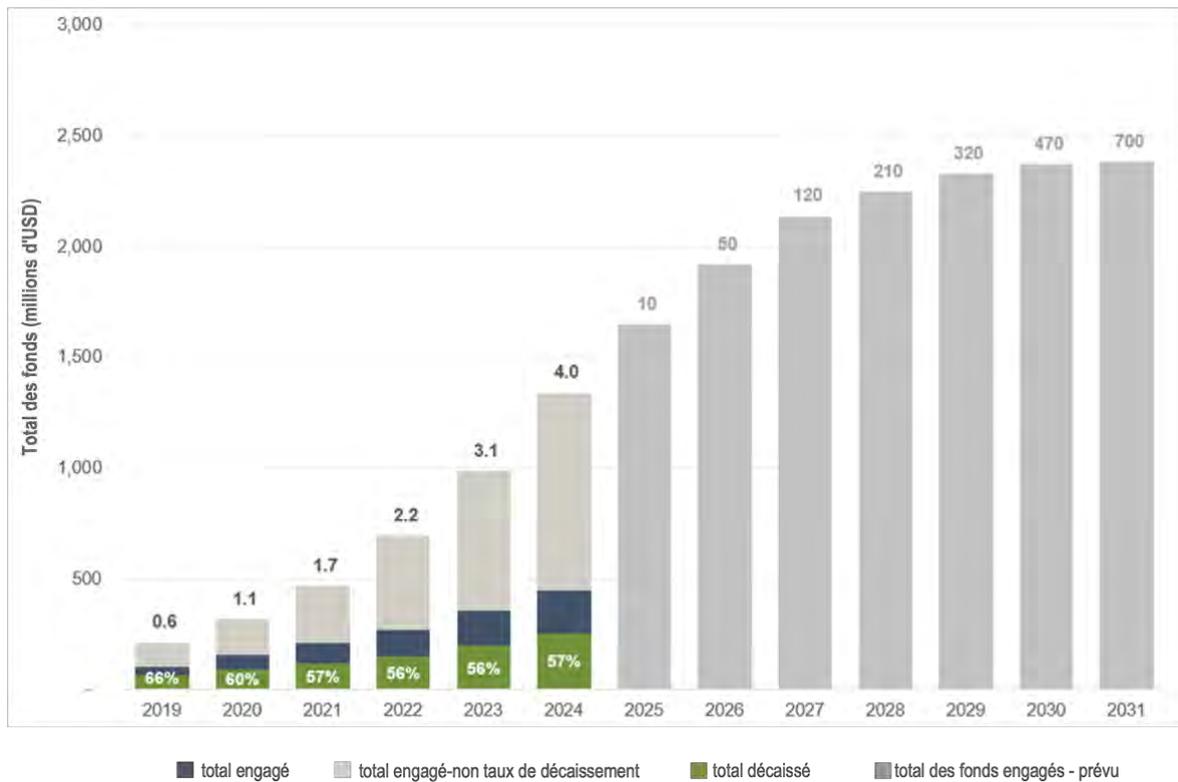
L'investisseur d'impact Oikocredit s'appuie sur son engagement étroit avec ses partenaires et utilise les enquêtes auprès des clients finaux comme moyen d'identifier l'impact de leurs investissements sur les utilisateurs finaux. En 2022, Oikocredit a mené une enquête auprès des clients finaux en collaboration avec 19 partenaires et d'autres organisations, interrogeant 16 500 clients. Les enquêtes posaient 30 questions axées sur leur bien-être, l'impact du financement et les effets du changement climatique, et ont été menées dans les langues locales.

Source : Oikocredit : Oikocredit. 2023. [L'inclusion financière : Comment Oikocredit sélectionne-t-il ses partenaires ?](#)

Mesurer les progrès dans le déploiement des donateurs

Le suivi des décaissements par rapport aux financements approuvés est essentiel pour obtenir une vue d'ensemble du marché mondial des mini-réseaux. Le suivi et la communication des décaissements par rapport aux engagements sont essentiels pour garantir la transparence et la responsabilité. Mesurer les progrès permettra de renforcer la collaboration entre les parties prenantes pour atteindre des objectifs communs en reconnaissant les défis qui doivent être relevés afin de favoriser une croissance durable dans le secteur des mini-réseaux.

Le total des fonds engagés a augmenté, tandis que le taux de décaissement est resté supérieur à 50 %. Le total des fonds engagés a été multiplié par six entre 2019 et 2024, comme le montre la Figure 3.4. Dans les projets pour lesquels des données de décaissement étaient disponibles, le taux de décaissement a légèrement augmenté entre 2022 et 2024, atteignant 57 %. Toutefois, ce taux pourrait être inférieur car les taux de décaissement n'ont pas été fournis pour les programmes qui constituent une grande partie du financement global engagé. D'ici 2031, le total des fonds engagés devrait atteindre 2,4 milliards d'USD.

FIGURE 3.4 Total des fonds engagés par rapport aux fonds déboursés par an

Note : Le taux de décaissement total (en vert) n'est indiqué que pour les programmes pour lesquels les taux de décaissement sont disponibles.

Source : analyse de la CEA basée sur la base de données du MGF : Analyse de la CEA basée sur la base de données du FGM

Les taux de décaissement pour 2019 et 2020 présentés ici diffèrent de ceux du rapport État du Marché Mondial des Mini-Réseaux 2020 en raison de différences méthodologiques utilisées et de variations dans l'échantillon : La méthodologie de ce rapport tient compte de la durée des programmes de financement, garantissant que le taux de décaissement pour chaque année est relatif à la portion du financement total disponible pour chaque programme au cours de cette année.

ENCADRÉ 3.2 Suivi du déploiement des donateurs : L'électricité pour tous

Power for All¹⁵⁸ a récemment lancé "Accelerating Energy Access : Unlocking Catalytic Capital for Mini-Grids", une campagne de deux ans visant à stimuler le soutien aux mini-réseaux par la sensibilisation, la communication et le plaidoyer. Elle vise à accroître le soutien politique, réglementaire et financier au secteur des mini-réseaux solaires. Les indicateurs clés de performance décrits ci-dessous sont une étape nécessaire pour mesurer et suivre le soutien et les progrès actuels du secteur.

Les indicateurs de performance clés permettront d'évaluer l'efficacité des initiatives en cours et d'identifier les domaines nécessitant un soutien accru. Le suivi des progrès permettra d'améliorer la transparence et la responsabilité, de renforcer la confiance entre les parties prenantes et de promouvoir la collaboration en vue d'atteindre des objectifs communs. En outre, la mesure du soutien permet aux parties prenantes de suivre les progrès, de reconnaître les défis et de prendre des

¹⁵⁸ Power for All est une coalition de parties prenantes qui fait campagne pour accélérer le déploiement des énergies renouvelables décentralisées afin de parvenir à un accès universel à l'électricité avant 2030.

décisions qui favorisent la croissance durable du secteur des mini-réseaux et les progrès vers l'accès universel à l'énergie.

Les indicateurs clés de performance pour la campagne de mini-réseaux de Power for All sont les suivants :

1. **Fonds approuvés et fonds décaissés**
2. **Part des sites recevant un financement de la part d'un donateur**
3. **Fonds versés par site**
4. **Argent des donateurs par connexion dans les pays ciblés.**

L'analyse de Power for All souligne que malgré l'engagement des bailleurs de fonds (les capitaux promis augmentant au fil du temps), les fonds déboursés pour les projets de mini-réseaux ne représentent qu'une fraction du total alloué, avec une moyenne de 14 % au cours des dernières années. Les grands projets tels que le KOSAP au Kenya et l'UEF sont confrontés à des retards importants et à de faibles taux de décaissement. L'analyse montre également une préférence pour les projets plus importants et plus éloignés, les opérateurs multisites recevant davantage de fonds par site. Les indicateurs clés de performance constituent un outil essentiel pour suivre les progrès, garantir des efforts coordonnés pour remédier aux inefficacités et maximiser l'impact des donateurs afin de mettre fin plus rapidement à la pauvreté énergétique.

Source : Informations fournies par Power for All

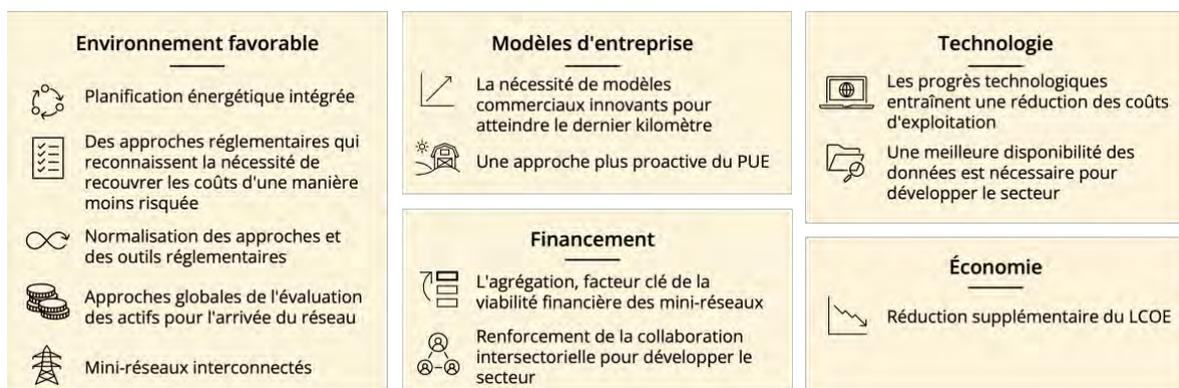


CHAPITRE QUATRE

PERSPECTIVES DU MARCHÉ

Cette section s'appuie sur les idées et les résultats examinés dans les sections précédentes pour donner une vision prospective du secteur, en ce qui concerne l'environnement favorable, les modèles d'entreprise, le financement, la technologie et l'économie, comme le résume la Figure 4.1.

FIGURE 4.1 Perspectives du marché



Notes : LCOE signifie coût nivelé de l'électricité ; PUE signifie utilisation productive de l'énergie.

Perspectives d'un environnement favorable



Planification énergétique intégrée

Le secteur devrait progressivement s'éloigner de la coexistence des trois modes d'électrification (sur le réseau, mini-réseaux et systèmes autonomes) en silos pour s'orienter vers un cadre intégré de planification de l'énergie. Un exemple de cette approche est le cadre de distribution intégré (CDI), qui préconise qu'une "entité" (comportant un ou plusieurs acteurs, comme la société de distribution existante en partenariat avec le secteur privé) soit responsable de la distribution dans une zone donnée (dans le cadre d'un contrat tel qu'une concession) et garantisse une couverture universelle. Dans ce modèle, "l'intégration" devient un concept à multiples facettes, qui comprend l'intégration des trois modes d'électrification, de tous les types de clients finaux et des secteurs public et privé dans le secteur de la distribution¹⁵⁹. Voir ENCADRÉ 2.1 pour plus de détails.

De même, le projet Utilities 2.0 de PowerforAll préconise de s'éloigner de l'approche classique des services publics en combinant des technologies centralisées et décentralisées dans un réseau énergétique intégré, intelligent et interactif, capable de fournir des solutions énergétiques propres et centrées sur le client au moindre coût. Cette approche reconnaît que les services publics doivent collaborer avec des acteurs du marché qui excellent dans le service à la clientèle (dans le premier ou le dernier kilomètre) et qui auraient la liberté de choisir les technologies qui répondent le mieux à la demande des consommateurs.¹⁶⁰



Des approches réglementaires qui reconnaissent la nécessité de recouvrer les coûts d'une manière moins risquée

Nous prévoyons un changement d'orientation de l'approche traditionnelle du recouvrement des coûts, via des tarifs basés sur des évaluations du coût du service pour des projets individuels, vers une méthode plus complète et plus souple de recouvrement des coûts avec une réduction des risques. Un exemple de cette approche est la mise en œuvre d'ajustements tarifaires automatiques pour tenir compte des variations importantes des coûts qui échappent au contrôle des opérateurs de mini-réseaux, telles que l'inflation et les fluctuations monétaires. De même, les réglementations devraient de plus en plus reconnaître le besoin d'échelle comme un facteur clé de la viabilité des mini-réseaux, par exemple en autorisant les demandes de portefeuille pour les licences et les tarifs et en adoptant des normes techniques adaptées à l'échelle du projet.

¹⁵⁹ Global Commission to End Energy Poverty. n.d. [Integrated Distribution Framework](#) ; [Integrating Isolated Mini-Grids With an IDF-Compliant Regulated Distribution Sector \(Cadre de distribution intégré ; intégration des mini-réseaux isolés dans un secteur de distribution réglementé conforme à l'IDF\)](#).

¹⁶⁰ PowerforAll. 2019. [Accès universel aux énergies renouvelables : Les services publics du futur](#).



Normalisation des approches et des outils réglementaires

Compte tenu de la nécessité de développer rapidement le secteur, nous pouvons prévoir la normalisation de certains aspects réglementaires, tels que les méthodes de fixation des tarifs fondées sur le principe du recouvrement des coûts ou les dispositions relatives à l'arrivée sur le réseau. Compte tenu de la maturité de certaines approches et des enseignements tirés jusqu'à présent, le secteur peut se targuer d'avoir établi des schémas directeurs qui peuvent être adaptés aux conditions du marché et des projets. Un bon exemple est le travail du Forum africain des régulateurs de services publics (AFUR) en collaboration avec l'Association africaine des développeurs de mini-réseaux (AMDA) sur le développement d'un outil normalisé de tarification des mini-réseaux. À la lumière de la création de l'École africaine de régulation, on peut s'attendre à ce que l'harmonisation augmente grâce à un engagement étroit avec les partenaires de développement, les régulateurs, les ministères de l'énergie et le secteur privé, dans le but d'établir un consensus dans l'ensemble du secteur sur les aspects réglementaires essentiels.



Approches plus globales de l'évaluation des actifs en cas d'arrivée du réseau

Les méthodes d'évaluation des actifs des mini-réseaux évoluent progressivement. L'arrivée du réseau est l'une des principales sources d'incertitude pour les développeurs et les investisseurs de mini-réseaux. Sans compensation garantie, ces investissements privés sont moins sûrs, ce qui fait que les investisseurs privés hésitent à s'engager dans le secteur. En outre, l'absence d'un mécanisme de compensation clair et applicable peut décourager les investissements à long terme et l'innovation, ce qui freine encore la croissance et le développement des mini-réseaux.

Pour remédier à cette situation, un nombre croissant de pays, dont le Nigeria et la Sierra Leone, adoptent des réglementations qui précisent le droit à une compensation pour les actifs des mini-réseaux dans le cas où la société de distribution arrive plus tôt que convenu ou prévu. Toutefois, à ce jour, aucun mini-réseau africain n'a reçu d'indemnisation au titre de ces règles. En effet, la plupart des sociétés de distribution et des agences d'électrification rurale en Afrique subsaharienne n'ont pas les moyens de racheter les mini-réseaux isolés, tandis que les financements des bailleurs de fonds pour les services publics du réseau principal sont généralement consacrés aux nouvelles installations de distribution, avec seulement un financement limité ou aucun financement alloué à la reprise et à la compensation des actifs des mini-réseaux.¹⁶¹ Au fur et à mesure que le secteur mûrit, nous nous attendons à voir des exemples d'accords d'arrivée sur le réseau dans la pratique, et la mise en place d'approches

¹⁶¹ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen et Ashish Shrestha. 2024. [Solutions de mini-réseau pour les clients mal desservis : Nouvelles perspectives au Nigeria et en Inde.](#)

innovantes pour l'évaluation des actifs qui encouragent l'implication du secteur privé dans le secteur des mini-réseaux.



Mini-réseaux interconnectés

Une plus grande attention est accordée à la question de la qualité du service reçu par les utilisateurs finaux, par opposition au simple accès nominal à l'énergie. Les statistiques d'accès sont basées sur les connexions électriques et ne tiennent pas compte des clients qui sont "électrifiés" mais qui ont reçu un service très médiocre, voire inexistant. Ainsi, les taux d'accès à l'électricité publiés brossent souvent un tableau idyllique du paysage de l'électrification qui est loin d'être complet. Les mini-réseaux interconnectés sont appelés à jouer un rôle clé pour combler cette lacune, comme cela a déjà été souligné au Nigeria, où la mauvaise qualité du service, notamment le manque de fiabilité et les fortes variations de tension et de fréquence, est un problème critique. L'Agence d'électrification rurale, avec un nouveau financement de la Banque mondiale, a lancé le projet d'électrification du Nigeria pour créer des mini-réseaux interconnectés (aux sociétés de distribution privées du Nigeria), ainsi que le programme de soutien énergétique du Nigeria, qui fournit des subventions et une assistance technique aux promoteurs nigériens qui proposent de construire des mini-réseaux interconnectés.¹⁶²

Perspectives du modèle d'entreprise



La nécessité de modèles commerciaux innovants pour atteindre le dernier kilomètre

Étant donné les importantes économies de coûts qui peuvent être réalisées grâce aux économies d'échelle, de nombreux promoteurs cherchent à électrifier des sites plus importants, avec plus de 5 000 raccordements. Toutefois, cette approche conduit à sélectionner les sites les plus commercialement viables, où le déficit d'électricité peut être le plus facilement comblé, en laissant de côté les sites moins viables. Cela représente un défi pour la politique de subvention, car pour garantir l'efficacité, il est important de déterminer les niveaux de subvention appropriés en fonction de l'attrait commercial.

Une approche innovante pour électrifier le dernier kilomètre est celle des réseaux maillés, qui devraient gagner du terrain dans les zones à faible densité de population. Les coûts de distribution réduits résultant de la proximité des maisons et le taux de déploiement accéléré (en raison de l'absence d'exigences en matière d'acquisition de terrains) représentent une opportunité largement inexploitée pour le secteur privé. En connectant organiquement les ménages, cette approche offre une méthode reproductible et évolutive pour atteindre les clients du dernier kilomètre dans les régions peu peuplées, ce qui permet de réaliser des économies significatives sur les coûts d'investissement.

¹⁶² Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen et Ashish Shrestha. 2024. [Solutions de mini-réseau pour les clients mal desservis : Nouvelles perspectives au Nigeria et en Inde.](#)



Une approche plus proactive du PUE

Le PUE reste un aspect essentiel du développement des mini-réseaux. Toutefois, on s'attend à ce qu'il se développe, ce qui obligera les développeurs à jouer un rôle plus proactif dans l'augmentation de la charge des clients et donc des revenus des mini-réseaux. En ce qui concerne les modèles commerciaux, cela se traduirait par le passage du modèle traditionnel de fourniture d'énergie au modèle d'accélération des affaires et au modèle fournisseur-acquéreur. Par exemple, Husk Power assure l'éducation, la formation et le développement commercial des clients qui exploitent des MPME, tout en expérimentant la création et l'exploitation de ses propres entreprises à l'aide de l'électricité du mini-réseau.¹⁶³ Le double avantage du PUE - soutenir la rentabilité des mini-réseaux et autonomiser les communautés - continue d'être un argument de poids dans l'évolution du secteur des mini-réseaux.

Perspectives de financement



L'agrégation, facteur clé de la viabilité financière des mini-réseaux

Les agrégateurs devraient jouer un rôle de plus en plus important en aidant les petites entreprises à réaliser des économies grâce à des économies d'échelle. Par exemple, l'agrégation de la demande pour les technologies renouvelables (DART) du GEAPP, qui a été lancée récemment, est l'une des principales plateformes d'agrégation qui aide les petites entreprises, qui n'auraient autrement pas de pouvoir de négociation, à accéder à des équipements abordables. DART relève ce défi en regroupant la demande, ce qui permet aux entreprises de bénéficier d'économies d'échelle et d'obtenir des équipements à un taux réduit pouvant aller jusqu'à 30 %, tout en fournissant un financement de fonds de roulement sans garantie pour soutenir l'achat d'équipements et en fournissant un service de dédouanement.¹⁶⁴

De plus en plus, nous nous attendons également à voir des fonds spécialisés agréger des portefeuilles de mini-réseaux dans différents pays. Le modèle utilisé par CrossBoundary Energy Access est un excellent exemple de ce type de fonds qui vise à atteindre l'échelle en regroupant plusieurs sociétés d'actifs dans une seule plateforme d'investissement suffisamment grande pour lever des fonds propres et de la dette mezzanine auprès des investisseurs.



Renforcement de la collaboration intersectorielle pour développer le secteur

On peut s'attendre à ce que la communauté des donateurs forme des partenariats pour briser les cloisonnements, mettre en commun les ressources et encourager l'innovation

¹⁶³ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen et Ashish Shrestha. 2024. [Solutions de mini-réseau pour les clients mal desservis : Nouvelles perspectives au Nigeria et en Inde.](#)

¹⁶⁴ GEAPP. 2024. [L'EICC 3.0 démarre au Nigeria pour les entreprises de l'EICC.](#)

dans le secteur. La tendance à l'utilisation de grands instruments de financement croisé, illustrée par l'UEF, devrait se poursuivre en réponse au besoin de continuité dans le financement, plutôt qu'à l'approche stop-and-go expérimentée jusqu'à présent. Différents secteurs sont également appelés à unir de plus en plus leurs forces pour exploiter les synergies entre les ODD. Dans ce contexte, le financement du climat joue un rôle clé ; le programme de financement mixte pour le climat lancé récemment par la Finlande et l'IFC est un exemple de collaboration entre les secteurs du climat et de l'énergie en vue de contribuer à l'expansion du secteur. Le programme vise à catalyser les investissements innovants et à débloquer le financement privé de projets intelligents sur le plan climatique dans les pays en développement à faible revenu.

Perspectives technologiques



Les progrès technologiques entraînent une réduction des coûts

Les technologies de surveillance à distance ont déjà commencé à transformer la manière dont les entreprises du secteur des énergies renouvelables gèrent et optimisent les opérations de leurs mini-réseaux. Ces outils numériques facilitent le suivi et le contrôle en temps réel des sites distants, garantissant l'efficacité opérationnelle et réduisant la nécessité de visites coûteuses sur place. À mesure que ces technologies continuent de progresser, nous pouvons nous attendre à ce qu'elles fassent encore plus partie intégrante de l'exploitation des mini-réseaux. La tendance à la numérisation et à l'intégration de l'IoT (Internet des objets) signifie que la surveillance à distance deviendra non seulement plus courante, mais aussi plus sophistiquée, permettant une maintenance prédictive, une meilleure gestion de l'énergie et un meilleur service à la clientèle. Cette évolution technologique devrait encore faire baisser les coûts d'exploitation et de maintenance, qui bénéficient actuellement d'une réduction estimée à 15 % grâce aux capacités de télésurveillance existantes¹⁶⁵.



Une meilleure disponibilité des données est nécessaire pour développer le secteur

Le rôle des outils de partage de données dans le secteur des mini-réseaux devient de plus en plus crucial. Les outils et plateformes de partage de données peuvent jouer un rôle central dans l'expansion du secteur en démontrant la viabilité et la bancabilité des projets de mini-réseaux aux investisseurs et organismes de financement potentiels. Malgré l'hésitation actuelle des entreprises et des institutions à partager des données de performance sensibles, la mise en place de cadres de partage de données sécurisées et anonymes peut atténuer ces préoccupations. Ces cadres faciliteraient non seulement le partage de données opérationnelles essentielles, mais permettraient également aux parties prenantes de comparer les performances, de comprendre la dynamique du marché et d'identifier les domaines d'amélioration et d'investissement.

¹⁶⁵ Entretien avec Odyssey Energy Solutions.

L'amélioration du partage des données et des capacités de surveillance à distance peut contribuer de manière significative à la réalisation de l'accès universel à l'électricité d'ici à 2030. En fournissant des preuves claires et tangibles de la performance et de l'efficacité des mini-réseaux, ces technologies peuvent contribuer à attirer les investissements nécessaires pour augmenter le nombre d'installations de mini-réseaux dans le monde. En outre, l'intégration d'analyses avancées aux données de télésurveillance peut permettre de mieux comprendre le comportement des consommateurs, les habitudes de consommation d'énergie et les performances des systèmes, ce qui permet de mettre en place des stratégies d'électrification plus ciblées et plus efficaces.

En Afrique subsaharienne, AMDA, par le biais de sa stratégie AMDA 2.0, s'efforce de prendre la tête des efforts visant à faciliter le partage d'informations agrégées et anonymisées entre ses membres et les différentes parties prenantes du secteur.

Perspectives pour l'économie

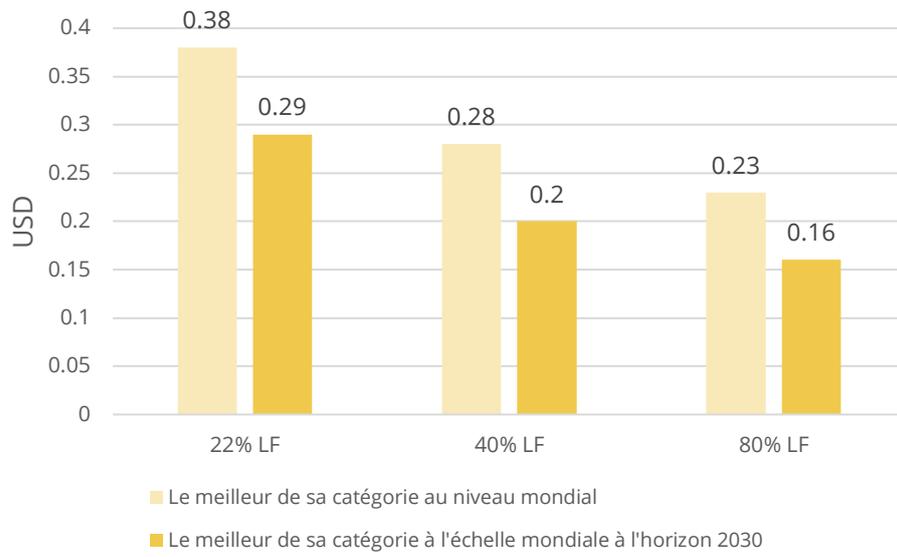


Réduction supplémentaire du LCOE

D'après les résultats de la modélisation d'ESMAP, de nouvelles réductions du LCOE sont attendues. La figure 4.2 présente le LCOE de ce qui serait actuellement considéré comme les meilleurs mini-réseaux de leur catégorie, c'est-à-dire des mini-réseaux très performants sur la base des coûts des composants et de l'ampleur de la charge. À titre de comparaison, le LCOE des mini-réseaux 2030 les plus performants est indiqué, sur la base des réductions de coûts des équipements attendues en 2030. Ces réductions sont dues au fait que l'industrie des mini-réseaux (et les industries associées) atteint une certaine échelle, ce qui entraîne des réductions de coûts pour les composants des mini-réseaux tels que les panneaux solaires (grâce au déploiement mondial de panneaux solaires dans les fermes solaires) et les batteries Li-ion (grâce à l'expansion mondiale des VE et du stockage de l'électricité à l'échelle de l'utilité publique)¹⁶⁶.

¹⁶⁶ ESMAP. 2022. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Perspectives du marché et manuel à l'intention des décideurs.](#)

FIGURE 4.2 Réductions attendues du LCOE d'ici 2030



Note : LF signifie facteur de charge.

Source : ESMAP : ESMAP. 2022. [Des mini-réseaux pour un demi-milliard de personnes : Market Outlook and Handbook for Decision Makers.](#)





CHAPITRE CINQ

RECOMMANDATIONS ET CONCLUSIONS

Alors que le marché des mini-réseaux est prêt pour la croissance et l'innovation, il doit naviguer dans un labyrinthe de défis financiers, réglementaires et opérationnels. Il est essentiel de surmonter ces obstacles pour que le secteur réalise son plein potentiel en contribuant aux objectifs mondiaux d'accès à l'énergie et de durabilité. Les sections ci-dessous traduisent les défis identifiés tout au long du rapport en plans d'action pour chaque groupe de parties prenantes, à savoir le secteur public, les donateurs et les investisseurs, et le secteur privé, ainsi que leurs responsabilités partagées (résumées dans la figure 5.1). Le secteur public comprend non seulement les agences gouvernementales responsables de l'élaboration des politiques, mais aussi les agences d'électrification rurale, les unités de partenariat public-privé (PPP) et les services publics, qui jouent tous un rôle crucial dans le développement du secteur.

FIGURE 5.1 Domaines d'action



Domaines d'action pour le secteur public

Clarté en ce qui concerne les plans d'expansion des réseaux de distribution : Les décideurs politiques doivent aller au-delà de l'intégration des mini-réseaux dans leurs plans nationaux d'électrification et veiller à ce qu'il y ait suffisamment de clarté et de prévisibilité en ce qui concerne les plans d'expansion du réseau des sociétés de distribution. Cela apporterait la certitude nécessaire aux développeurs sur les zones potentielles de développement des mini-réseaux.

Considérer les mini-réseaux interconnectés comme une solution potentielle à moindre coût : Les modèles actuellement utilisés pour la planification de l'électrification à moindre coût identifient généralement les sociétés de distribution comme l'option recommandée pour la densification et l'extension du réseau, sans tenir compte des mini-réseaux interconnectés. Cette option devrait être envisagée car elle constitue souvent une solution plus rentable et plus fiable pour les consommateurs dans les zones où l'infrastructure du réseau est médiocre.

Traitement réglementaire des mini-réseaux en tant qu'infrastructures : Il s'agit d'aligner les dispositions réglementaires relatives aux mini-réseaux sur leur nature d'investissements à long terme et de reconnaître l'importance croissante du financement de projets. À ce titre, la durée des permis et des licences devrait refléter la durée des accords de financement et laisser suffisamment de temps pour les activités préparatoires. Une durée d'au moins 10 ou 15 ans est donc nécessaire.

Réduire les risques d'investissement grâce à la réglementation et à la passation de contrats : Même si les instruments financiers sont importants pour réduire les risques liés aux investissements dans les mini-réseaux, les dispositions réglementaires (telles que les mécanismes d'indexation des tarifs pour atténuer partiellement les risques clés tels que la dépréciation de la monnaie et l'inflation) sont cruciales pour donner confiance aux investisseurs. Étant donné que l'élaboration de ces réglementations peut prendre du temps, les

contrats doivent inclure des clauses spécifiques qui traitent directement de ces risques. En incorporant des termes qui permettent des ajustements tarifaires et d'autres mesures d'atténuation des risques, les contrats peuvent garantir que les investisseurs sont protégés contre les changements économiques imprévus, favorisant ainsi un environnement d'investissement plus sûr avant même que des réglementations complètes ne soient établies.

Consultation des investisseurs : Il est essentiel d'impliquer les investisseurs dès le début du processus d'élaboration du cadre réglementaire afin d'avoir une idée de ce qui constitue un cadre bancable et d'encourager ainsi les flux d'investissements privés.

Une plus grande collaboration entre les régulateurs au niveau régional : Cela favoriserait l'expansion du secteur en réduisant les ressources nécessaires à l'élaboration d'un cadre de mini-réseau bancable à partir de zéro, mais aussi en permettant aux développeurs de travailler dans différents pays tout en minimisant leurs coûts de développement.

Domaines d'action pour les donateurs et les investisseurs

Collaboration entre les bailleurs de fonds : Le secteur reste fragmenté, avec de multiples donateurs et investisseurs qui envisagent d'investir sur le marché et mènent des études de diligence raisonnable en parallèle. Une meilleure collaboration et un meilleur partage des données permettraient d'améliorer l'efficacité du processus et d'économiser des ressources à la fois pour les donateurs/investisseurs et pour les développeurs de mini-réseaux.

Reconnaître que les mini-réseaux sont une approche localisée : La viabilité financière du mini-réseau dépend d'une compréhension approfondie du contexte local et des besoins énergétiques, y compris des activités potentielles d'utilisation productive de l'énergie (PUE). Comme il n'existe pas d'approche unique pour le développement des mini-réseaux, il est essentiel que les financiers et les partenaires de développement développent des approches plus ciblées qui n'excluent pas les acteurs locaux lors de la mise en œuvre des programmes de mini-réseaux.

Faciliter l'accès aux subventions : L'objectif des subventions est d'aider les promoteurs à démarrer et, à ce titre, les exigences et les conditions d'octroi des subventions devraient être plus faciles à remplir que celles des fonds propres ou de la dette. En outre, les bailleurs de fonds devraient s'efforcer de normaliser les processus de demande de subvention, afin d'améliorer l'efficacité et de réduire les coûts de financement pour les promoteurs.

Augmenter la durée des programmes : Les bailleurs de fonds mettent souvent en œuvre des programmes basés sur des projets et assortis de délais précis, généralement compris entre deux et cinq ans. Cependant, lorsqu'il s'agit de développer l'ensemble du secteur des mini-réseaux dans un pays où il n'y a pas d'entreprises de mini-réseaux établies, ce processus nécessite souvent beaucoup de temps. Certains programmes de donateurs ont des contraintes de temps et des objectifs de décaissement qui ne s'alignent pas sur le calendrier plus long nécessaire à cette entreprise. L'allongement de la durée des programmes menés par les donateurs permet non seulement de donner plus de temps aux développeurs pour mettre au point des projets de mini-réseaux, mais aussi de réduire le risque de voir l'aide des donateurs

prendre fin prématurément, en garantissant un soutien continu jusqu'à ce que les développeurs aient récupéré leurs coûts d'investissement.

Il faut mettre davantage l'accent sur le financement de la croissance : Actuellement, les étapes du capital de croissance et du passage à la rentabilité (ou "vallée de la mort") sont négligées par les financiers, comme en témoigne le fait qu'il a fallu cinq ans à Nuru pour obtenir un financement pour son expansion¹⁶⁷. Si le financement de projets de mini-réseaux est une approche financière importante pour la mise à l'échelle commerciale, le financement de la croissance de l'entreprise devrait également faire l'objet d'une attention suffisante.

Établir une relation de travail durable entre le financier et le promoteur : Ces relations peuvent jouer un rôle essentiel pour assurer la continuité du financement. L'organisation de réunions régulières avec les promoteurs peut renforcer la confiance des partenaires financiers dans le modèle commercial des mini-réseaux et permettre de mieux comprendre les opérations et l'impact des promoteurs sur le terrain, ce qui peut conduire à des prêts renouvelés.

Renforcement des capacités des gouvernements et des sociétés de distribution : Étant donné la nécessité d'une adhésion politique et d'un engagement fort de la part des gouvernements pour la mise en œuvre réussie et la durabilité des projets de mini-réseaux, il faut davantage d'assistance technique ciblée sur les gouvernements dans le cadre des programmes financés par les donateurs, en se concentrant sur les aspects de l'élaboration du cadre réglementaire des mini-réseaux, y compris le soutien consultatif aux transactions. Le soutien aux sociétés de distribution est également essentiel, en particulier dans le contexte des mini-réseaux destinés à desservir les clients mal desservis.

Renforcement du rôle de l'AMDA : AMDA, avec l'aide des bailleurs de fonds, devrait assumer le rôle crucial de renforcement des capacités de ses membres, en particulier des entreprises locales en phase de démarrage, en mettant l'accent sur le renforcement de leur capacité à accéder aux subventions et à s'engager dans d'autres activités de collecte de capitaux, ainsi que sur l'amélioration de leurs capacités d'entreprise, telles que le suivi de l'impact et l'établissement de rapports.

Domaines d'action pour le secteur privé

Recherche d'économies d'échelle : Le regroupement est essentiel pour obtenir de meilleures conditions commerciales. Cela peut se faire, par exemple, en créant un portefeuille composé de sites plus grands et moins risqués, regroupés avec des sites plus petits et plus risqués. Cette approche permet également d'atténuer le risque de change lors de l'agrégation de plusieurs pays.

Établissement d'un dossier solide, avec une voie claire vers la rentabilité : Un dossier solide et transparent doit fournir aux investisseurs des informations sur les hypothèses clés du modèle d'entreprise et les stratégies de mise à l'échelle, y compris les mesures clés telles que

¹⁶⁷ [GEAPP](#)

le revenu moyen par utilisateur (ARPU) et l'utilisation, les attentes en matière de rentabilité et les stratégies PUE. Cela permet de mettre en évidence la viabilité commerciale. En même temps, bien que cela soit souvent incompatible avec la rentabilité, les développeurs doivent montrer leur volonté d'atteindre l'ODD 7 par le biais de mesures d'impact clés.

Donner la priorité au PUE pour l'autonomisation économique et la communauté : Les promoteurs devraient continuer à chercher à promouvoir le PUE, mais en le considérant comme un concept qui va au-delà de la simple identification d'une charge d'ancrage et s'oriente vers l'autonomisation économique et le développement de la communauté. Des modèles de financement innovants tels que le crédit-bail mobilier, le financement sur facture et les modèles KeyMaker peuvent considérablement améliorer l'accessibilité et la durabilité des initiatives de PUE. Une attention particulière devrait être accordée à l'amplification de l'impact par l'électrification des institutions publiques.

Des responsabilités partagées

Améliorer l'efficacité et la collaboration pour augmenter les taux de décaissement: Les bailleurs de fonds peuvent améliorer leurs processus et procédures afin d'accroître l'efficacité. Le partage des leçons, des modèles et des outils entre les programmes et avec les gouvernements partenaires peut contribuer à accélérer la mise en œuvre des programmes. Les rôles des gouvernements partenaires et des développeurs sont également cruciaux. Les gouvernements peuvent mettre en place des conditions politiques et réglementaires favorables, et des accords publics-privés clairs sur les tarifs sont nécessaires pour garantir que les projets puissent atteindre la clôture financière, de sorte que les fonds soient déboursés rapidement.

Réduction de la fragmentation du secteur: Malgré les efforts déployés pour diffuser les informations et les derniers développements sur les mini-réseaux, le secteur reste fragmenté, avec une réticence générale à partager les données sur l'économie des mini-réseaux. Des obstacles majeurs à l'obtention de données ont été rencontrés lors de l'élaboration de ce rapport, malgré les garanties de confidentialité. Il s'agit toutefois d'un résultat important en soi. Ce n'est que par le partage des données que les parties prenantes du secteur des mini-réseaux peuvent obtenir des informations précieuses sur la dynamique du marché, identifier les tendances émergentes et relever les défis de manière plus efficace. Le décloisonnement du secteur des mini-réseaux est essentiel pour optimiser l'allocation des ressources, améliorer la prise de décision, concevoir des interventions ciblées et faire progresser l'ensemble du secteur. Cette approche collaborative favorise également la transparence et la responsabilité, en instaurant la confiance entre les parties prenantes et en créant un environnement propice à l'innovation et à l'investissement.

Construire en collaboration un ensemble de mesures susceptibles de contribuer à la viabilité des mini-réseaux: Il n'existe pas d'élément unique susceptible de rendre les projets de mini-réseaux plus attrayants pour les investisseurs. Les parties prenantes concernées doivent travailler ensemble à la mise en place d'un cadre global propice au développement des mini-réseaux, comprenant des réglementations favorables, des instruments de financement adaptés et l'accès à des capitaux à long terme.

Adoption d'une perspective à long terme, fondée sur la viabilité commerciale: Un modèle commercial viable est essentiel pour la durabilité des projets de mini-réseaux. Dans toute l'Afrique, il existe de nombreux exemples de projets de mini-réseaux financés uniquement par des donateurs qui ont finalement échoué, en raison de l'absence d'un modèle commercial durable pour assurer leur exploitation rentable. Cela souligne l'importance du financement mixte, où les investisseurs d'impact sont alignés sur les investisseurs commerciaux à la recherche de rendements. Un modèle réussi et durable nécessite une viabilité commerciale à chaque étape du cycle de vie du projet, y compris pour les développeurs, les entrepreneurs en ingénierie, approvisionnement et construction (EPC), et les opérateurs à long terme. Lors de l'évaluation de la viabilité commerciale, il est important de reconnaître que les mini-réseaux, en tant qu'investissements d'infrastructure, ne génèrent pas de profits immédiats ; les bénéfices sont réalisés sur une longue période, généralement au-delà des premières années d'exploitation. Cette perspective à long terme est essentielle pour le développement durable du secteur des mini-réseaux. Cependant, l'accès universel et équitable exige une concentration stratégique non seulement sur les zones où il existe une viabilité commerciale, mais aussi sur celles où les mini-réseaux peuvent avoir l'impact le plus important. Il faut donc trouver un équilibre délicat entre la rentabilité et les objectifs de développement durable.

ANNEXE – ÉTUDES DE CAS

La dernière partie du rapport comprend trois études de cas approfondies :

| Pays | Raisons de la sélection |
|--|---|
|  Sierra Leone | <ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs programmes de financement et modèles commerciaux pour les mini-réseaux ont été mis en œuvre avec plus ou moins de succès. • L'un des taux d'accès à l'électricité les plus bas de la région • Cadre réglementaire complet pour les mini-réseaux |
|  India | <ul style="list-style-type: none"> • Le plus grand nombre nominal de mini-réseaux en Asie • Accès généralisé au réseau électrique, mais les inquiétudes concernant la fiabilité de l'approvisionnement entraînent une demande continue de mini-réseaux. |
|  Kenya | <ul style="list-style-type: none"> • Un cadre politique favorable • La Commission prévoit de mettre en place plus de 400 mini-réseaux afin de parvenir à un accès universel. |

Chaque étude de cas est divisée en quatre sections :

- Contexte du pays (y compris l'électrification et les principaux opérateurs et projets de mini-réseaux)
- Cadre politique
- Cadre réglementaire
- L'économie (y compris les modèles commerciaux, les tarifs et l'accessibilité, ainsi que l'utilisation productive de l'énergie [PUE]).

A1 Sierra Leone

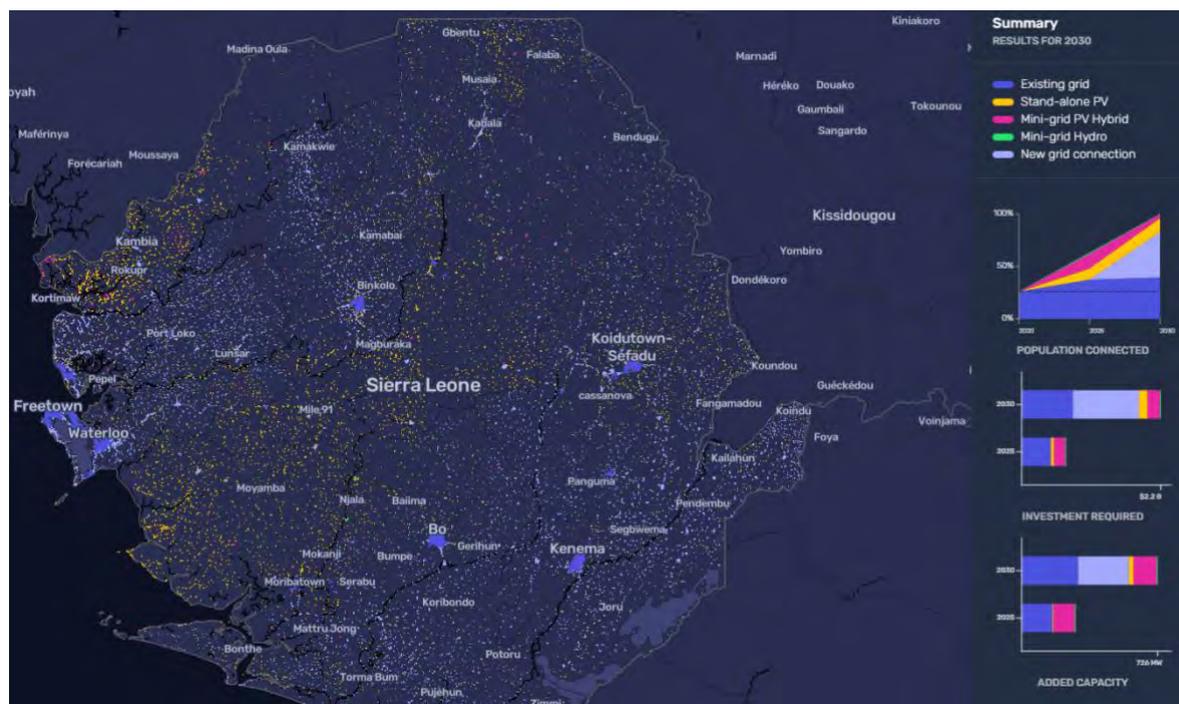
A1.1 Contexte national

A1.1.1 Électrification

La Sierra Leone a un taux d'électrification national de 27 %, mais un taux de seulement 5 % dans les zones rurales, où vit la majorité de la population.¹⁶⁸ FIGURE 6.1 présente la stratégie d'électrification complète du pays d'ici 2030, telle qu'elle est présentée dans la plateforme mondiale d'électrification (GEP).

L'approche nationale à moindre coût adoptée par le GEP permet d'abord d'accélérer les connexions dans les localités déjà raccordées au réseau, puis de donner la priorité aux localités non électrifiées sur la base du coût d'investissement par habitant le plus faible, jusqu'à ce que le taux d'électrification cible soit atteint.¹⁶⁹

FIGURE 6.1 Plan d'électrification à moindre coût de la Sierra Leone



Source : [Plate-forme mondiale d'électrification](#).

¹⁶⁸ ESMAP. Suivi de l'ODD 7. Rapports nationaux : [Sierra Leone](#).

¹⁶⁹ Une limite de capacité de production est appliquée pour maintenir l'expansion du réseau à des niveaux raisonnables.

Pour atteindre l'accès universel d'ici 2030 sur la base du moindre coût,¹⁷⁰ Les mini-réseaux hybrides PV doivent électrifier 1,3 million de personnes, et 19 000 personnes supplémentaires doivent être connectées par le biais de mini-réseaux hydrauliques. En termes de capacité ajoutée, 124 MW de mini-réseaux hybrides PV et 6 MW de mini-réseaux hydroélectriques sont nécessaires d'ici 2030 (sur un total de 726 MW de capacité ajoutée). L'investissement correspondant requis d'ici 2030 est de 198 millions USD pour les mini-réseaux hybrides photovoltaïques et de 15 millions USD pour les mini-réseaux hydrauliques.

Selon les dernières données publiées par l'IRENA,¹⁷¹ 104 000 personnes ont un accès de niveau 1 et 85 000 personnes ont un accès de niveau 2 grâce à des mini-réseaux solaires en Sierra Leone.

A1.1.2 Principaux opérateurs et projets de mini-réseaux

Il y a actuellement quatre opérateurs de mini-réseaux en Sierra Leone,¹⁷² à savoir Winch Energy, Off-Grid Power (PowerGen), Power Leone (Energicity) et Power Ned. L'énergie solaire photovoltaïque est la principale technologie de production des mini-réseaux pour trois des quatre opérateurs, Power Ned exploitant un mini-réseau hydroélectrique.

En ce qui concerne les projets financés par des donateurs, la Sierra Leone a quatre principaux projets de mini-réseaux. Le premier est le projet PRESS-D (**Promoting Renewable Energy Services for Social Development**), financé par l'Union européenne, Oxfam et la GIZ, qui a installé des mini-réseaux à Gbinti (79 kW), Panguma (66 kW) et Segbwema (127 kW). Le projet a duré jusqu'en 2021, date à laquelle il a été transféré au ministère de l'énergie, qui a l'intention de faire appel à des opérateurs privés pour exploiter et entretenir les mini-réseaux dans les trois chefferies afin d'assurer la durabilité des trois mini-réseaux.¹⁷³

Le Bureau des Nations Unies pour les services d'appui aux projets (UNOPS) a joué un rôle clé en soutenant l'objectif du gouvernement d'atteindre l'accès universel à l'électricité en mettant en œuvre le **projet d'énergie renouvelable rurale (RREP)**, financé par le Bureau des affaires étrangères, du Commonwealth et du développement du Royaume-Uni (FCDO). Les deux premières phases du projet ont permis aux communautés de 14 districts de Sierra Leone d'avoir accès à l'électricité grâce à la construction de 94 mini-réseaux.¹⁷⁴ Le projet est mis en œuvre par lots de travaux :

- Dans le cadre du Work Package 1 (WP1), l'UNOPS a installé des mini-réseaux photovoltaïques de 6 kWc dans 54 centres de santé communautaires, qui ont ensuite été

¹⁷⁰ Pour obtenir ces estimations, nous avons utilisé l'objectif de demande d'électricité ascendant (exprimé en kWh/habitant/an) au lieu d'un objectif descendant, qui attribue un objectif de demande unique à chaque localité, sur la base du taux de pauvreté local et du niveau du PIB.

¹⁷¹ IRENA. 2023. [Statistiques sur les énergies renouvelables hors réseau](#).

¹⁷² SLEWRC. 2021. [Registre public : Électricité](#).

¹⁷³ Ministère de l'énergie. 2021. [Demande d'expression d'intérêt pour l'exploitation, la maintenance et la gestion des mini-réseaux solaires à Gbinti, Panguma, Segbwema](#).

¹⁷⁴ UNOPS. 2022. [Note d'information : Améliorer l'accès aux énergies renouvelables dans les zones rurales de la Sierra Leone](#).

étendus à 36 kWc dans 50 sites (sur 54) pour convertir les systèmes en petits mini-réseaux couvrant les communautés avoisinantes (WP1+).

- Le WP2 a fourni des installations de mini-réseaux plus importantes à 44 autres communautés, ce qui représente une capacité de production totale de 5 MW avec plus de 97 mini-réseaux.¹⁷⁵ Ce work package a introduit le modèle de fourniture d'actifs divisés (voir section A1.4.1), selon lequel les actifs de production sont détenus par le secteur privé, tandis que les actifs de distribution sont détenus par le Ministère de l'énergie.

En outre, l'UNOPS met en œuvre le projet **Enhancing the Impact of Rural Renewable Energy in Sierra Leone**, financé par le gouvernement japonais, qui vise à installer six mini-réseaux solaires photovoltaïques dans le district de Bo.¹⁷⁶

Enfin, le projet **Enhancing Sierra Leone Energy Access**, financé par la Banque mondiale et mis en œuvre par l'UNOPS, vise à installer dix mini-réseaux solaires photovoltaïques avec capacité de stockage dans la ville de Moyamba et dans des communautés sélectionnées.¹⁷⁷ Les emplacements des mini-réseaux mis en œuvre par l'UNOPS sont indiqués dans la **Error! Reference source not found.**

FIGURE 6.2 Mini-réseaux de l'UNOPS



Source : ArcGIS. n.d : ArcGIS. n.d. [Les mini-réseaux de l'UNOPS](#).

Un ajout significatif au paysage des mini-réseaux est l'arrivée de la **Facilité pour l'énergie universelle** (UEF) en Sierra Leone, une facilité de financement basée sur les résultats (RBF)

¹⁷⁵ BAD. 2019. Évaluation de l'opportunité du marché des mini-réseaux : Sierra Leone.

¹⁷⁶ UNOPS. 2024. [Renforcer l'impact des énergies renouvelables en milieu rural](#).

¹⁷⁷ Banque mondiale. 2021. [Améliorer l'accès à l'énergie en Sierra Leone](#).

multi-donateurs mise en œuvre par SEforALL, établie pour augmenter de manière significative l'accès à l'énergie en Afrique sub-saharienne. La facilité fournit des paiements incitatifs aux entreprises qui fournissent des connexions électriques vérifiées aux utilisateurs finaux par le biais de mini-réseaux basés sur des normes prédéterminées (592 USD par connexion électrique).¹⁷⁸ Ses activités en Sierra Leone ont été lancées en 2020 et sont actuellement au stade de la mise en œuvre, avec un accord de subvention signé avec un développeur qui fournira 1 385 connexions dans le pays.¹⁷⁹

A1.2 Cadre politique

Le gouvernement de la Sierra Leone, avec le soutien de ses partenaires de développement, notamment l'Agence britannique pour le développement international, a mis en place un cadre politique favorable et une réglementation complète pour accroître l'accès à l'électricité par le biais de mini-réseaux. La responsabilité de l'élaboration des politiques incombe au ministère de l'énergie.

Le cadre politique reconnaît le rôle important des mini-réseaux dans l'amélioration de l'accès à l'énergie et fixe des objectifs spécifiques pour les mini-réseaux à atteindre d'ici 2030.

Le **plan d'action national pour les énergies renouvelables 2015** considère les solutions hors réseau (mini-réseaux et systèmes autonomes) comme faisant partie du plan d'électrification et fixe un objectif ambitieux de 27 % de la population rurale desservie par 65 mini-réseaux d'ici à 2030. La capacité installée correspondante est de 134 MW sur la base des objectifs du plan et de la trajectoire estimée.

La **politique d'énergie renouvelable de la Sierra Leone 2016** montre l'engagement du gouvernement envers les mini-réseaux comme moyen d'électrifier les régions rurales du pays et propose une série de mesures visant à renforcer la capacité institutionnelle pour la planification et la mise en œuvre des mini-réseaux, à promouvoir la formation des agences locales pour l'exploitation et la maintenance des mini-réseaux et à sensibiliser les communautés locales aux avantages des projets de mini-réseaux d'énergie renouvelable.

Enfin, la **politique énergétique nationale** actualisée **2019** reconnaît le problème de l'accès limité à l'électricité dans les zones rurales et son impact négatif sur l'activité économique (y compris l'agriculture et les entreprises), l'égalité des sexes et la pauvreté. Dans ce contexte, la politique énonce clairement l'intention du gouvernement de développer des mini-réseaux par le biais de partenariats public-privé afin d'améliorer l'accès à l'électricité dans les zones rurales.

¹⁷⁸ SEforALL.n.d. [Installation énergétique universelle](#).

¹⁷⁹ SEforALL. 2023. Comprendre les tarifs des mini-réseaux en Sierra Leone : Une analyse quantitative et comparative des facteurs de prix.

A1.3 Cadre réglementaire

La loi de 2011 sur la Commission de régulation de l'électricité et de l'eau de la Sierra Leone (Sierra Leone Electricity and Water Regulatory Commission Act 2011) a établi l'organisme responsable de la régulation de la fourniture de services d'électricité (et d'eau) et a défini les principes directeurs pour l'octroi de licences pour ces services.

A1.3.1 Réglementation sur les mini-réseaux

Le cadre réglementaire des mini-réseaux est défini par les **Mini-Grid Regulations 2019 de la Sierra Leone Electricity and Water Regulatory Commission (SLEWRC)**, qui s'appliquent à la fois aux mini-réseaux isolés et aux mini-réseaux interconnectés.

Le règlement 2019 sur les mini-réseaux simplifie le cadre réglementaire et tarifaire des mini-réseaux, en prévoyant deux catégories de licences et des tarifs reflétant les coûts.

Licence de base et licence complète

La réglementation établit une distinction entre une licence de base et une licence complète de mini-réseau en fixant un seuil de puissance distribuée cumulée allant jusqu'à 100 kW, au-delà duquel une licence complète est requise. Cette distinction est cruciale dans la pratique, car elle influence le traitement réglementaire des mini-réseaux en termes de fixation des tarifs et d'interconnexion au réseau.

Une **licence de mini-réseau de base** s'applique aux systèmes isolés jusqu'à 100 kW et comprend une licence de production et une licence de vente pour une zone non desservie, tandis qu'une **licence de mini-réseau complète** s'applique aux projets de mini-réseau entre 100 kW et 10 MW et comprend une licence de production, une licence de distribution et une licence de vente pour une zone non desservie désignée.

La Commission peut également approuver un **contrat de mini-réseau interconnecté** signé avec une compagnie d'électricité du réseau principal pour construire, installer et exploiter un mini-réseau interconnecté dans une zone mal desservie.

Licences

Le règlement définit clairement la procédure de demande de licence, y compris les droits à payer et les formulaires requis pour une licence de base et une licence complète, ainsi que pour une licence couvrant plusieurs sites. **La brièveté du délai dans lequel la Commission doit prendre une décision garantit l'efficacité de la procédure de demande de licence.** Plus précisément, la Commission dispose de 30 jours pour prendre une décision sur la licence après avoir reçu la demande ou les documents supplémentaires requis pour s'assurer que la demande est complète.

Pour approuver la demande, la Commission évalue, outre l'exhaustivité et l'exactitude de la demande elle-même, la **capacité financière, technique et de gestion du demandeur**.

Les règlements précisent deux motifs de suspension, d'annulation ou de révocation d'une licence, à savoir la violation des conditions de la licence et l'"intérêt public". Ce dernier concept permet une interprétation juridique flexible et pourrait être source d'incertitude pour les investisseurs potentiels, à moins qu'il ne soit rarement appliqué dans la pratique. La licence peut également être annulée ou révoquée si elle n'est pas utilisée dans l'année qui suit son octroi.

Les conditions générales qui doivent être remplies par le titulaire de la licence sont les suivantes :

- Fourniture d'un service sûr, adéquat, efficace, raisonnable et non discriminatoire.
- Respect des normes applicables¹⁸⁰ pour les activités liées à l'autorisation, y compris l'ingénierie, la construction, la mise en service, l'exploitation et la maintenance.
- Approbation des tarifs par la Commission.

La fourniture non discriminatoire du service est également définie comme une obligation pour le titulaire de la licence de ne pas faire de discrimination "entre les consommateurs de la même catégorie ou des mêmes catégories de consommateurs, ni de fixer des conditions indûment onéreuses". Toutefois, le règlement autorise la **différenciation des tarifs** en fonction des différences liées au facteur de charge, au facteur de puissance, au niveau et au moment de la demande de pointe, à la localisation, à la tension et à d'autres facteurs pertinents.

- Les règlements établissent un cadre complet de protection des consommateurs, comprenant des dispositions relatives à la qualité du service, à la responsabilité, à la santé et à la sécurité, ainsi qu'à la protection de l'environnement.

Arrivée de la grille

Les titulaires d'une licence de base sont tenus de mettre hors service et de retirer leurs actifs sans aucune compensation, tandis que les titulaires d'une licence complète doivent soit se convertir en un mini-réseau interconnecté, soit transférer leurs actifs à la compagnie d'électricité en échange d'une compensation financière.

La réglementation aborde le risque d'arrivée sur le réseau par le biais de dispositions claires concernant les mécanismes d'indemnisation. L'étendue de la protection diffère selon qu'il s'agit d'une licence de base ou d'une licence complète. Dans le premier cas, aucune compensation n'est requise si un fournisseur de réseau principal ou un titulaire d'une licence complète de mini-réseau étend son réseau de distribution à une zone desservie par le titulaire

¹⁸⁰ Code de production et code de distribution, ou normes CEI, ou normes britanniques applicables au moment de la demande.

d'une licence de base. En revanche, le titulaire d'une licence complète a le droit de choisir l'une des options suivantes :

- **Conversion en mini-réseau interconnecté** sur la base d'un contrat d'interconnexion de mini-réseau conclu entre le titulaire de la licence de mini-réseau complet et la compagnie d'électricité du réseau principal.
- Transférer tous les actifs que la compagnie du réseau principal souhaite conserver sur le site concerné en échange d'une compensation financière de la part de la compagnie du réseau principal avant l'arrivée du réseau de distribution. La méthode de calcul de la valeur des actifs offre trois options, selon lesquelles la compensation devrait être équivalente à ce qui suit :
 - **La valeur résiduelle des actifs financés par le secteur privé après amortissement** (calculée selon la méthode de fixation des tarifs analysée plus loin), y compris les actifs financés par le secteur privé transférés au service public et les actifs financés par le secteur privé mis hors service, enlevés et éliminés par le service public du site du mini-réseau.
 - **La valeur résiduelle des coûts de développement du projet activés et amortis, financés par le secteur privé**, pour le site de mini-réseau (calculée selon la méthode de fixation des tarifs analysée plus loin).
 - **Le chiffre d'affaires audité du titulaire d'une licence complète de mini-réseau** généré par le mini-réseau au cours des 12 mois précédant l'arrivée du réseau.

Tarifs

Approbation des tarifs

La procédure d'approbation des tarifs diffère selon qu'il s'agit d'une licence de base ou d'une licence complète. Pour les licences de base, le titulaire de la licence peut librement convenir d'un tarif avec les consommateurs, sous réserve d'en informer l'autorité communautaire compétente. Ainsi, la réglementation suit une approche légère pour réglementer les mini-réseaux de petite capacité, sans qu'il soit nécessaire d'obtenir une approbation réglementaire. Toutefois, comme c'est le cas dans de nombreuses juridictions qui ont introduit des exemptions d'approbation réglementaire pour les mini-réseaux de petite taille, la Commission conserve le droit de réviser les tarifs si elle reçoit une pétition signée par 60 % des consommateurs d'une communauté desservie par le titulaire de la licence. Pour les licences complètes, la Commission fixe les tarifs en appliquant soit la **méthode standard de détermination des tarifs**, soit une méthode demandée par le titulaire de la licence et approuvée par la Commission.

La méthodologie tarifaire standard suit une approche coût-plus qui permet aux opérateurs de récupérer leurs coûts de service et un retour sur investissement proportionnel au risque d'investissement.

La méthodologie standard de détermination des tarifs implique un calcul ascendant des coûts du service, en ajoutant un rendement raisonnable sur la base d'actifs réglementaires financés par le secteur privé, qui reflète de manière adéquate les risques encourus par l'opérateur de mini-réseau. En particulier, la méthodologie prend en compte les coûts liés au financement privé des services réglementés (production d'électricité, distribution et activités de vente), les coûts d'exploitation, l'amortissement, les réserves spécifiques pour la réparation, le remplacement et l'extension, et les taxes. En résumé, la formule suivante est utilisée pour le calcul des recettes nécessaires :

$$RR = O\&M + D + T + (r * RAB) + (PRPM * E)$$

où RR est le besoin en recettes, O&M est l'exploitation et la maintenance, D est l'amortissement, T est l'impôt, r est le taux de rendement, RAB est la base d'actifs réglementaire, PRPM est la marge bénéficiaire liée à la performance (SLE/kWh) reflétant le financement par subvention et E est l'électricité vendue (kWh).

L'**outil "Multi-Year Tariff Order" (MYTO)** est actuellement utilisé en Sierra Leone. Les commentaires des développeurs indiquent que l'outil ne permet pas d'ajuster la dépréciation de la monnaie et l'inflation sur la période de cinq ans. En outre, l'outil est difficile à utiliser pour examiner les demandes et vérifier les entrées et sorties du modèle.¹⁸¹

La structure de financement (financement privé, financement par subvention, etc.) est prise en compte dans le cadre de la méthodologie de fixation des tarifs. **Seules les licences complètes de mini-réseaux avec plus de 50 % de subvention ou de don pour l'investissement en capital sont éligibles pour la marge bénéficiaire liée à la performance**, et plus la contribution de la subvention est élevée, plus la marge bénéficiaire liée à la performance par unité d'électricité vendue est élevée.

Reconnaissant la nécessité pour les titulaires de licences de parvenir à la viabilité commerciale, la Commission peut approuver :

- **des tarifs de détail pour des catégories de consommateurs spécifiques** qui tiennent compte de la **capacité à payer**
- une **structure tarifaire de détail basée sur la quantité d'électricité vendue ou la puissance fournie/consommée ou le nombre de connexions** (c'est-à-dire SLE/kWh, ou SLE/kW, ou SLE/connexion), à l'exclusion des pertes techniques, ou
- **les frais de connexion** à payer en plusieurs fois ou en totalité à l'avance.

Ajustements tarifaires

Pour les licences complètes de mini-réseaux, des ajustements peuvent être apportés aux paramètres d'entrée afin de refléter les valeurs réelles en cas d'écart par rapport aux valeurs du calcul du tarif.

¹⁸¹ SEforALL. 2023. [Comprendre les tarifs des mini-réseaux en Sierra Leone : Une analyse quantitative et comparative des facteurs de prix.](#)

A1.3.2 Lois de finances

Le gouvernement de la Sierra Leone a déployé des efforts considérables pour promouvoir les mini-réseaux par le biais d'incitations fiscales. En particulier, les principales exonérations mises en œuvre comprennent une exonération des droits d'importation et une exonération de la taxe sur les produits et services (TPS) pour les systèmes et équipements photovoltaïques, une exonération de la TPS pour la consommation, la fourniture ou l'utilisation d'énergie renouvelable provenant de mini-réseaux solaires et un allègement de l'impôt sur les sociétés pour les fournisseurs d'énergie par l'intermédiaire de mini-réseaux.

Plus précisément, la **loi de finances 2016** a introduit une **exonération des droits d'importation** (25 %) pour les "équipements de systèmes photovoltaïques et les appareils à faible consommation d'énergie ou à haut rendement énergétique qui répondent aux normes mondiales de la Commission électrotechnique internationale (CEI) pour la revente ou l'utilisation par des tiers", tandis que la **loi de finances 2017** a introduit une **exonération de la TPS** (15 %) pour ces mêmes équipements.

En outre, la **loi de finances 2021** a introduit une **exonération de la TPS** pour la consommation, la fourniture ou l'utilisation d'énergie renouvelable provenant de mini-réseaux solaires, ainsi qu'un **allègement de l'impôt sur les sociétés** pendant cinq ans pour les fournisseurs d'énergie par le biais de mini-réseaux solaires en Sierra Leone.

L'introduction de la **loi de finances 2023** marque un renversement partiel de ce traitement fiscal favorable, puisque la TPS de 15 % a été réintroduite sur tous les produits solaires certifiés CEI. L'exonération des droits d'importation reste toutefois en place.

A1.3.3 Loi sur les partenariats public-privé

La **loi de 2014 sur le partenariat public-privé** a été introduite afin de promouvoir, faciliter et rationaliser la mise en œuvre des accords de partenariat public-privé (PPP) et a établi l'unité de partenariat public-privé, qui fournit un soutien transactionnel au ministère de l'énergie. Elle est soutenue par l'Autorité nationale des marchés publics, chargée de réglementer les processus d'appels d'offres publics, y compris les appels d'offres pour les mini-réseaux.

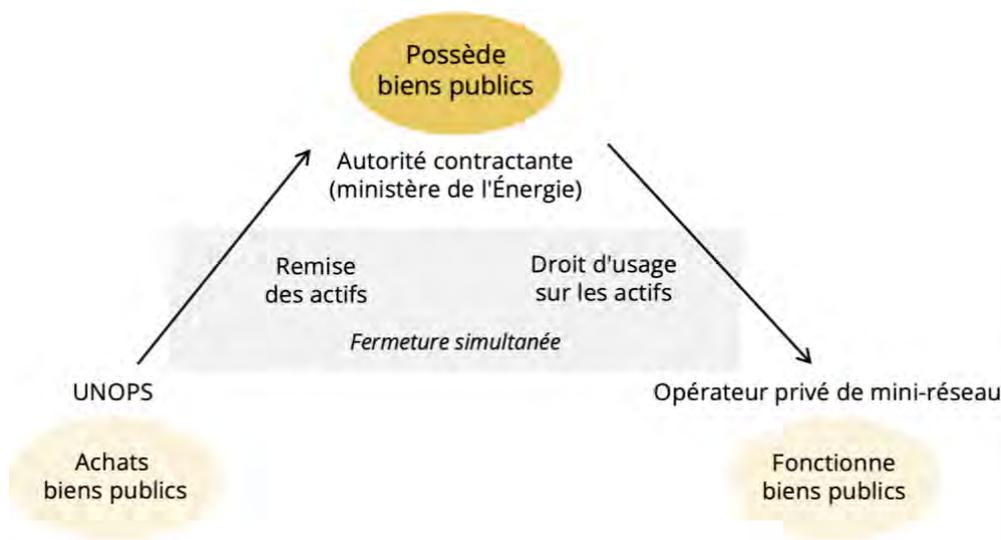
A1.4 Économie

A1.4.1 Modèles commerciaux, tarifs et accessibilité

Le **modèle de fourniture de mini-réseaux à actifs partagés** (illustré à la Figure 6.3) a été introduit dans le cadre du WP2 du RREP afin d'attirer des financements privés. Les actifs de distribution (y compris les raccordements des ménages) sont financés et détenus par le

ministère de l'énergie, tandis que les actifs de production sont financés et détenus par le secteur privé.¹⁸²

FIGURE 6.3 Modèle de répartition des actifs de RREP (WP2)



Source : IRENA : IRENA. 2018. [Politiques et réglementations pour les mini-réseaux d'énergies renouvelables](#).

Dans la pratique, **le modèle de répartition des actifs équivaut à fournir des subventions en nature** par l'intermédiaire de l'UNOPS avec le financement de l'OGAF, sous la forme d'actifs de distribution, qui sont exclus de la base d'actifs réglementaire dans le modèle tarifaire. Cette exclusion réduit la charge d'amortissement et le retour sur investissement, ce qui entraîne une baisse des tarifs pour les utilisateurs finaux. L'impact quantifiable sur les tarifs dépend de la valeur des actifs de distribution et du nombre de connexions bénéficiant du réseau de distribution.¹⁸³

Le tableau 6.1 présente les tarifs des mini-réseaux pratiqués par les trois principaux opérateurs des systèmes installés dans le cadre du RREP, à savoir Winch Energy, Off-Grid Power (PowerGen) et Power Leone (Energicity). Le tarif moyen (USD/kWh) en 2020-2021 était compris entre **0,74 et 0,82 USD**.¹⁸⁴ Le tarif pour l'utilisateur final couvrait initialement non seulement les actifs de production et les coûts opérationnels, mais aussi la contribution des opérateurs privés à un compte de réserve pour le remplacement et l'entretien des actifs financés par l'État.¹⁸⁵

¹⁸² GIZ. 2020. [Sierra Leone A Cost-Reflective Mini-Grid Tariff Framework](#).

¹⁸³ SEforALL. 2023. [Comprendre les tarifs des mini-réseaux en Sierra Leone : Une analyse quantitative et comparative des facteurs de prix](#).

¹⁸⁴ SEforALL. 2023. [Comprendre les tarifs des mini-réseaux en Sierra Leone : Une analyse quantitative et comparative des facteurs de prix](#).

¹⁸⁵ GIZ. 2020. [Sierra Leone A Cost-Reflective Mini-Grid Tariff Framework](#).

TABLEAU 6.1 Tarifs des mini-réseaux pour les trois opérateurs

| WINCH ENERGY | POWERGEN | ENERGICITY |
|-------------------------------|--|--|
| WP1 | | |
| • Tarif fixe SLL 11,238/kWh | • Résidentiel SLL 7,960/< 3 kWh • Résidentiel SLL 6 000/> 3 kWh | • Résidentiel SLL 6,128/kWh |
| WP2 | | |
| • Tarif unique SLL 7,329 /kWh | • Résidentiel SLL 6,699/kWh • Utilisateur productif SLL 3,500/kWh | • Résidentiel SLL 6,715/kWh • Grandes entreprises SLL 7,482/kWh |

Source : SLEWRC : SLEWRC. n.d. [Tarifs des mini-réseaux électriques](#).

Les trois opérateurs ont adopté des tarifs basés sur les unités d'énergie consommées (par kWh), suite aux plaintes des clients concernant le manque de transparence et de flexibilité financière sur leur consommation dans le cadre de schémas alternatifs, tels que les tarifs liés au temps et à l'énergie (autorisés par les règlements sur les mini-réseaux de 2019).¹⁸⁶ Néanmoins, l'évaluation d'impact¹⁸⁷ réalisée après les deux premières phases du RREP a révélé que la structure tarifaire n'était pas claire pour la population.¹⁸⁸ Il est donc nécessaire de sensibiliser les communautés pour qu'elles se familiarisent avec la structure tarifaire et les frais de connexion.

Le caractère abordable a été une question centrale dans le programme RREP,¹⁸⁹ . Le faible revenu par habitant de la population rurale en Sierra Leone a entraîné une faible utilisation de l'électricité, même pour les utilisateurs productifs, qui ont largement compté sur des sources alternatives d'électricité, telles que les groupes électrogènes diesel, pour couvrir leurs besoins en électricité.¹⁹⁰ Le tarif moyen est nettement plus élevé que celui du réseau principal, qui s'élève à 0,21 USD/kWh pour la tranche normale des clients résidentiels (consommation comprise entre 25 kWh et 200 kWh).¹⁹¹ Le gouvernement de la Sierra Leone a reconnu le problème et a pris des mesures pour améliorer l'accessibilité financière, notamment en finançant le compte de réserve pour le remplacement et l'entretien des biens publics pendant quatre ans (2020-2023) grâce à des fonds de donateurs.¹⁹²

D'après l'évaluation d'impact susmentionnée, les taux de raccordement ont été élevés au cours de la première phase du RREP, 65 % des personnes interrogées ayant été raccordées. Les frais

¹⁸⁶ GIZ. 2020. [Sierra Leone A Cost-Reflective Mini-Grid Tariff Framework](#).

¹⁸⁷ Basé sur les données collectées lors des enquêtes de référence (2019) et de fin (2021), en utilisant un échantillon représentatif de ménages dans les communautés où des mini-réseaux ont été installés par rapport à un échantillon représentatif de ménages dans des communautés statistiquement similaires où aucun mini-réseau n'a été installé. Au total, 6 010 ménages répartis dans 14 des 16 districts de la Sierra Leone ont été interrogés.

¹⁸⁸ UNOPS. 2022. [Note d'information : Améliorer l'accès aux énergies renouvelables dans les zones rurales de la Sierra Leone](#).

¹⁸⁹ UNOPS. 2021. [Tableau de bord du projet](#).

¹⁹⁰ GIZ. 2020. [Sierra Leone A Cost-Reflective Mini-Grid Tariff Framework](#).

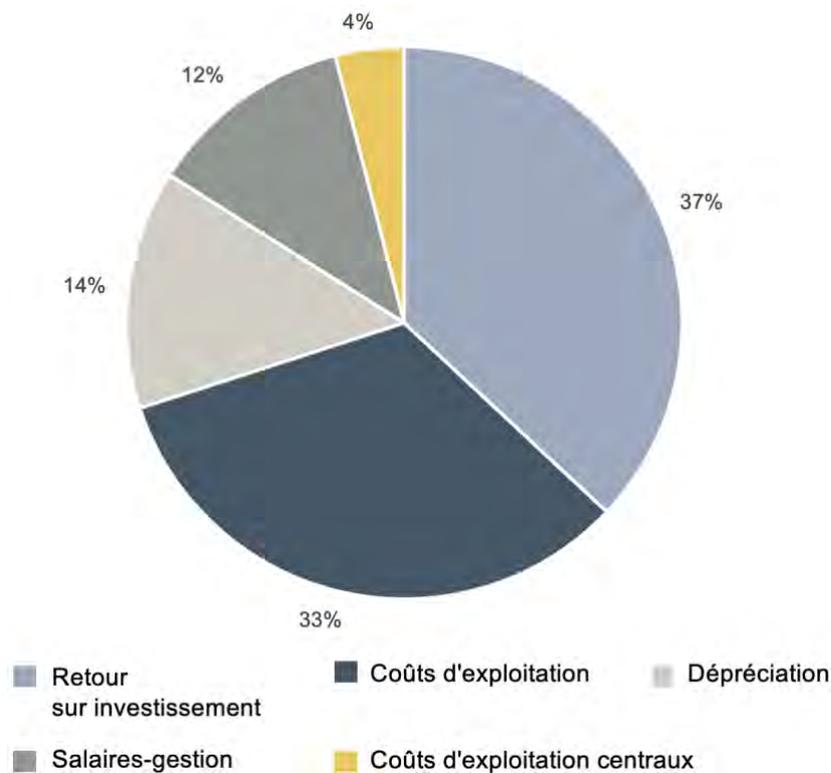
¹⁹¹ Commission de régulation de l'électricité et de l'eau de Sierra Leone. [Tarifs approuvés pour l'ESDA](#).

¹⁹² GIZ. 2020. [Sierra Leone A Cost-Reflective Mini-Grid Tariff Framework](#).

de raccordement habituels s'élevaient à environ 13,64 USD, tandis que les ménages payaient environ 0,30 USD en moyenne par jour sur leur consommation d'électricité.¹⁹³

Les récents défis macroéconomiques, notamment l'inflation élevée et la dépréciation de la monnaie locale, ont encore aggravé l'accessibilité des tarifs. La figure 6.4 présente les principaux éléments de coût des tarifs en tant que moyenne pour les trois opérateurs (Winch Energy, PowerGen et Energicity). Les principaux facteurs de coût sont le retour sur investissement et les coûts d'exploitation et de maintenance de la centrale. Compte tenu des problèmes d'accessibilité financière, l'aide financière visant à réduire les tarifs devrait être ciblée sur ces éléments de coût. La dépréciation de la monnaie locale doit être prise en compte lors de la sélection d'un instrument de financement approprié, car des tarifs plus bas en dollars américains ne se traduiraient pas par des gains pour les utilisateurs finaux en termes réels s'ils ne sont pas protégés contre les pertes de change.

FIGURE 6.4 Constitution des coûts tarifaires sur la base des coûts moyens des trois opérateurs



Note : ROI signifie retour sur investissement.

Source : SEforALL : SEforALL. 2023. [Comprendre les tarifs des mini-réseaux en Sierra Leone : Une analyse quantitative et comparative des facteurs de prix.](#)

En comparaison, c'est la viabilité économique plutôt que l'accessibilité financière qui a été le principal enjeu de l'exploitation des mini-réseaux développés dans le cadre du projet PRESS-D. Le tarif de PRESS-D varie d'une région à l'autre en fonction de l'accessibilité

¹⁹³ UNOPS. 2022. [Note d'information : Améliorer l'accès aux énergies renouvelables dans les zones rurales de la Sierra Leone.](#)

économique estimée des communautés respectives et de la présence de clients commerciaux. À Segbwema, par exemple, les tarifs comprennent une redevance de raccordement fixe et une redevance supplémentaire comprise entre 2 500 et 3 500 SLL/kWh (0,3 à 0,42 USD/kWh) en fonction de la catégorie de clients. La plupart des clients (¹⁹⁴) disposent d'une allocation d'utilisation maximale par jour. Les recettes sont collectées au moyen de compteurs à prépaiement et à postpaiement pour les clients résidentiels et industriels/commerciaux respectivement. Les compteurs prépayés sont configurés comme des systèmes PAYG de 5 kWh, 28 kWh ou 56 kWh, les cartes de 5 kWh étant les plus populaires. Cependant, les tarifs sont jugés trop bas pour être autonomes et attirer l'intérêt du secteur privé, ce qui fait que les mini-réseaux PRESS-D dépendent fortement des fonds des donateurs pour leur maintenance.¹⁹⁵

A1.4.2 PUE

Pour améliorer l'économie des mini-réseaux et stimuler la demande d'électricité dans les communautés rurales de mini-réseaux, le RREP s'est concentré sur le PUE dans le cadre du modèle fournisseur-fournisseur. L'UNOPS a commandé une étude de faisabilité pour identifier les points chauds d'utilisation productive en Sierra Leone (systèmes de 30 kW et plus), tels que la transformation des aliments, les applications d'entreposage frigorifique et la pêche, qui pourraient constituer des charges d'ancrage pour les mini-réseaux du RREP et soutenir la durabilité à long terme des opérations.¹⁹⁶ L'accent a été mis sur le modèle fournisseur-détenteur, dans lequel le fournisseur de services énergétiques comble le déficit de la demande en établissant et en exploitant une activité commerciale ou industrielle, servant ainsi de détenteur principal pour l'approvisionnement en électricité du mini-réseau.¹⁹⁷ Dans le cadre de ce modèle (expliqué à la section 0), les opérateurs se procurent des matières premières auprès de la communauté locale, les transforment pour produire des biens finaux en utilisant l'électricité de leurs mini-réseaux, et les vendent sur un marché donné, généralement dans les zones urbaines où la demande est élevée.¹⁹⁸ Ce modèle commercial PUE crée un scénario gagnant-gagnant pour l'opérateur et la communauté, car il intègre l'approvisionnement en énergie des mini-réseaux dans l'économie locale, sécurisant la consommation d'énergie des mini-réseaux et améliorant les revenus des opérateurs et de la communauté.

L'étude de faisabilité a identifié les applications PUE suivantes en Sierra Leone : usinage et transformation du riz, production d'huile de palme, transformation du manioc, réfrigération pour le stockage du poisson froid, et pompage de l'eau et irrigation solaires. Dans le cadre du RREP, le WP1 n'a fourni aucune subvention pour les PUE, tandis que le WP2 a mis davantage l'accent sur les PUE pour le développement des sites. Cela s'est reflété dans les consultations communautaires avec les clients potentiels de l'utilisation productive ; dans le cadre du WP1, les principales préoccupations étaient les tarifs élevés, ainsi que la grande distance entre le

¹⁹⁴ Sauf pour le triphasé industriel.

¹⁹⁵ BAD. 2019. [Évaluation de l'opportunité du marché des mini-réseaux : Sierra Leone.](#)

¹⁹⁶ SEforALL. 2021. [Améliorer l'accès à l'énergie en Sierra Leone : Analyse de l'enquête Mini-grid sur les tarifs, les subventions et l'utilisation productive.](#)

¹⁹⁷ EPP Afrique et Fonds nordique de développement. 2019. [Alimenter la productivité : Lessons in Green Growth from the EEP Africa Portfolio.](#)

¹⁹⁸ GIZ. 2020. [Sierra Leone A Cost-Reflective Mini-Grid Tariff Framework.](#)

point de connexion du mini-réseau et le lieu de leurs activités agricoles. Dans le cadre du WP2, le principal obstacle semble être le besoin de formation et de financement de l'équipement.¹⁹⁹ Pour promouvoir les applications PUE, le gouvernement de Sierra Leone a offert des subventions aux utilisateurs productifs potentiels d'électricité pour acquérir des équipements qui seront utilisés avec l'électricité du mini-réseau.²⁰⁰ Un modèle de location avec option d'achat pourrait également être utilisé pour faciliter l'acquisition d'équipements PUE lorsque le coût initial de ces équipements est prohibitif.

Les développeurs de mini-réseaux en Sierra Leone ont également promu le PUE. Par exemple, Energicity a joué un rôle clé dans le projet Solar Harnessed Entrepreneurs (SHE), qui est soutenu par la Fondation Rockefeller et le GEAPP. Energicity a notamment facilité la location de congélateurs à des femmes entrepreneurs dans sept communautés de Sierra Leone, leur permettant ainsi de gagner plus d'argent.²⁰¹

A2 Indie

A2.1 Contexte national

A2.1.1 Taux d'électrification

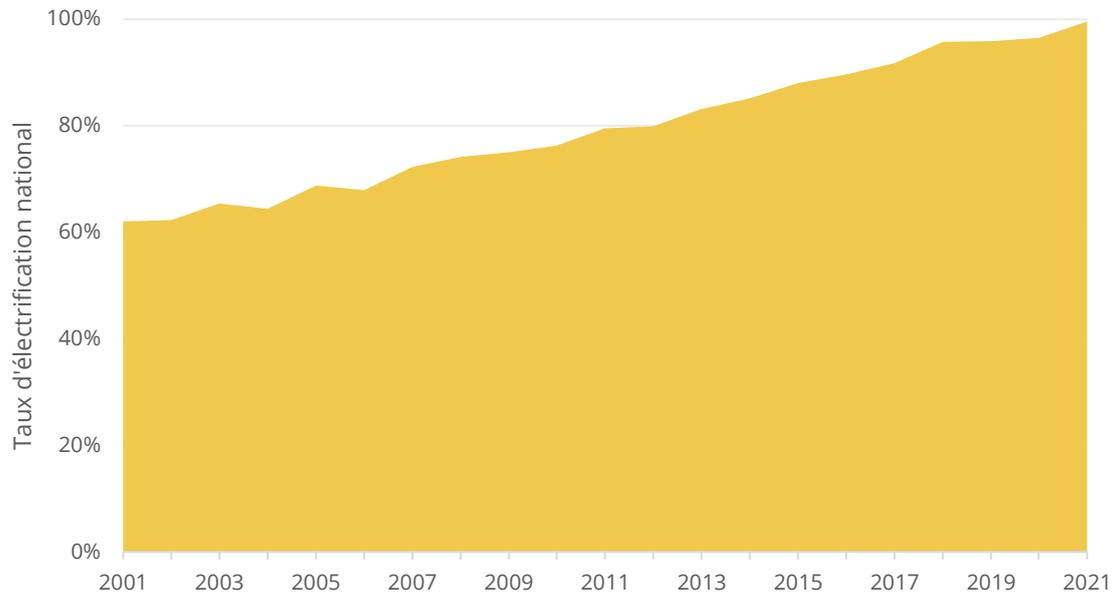
Les progrès de l'Inde en matière d'électrification sont notables. Les statistiques officielles indiquent qu'à peine 0,01 % de la population du pays n'est pas encore électrifiée. Au cours des deux dernières décennies, le pourcentage de la population ayant accès à l'électricité a considérablement augmenté, passant d'un peu moins de 65 % à un accès quasi universel.²⁰² Ce résultat est en grande partie dû aux ambitieux programmes d'électrification rurale du gouvernement, qui ont permis de raccorder au réseau les villages les plus reculés.

¹⁹⁹ SEforALL. 2021. Améliorer l'accès à l'énergie en Sierra Leone : Analyse de l'enquête Mini-grid sur les tarifs, les subventions et l'utilisation productive.

²⁰⁰ GIZ. 2020. Sierra Leone A Cost-Reflective Mini-Grid Tariff Framework.

²⁰¹ Energicity. 2022. L'équipe PUE de Power Leone déploie des congélateurs à Moyamba Junction.

²⁰² Banque mondiale. 2024. [Accès à l'électricité \(pourcentage de la population\) - Inde.](#)

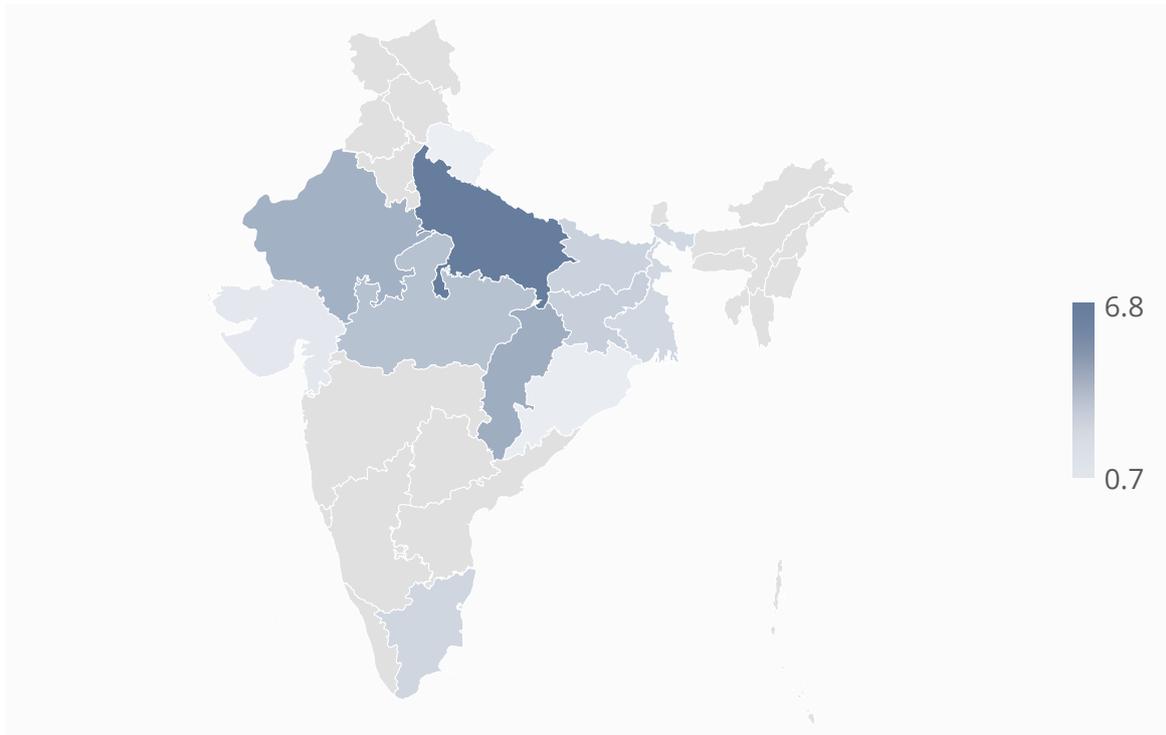
FIGURE 6.5 Taux d'électrification national, Inde, 2001-2021

Source : Banque mondiale : Banque mondiale. 2024. [Accès à l'électricité \(pourcentage de la population\) - Inde.](#)

Le Deen Dayal Upadhyaya Gram Jyoti Yojana (DDUGJY), lancé par le gouvernement indien en décembre 2014, a été un programme essentiel pour l'électrification rurale à travers le pays. En février 2023, 18 374 villages avaient été électrifiés dans le cadre de ce programme. Pour les villages où la connexion au réseau a été jugée infaisable ou non rentable, l'électrification a été poursuivie principalement par le biais de mini-réseaux.²⁰³ Vers la fin de l'initiative DDUGJY, le programme Pradhan Mantri Sahaj Bijli Har Ghar Yojana (Saubhagya) a été lancé (en septembre 2017) dans le but de fournir des connexions électriques à tous les ménages non électrifiés restants dans les zones rurales et à tous les ménages pauvres dans les zones urbaines. En mars 2019, le tableau de bord de Saubhagya indiquait que tous les ménages "volontaires" en Inde avaient été électrifiés.²⁰⁴ Cependant, les estimations alternatives de l'accès à l'électricité montrent un écart notable avec les chiffres officiels. **La majorité des foyers non raccordés se trouvent dans les États du centre-nord du pays.** Comme le montre la figure 6.6 certains États présentent des niveaux d'électrification relativement faibles, ce qui contraste avec les déclarations officielles d'électrification universelle.

²⁰³ Ministère de l'électricité. 2023. [Statut de DDUGJY.](#)

²⁰⁴ CEEW. 2020. [État de l'accès à l'électricité en Inde.](#)

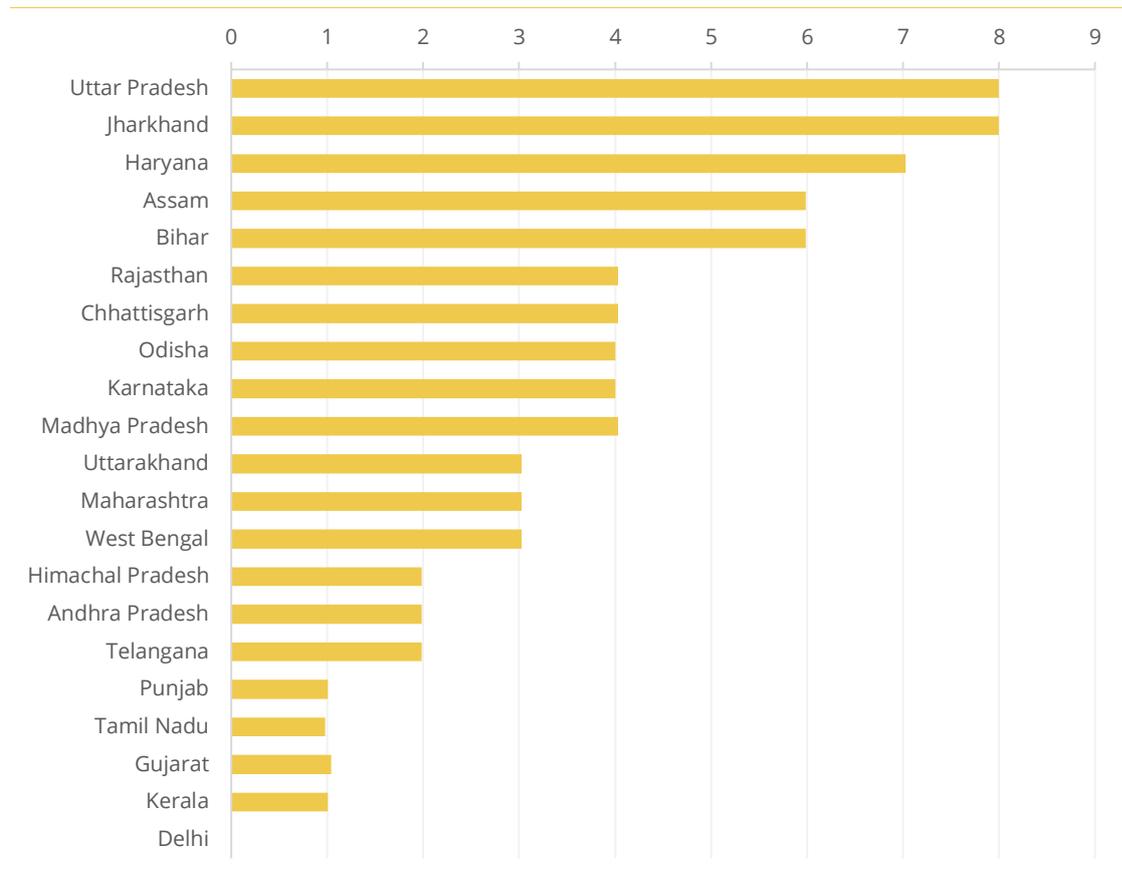
FIGURE 6.6 Pourcentage de ménages n'ayant pas accès à l'électricité, Inde, par État

CEEW. 2020. [État de l'accès à l'électricité en Inde](#).

A2.1.2 Fiabilité de l'approvisionnement

Malgré des taux d'électrification élevés, de nombreux ménages, en particulier dans les zones rurales, sont toujours confrontés à une alimentation électrique peu fiable et intermittente. Les mini-réseaux ont été identifiés comme une solution clé pour résoudre le problème de la fiabilité de l'énergie. La fiabilité de l'approvisionnement en électricité en Inde s'est considérablement améliorée, mais elle varie encore d'une région à l'autre. Dans des États comme le Bihar, par exemple, malgré l'électrification presque universelle des ménages, le problème de l'intermittence de l'approvisionnement en électricité reste un défi persistant.²⁰⁵ Historiquement, les consommateurs ont connu des coupures de courant fréquentes et longues, avec des délestages quotidiens ou hebdomadaires fréquents.

²⁰⁵ RMI. 2024. [Assurer la fiabilité du réseau en Inde](#).

FIGURE 6.7 Coupure d'électricité quotidienne, en heures, zones rurales

Source : CEEW (2020) [State of Electricity Access in India \(État de l'accès à l'électricité en Inde\)](#).

Cette situation s'est améliorée au fil des ans, le déficit de la demande de pointe étant tombé à 0,8 % ces dernières années, contre 16,6 % en 2007, en grande partie grâce aux investissements du secteur privé dans les infrastructures de production d'électricité.

Bien que l'Inde ait été déclarée nation excédentaire en électricité, la fiabilité du réseau électrique, en particulier dans les zones périurbaines et rurales, reste un défi en raison d'une infrastructure de distribution inadéquate. Le ministère de l'électricité a introduit le cadre de planification de l'adéquation des ressources en juin 2023, en veillant à ce que le système électrique minimise le risque de pannes de courant ou de baisses de tension. Ce cadre établit des critères pour différents facteurs, notamment la fréquence et l'ampleur des pannes, au moyen de mesures telles que la probabilité de perte de charge (LOLP) et l'énergie normalisée non servie (NENS), dans le but d'améliorer la fiabilité. Il précise que des valeurs de pénalité doivent être associées aux exigences en matière de réserve d'exploitation.²⁰⁶

²⁰⁶ Ministère de l'électricité. 2021. [Lignes directrices pour le cadre de planification de l'adéquation des ressources en Inde](#).

A2.1.3 Principaux opérateurs et projets de mini-réseaux

Le marché indien compte actuellement plusieurs opérateurs de mini-réseaux. Il s'agit aussi bien de grands promoteurs de mégawatts que d'entreprises plus petites et plus personnalisées. Parmi les grands opérateurs (dont la capacité de production est estimée à un mégawatt ou plus), on peut citer

- **OMC Power**, qui a pour objectif de fournir et d'exploiter 5 000 mini-réseaux basés sur les énergies renouvelables, d'une capacité de production de 250 MW, afin de fournir de l'électricité à 50 millions de personnes dans les zones rurales de l'Uttar Pradesh.²⁰⁷
- **Hamara Grid**, une entreprise relativement jeune dans le domaine des mini-réseaux, puisqu'elle a été créée en juillet 2020, possède et exploite déjà 40 mini-réseaux solaires d'une capacité de 1 MW.²⁰⁸
- **Husk Power**, qui exploite plus de 150 mini-réseaux en Inde, principalement dans les États d'Uttar Pradesh et de Bihar, et compte plus de 10 000 clients, dont la majorité sont des entités commerciales. Husk vise l'exploitation de plus de 1 000 mini-réseaux dans les prochaines années.²⁰⁹
- **Mlinda**, une organisation basée à Paris et dont le siège national se trouve à Kolkata, qui se concentre principalement sur l'installation de mini-réseaux solaires. En mars 2020, Mlinda avait installé 39 mini-réseaux dans différents villages, avec pour objectif d'étendre son impact en atteignant 49 réseaux dans 50 villages d'ici mars 2021.²¹⁰

Dans certains cas, les plus grands opérateurs de mini-réseaux en Inde sont dirigés par des organisations financées par des donateurs. La Fondation Rockefeller, par exemple, a créé Smart Power India, une filiale qui a été chargée d'électrifier un peu moins de 500 villages dans le pays, facilitant ainsi le plus grand portefeuille de mini-réseaux au monde.²¹¹ Elle dessert actuellement quelque 50 000 clients, dont 26 000 sont principalement des entités commerciales.²¹² Le travail de l'organisation s'est principalement concentré sur les efforts d'électrification dans des États tels que le Bihar, l'Uttar Pradesh et le Jharkhand, des régions où les taux de pauvreté énergétique sont élevés. La Fondation Rockefeller a également travaillé aux côtés de Tata Power, en contribuant à la création de Tata Power Renewable Microgrid Ltd (TPRMG), dont l'objectif est de devenir le plus grand développeur et opérateur de mini-réseaux au monde, avec un objectif de 10 000 micro-réseaux d'ici 2026. Si cet objectif est atteint, ces mini-réseaux alimenteront potentiellement des millions de personnes dans toute l'Inde et pourraient avoir un impact direct sur la vie de 25 millions de personnes au cours de la prochaine

²⁰⁷ OMC Power. 2021. [OMC lève un financement de 12 millions d'USD et contribue à l'accès aux énergies renouvelables pour promouvoir une énergie fiable dans les zones rurales de l'Inde.](#)

²⁰⁸ Grille Hamara. 2024. [A propos de nous.](#)

²⁰⁹ Gupta, U. 2023. [L'opérateur de mini-réseau Husk Power atteint la rentabilité avec l'Inde en tête.](#)

²¹⁰ Mlinda. 2024. [Énergies renouvelables pour les communautés rurales.](#)

²¹¹ The India Times. 2021. [Smart Power India facilite la mise en place du plus grand portefeuille de mini-réseaux au monde.](#)

²¹² Fondation Rockefeller. 2024. [Smart Power India.](#)

décennie.²¹³ Le TPRMG a réalisé des progrès significatifs, avec 200 micro-réseaux opérationnels au 31 mars 2023, trois ans après sa création. Le TPRMG prévoit d'installer des micro-réseaux dans d'autres États, tels que l'Assam, le Jharkhand, le Madhya Pradesh et l'Odisha.²¹⁴

En outre, diverses entités gouvernementales ont financé la création et l'exploitation de mini-réseaux. Cependant, sur les milliers de mini-réseaux créés par le gouvernement, on estime que seuls 5 à 10 % fonctionnent encore.²¹⁵

A2.2 Cadre politique

En Inde, le ministère des énergies nouvelles et renouvelables (MNRE) joue un rôle essentiel dans la promotion de l'adoption des sources d'énergie renouvelables, en mettant l'accent sur le développement et le déploiement de mini-réseaux dans les zones rurales. Ces mini-réseaux sont essentiels pour fournir une électricité fiable et durable aux communautés non desservies par le réseau national. En établissant des lignes directrices et en offrant des incitations financières, le MNRE vise à encourager l'investissement privé dans les projets de mini-réseaux. Cet effort s'inscrit dans la stratégie plus large de l'Inde visant à atteindre l'électrification universelle et à réduire l'empreinte carbone du pays, soulignant l'engagement du gouvernement à tirer parti de l'énergie renouvelable pour le développement durable. Le MNRE a soutenu activement plusieurs projets et programmes visant à accélérer le déploiement des mini-réseaux en Inde.

Le cadre politique est favorable aux investissements dans les mini-réseaux. La politique nationale de l'électricité et la politique d'électrification rurale soutiennent l'option de la production décentralisée distribuée avec des réseaux de distribution locaux lorsque l'extension du réseau n'est pas possible,²¹⁶ ce qui donne une plus grande confiance au secteur. La politique des mini-réseaux en Inde est cependant souvent décentralisée, les États étant laissés libres de concevoir leurs propres politiques, tant en ce qui concerne les objectifs que les subventions et les modèles commerciaux soutenus. La figure 6.8 ci-dessous met en évidence certains des aspects clés des politiques, comme l'a noté le Centre pour la science et l'environnement en Inde.²¹⁷

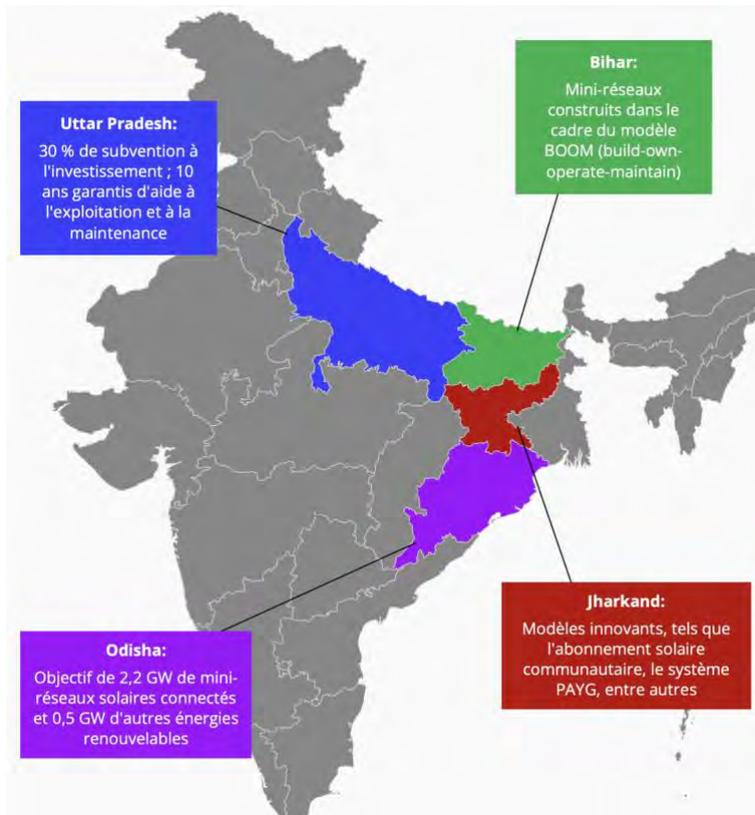
²¹³ Tata Power. 2019. [Tata Power et la Fondation Rockefeller annoncent une entreprise révolutionnaire pour permettre à des millions d'Indiens de bénéficier d'une électricité renouvelable en micro-réseau.](#)

²¹⁴ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen et Ashish Shrestha. 2024. [Solutions de mini-réseau pour les clients mal desservis : Nouvelles perspectives au Nigeria et en Inde.](#)

²¹⁵ Washington Post. 2023. [La plupart des systèmes solaires ruraux de l'Inde ne fonctionnent plus en raison d'un manque d'entretien.](#)

²¹⁶ Bhattacharyya et al. 2019. [Mini-réseaux photovoltaïques solaires versus production photovoltaïque intégrée à grande échelle : Une étude de cas de l'Uttar Pradesh \(Inde\).](#)

²¹⁷ Centre pour la science et l'environnement. 2022. [Mini-Grids : une transition énergétique juste et propre.](#)

FIGURE 6.8 Politique en matière de mini-réseaux en Inde, dans les différents États

A2.3 Cadre réglementaire

En ce qui concerne le cadre réglementaire national, la loi de 2003 sur l'électricité autorise la construction et l'exploitation de mini-réseaux ruraux sans autorisation réglementaire.

En outre, si les mini-réseaux ruraux n'ont pas d'autorisation, l'autorité de régulation de l'État n'est pas autorisée à réglementer leurs tarifs. Par conséquent, les tarifs de détail pratiqués par les mini-réseaux sont effectivement déréglementés en Inde. En outre, la politique d'électrification rurale a permis aux mini-réseaux détenus et exploités par le secteur privé de facturer des tarifs sur une base mutuellement convenue entre le fournisseur et les consommateurs.²¹⁸ La nouvelle politique tarifaire (2016) a également permis l'achat d'électricité par le réseau au moment où celui-ci atteint le village.²¹⁹

Outre le cadre national, les gouvernements de plusieurs États ont également établi des réglementations pour guider le développement des mini-réseaux au sein des États. Par exemple, en 2016, le gouvernement de l'Uttar Pradesh a publié sa politique en matière de mini-réseaux et la Commission de régulation de l'électricité de l'Uttar Pradesh a publié les Mini-Grid Renewable Energy Generation and Supply Regulations (règlements relatifs à la production et à

²¹⁸ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen et Ashish Shrestha. 2024. *Solutions de mini-réseau pour les clients mal desservis : Nouvelles perspectives au Nigeria et en Inde.*

²¹⁹ Bhattacharyya et al. 2019. *Mini-réseaux photovoltaïques solaires versus production photovoltaïque intégrée à grande échelle : Une étude de cas de l'Uttar Pradesh (Inde).*

la fourniture d'énergie renouvelable en mini-réseaux). La politique et les règlements prévoient une subvention gouvernementale pour soutenir le développement des mini-réseaux, offrent des options de sortie pour atténuer le risque d'arrivée sur le réseau et précisent les exigences en matière de tarifs et de qualité de l'approvisionnement.²²⁰ Cette initiative politique a conduit à l'installation d'environ 206 mini-réseaux dans l'année qui a suivi sa mise en œuvre. Depuis, l'État a réalisé des progrès significatifs en matière d'électrification rurale, avec environ 1 850 mini-réseaux solaires et de biomasse opérationnels. Ces installations contribuent collectivement à une capacité d'environ 3 MW, soulignant l'engagement de l'État à étendre l'accès à l'énergie.²²¹

A2.4 Économie

A2.4.1 Modèles économiques, tarifs et accessibilité financière

Dans le secteur privé, les modèles BOOM (build-own-operate-maintain), ou leurs variantes, sont le principal vecteur des mini-réseaux du secteur privé en Inde. D'autres formes de ce modèle comprennent la construction-propriété-maintenance (BOM) et la construction-maintenance (BM). Ces modèles permettent aux développeurs d'adopter une approche plus contrôlée du système et de son éventuelle proposition commerciale. En revanche, les modèles de construction-exploitation-transfert tendent à être les moins courants, pour la même raison.²²²

Les mini-réseaux qui sont soutenus ou exploités par l'État utilisent des modèles communautaires, qui comprennent généralement des comités énergétiques de village ou des coopératives électriques rurales. Par exemple, l'agence de développement des énergies renouvelables du Bengale occidental (WBREDA)²²³ a piloté un certain nombre de projets de mini-réseaux dans la région. Les promoteurs privés sont chargés de l'installation et de la supervision de ces systèmes, tandis que la responsabilité de la fixation des tarifs incombe à la communauté, en concertation avec la WBREDA. Ces tarifs sont perçus par la communauté et transmis à la WBREDA. Les coûts d'investissement initiaux de ces systèmes sont couverts conjointement par la WBREDA et le MNRE, chacun assumant une part égale des dépenses. Les coûts d'exploitation et de maintenance, quant à eux, sont financés par les tarifs perçus auprès des consommateurs.²²⁴

D'autres modèles communautaires impliquent un rôle plus proactif de la part de l'agence gouvernementale. Par exemple, l'agence de développement des énergies renouvelables du Chhattisgarh (CREDA) supervise l'exploitation et la gestion des mini-réseaux, mais sélectionne

²²⁰ Bhattacharyya et al. 2019. Mini-réseaux photovoltaïques solaires versus production photovoltaïque intégrée à grande échelle : Une étude de cas de l'Uttar Pradesh (Inde).

²²¹ Zebra, E. I. C., et. al. 2021. [Examen des systèmes hybrides d'énergie renouvelable dans les mini-réseaux pour l'électrification hors réseau dans les pays en développement.](#)

²²² L'électricité pour tous. 2018. [Mini-réseaux en Inde : Financement des mini-réseaux et modèles commerciaux.](#)

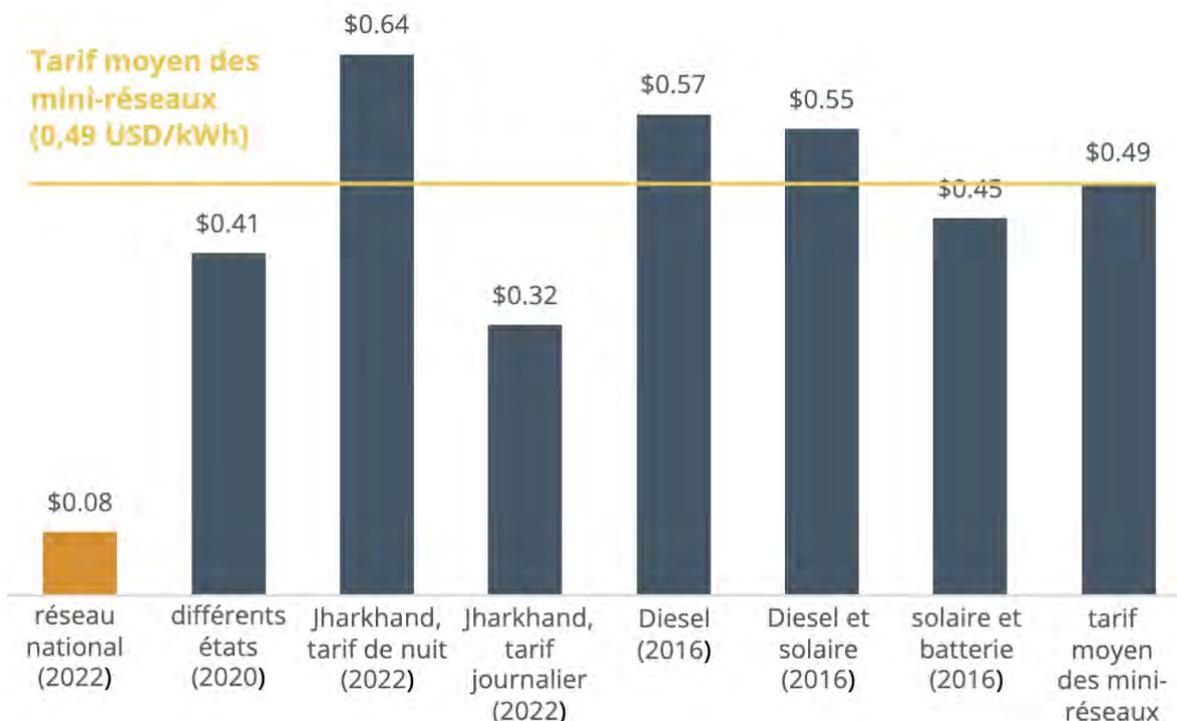
²²³ USAID. 2020. [Mini-réseaux insulaires au Bengale occidental.](#)

²²⁴ Zebra, E. I. C., et. al. 2021. [Examen des systèmes hybrides d'énergie renouvelable dans les mini-réseaux pour l'électrification hors réseau dans les pays en développement.](#)

également un opérateur villageois local pour les tâches d'entretien courant. Ces tâches comprennent le nettoyage mensuel, l'exploitation des systèmes à des heures précises et le signalement de tout problème technique aux autorités. L'opérateur villageois reçoit un salaire mensuel fixe pour ses services. Le contrôle et l'entretien des installations de mini-réseaux sont également assurés par un fonctionnaire chargé de remplacer les équipements endommagés. Le modèle financier qui sous-tend les opérations du CREDA permet la couverture des coûts d'investissement et de maintenance opérationnelle par l'État et le MNRE, ce qui se traduit par des frais minimes pour les utilisateurs finaux.

Les tarifs des mini-réseaux sont nettement plus élevés que ceux du réseau électrique principal, mais ils offrent souvent une plus grande fiabilité, tout en desservant des zones difficiles d'accès. Comme nous l'avons vu plus haut dans l'étude de cas, le réseau électrique national et les réseaux de distribution locaux sont souvent peu fiables et perturbés. Les tarifs des mini-réseaux pour les consommateurs résultent de la combinaison de l'environnement politique, des subventions et des coûts réglementaires, ainsi que des coûts fondamentaux de construction et d'exploitation d'un mini-réseau. En fin de compte, ces éléments, combinés aux économies d'échelle comparatives auxquelles un réseau national peut accéder, créent une énorme disparité entre les tarifs des mini-réseaux et le prix facturé par le réseau (figure 6.9).

FIGURE 6.9 Analyse des tarifs des mini-réseaux en Inde, à partir de diverses sources



Sources : Réseau national, et "Divers États" : Sharma, K. R. et. al. 2020. [Mini grids and enterprise development : A study of aspirational change and business outcomes among rural enterprise owners in India](#). Jharkhand day and night tariffs (tarifs de jour et de nuit) : McNamara, M. et. al. 2022. [Can Time-of-Use Tariffs Increase the Financial Viability of Mini-Grids \(Les tarifs en fonction de l'heure d'utilisation peuvent-ils augmenter la viabilité financière des mini-réseaux?\)](#) Diesel, diesel et solaire, et solaire et batterie : Comello, S. D. et. al. 2015. [Enabling Mini-grid Development in Rural India](#).

Des efforts ont été faits pour aborder la question de l'accessibilité tarifaire par le biais de subventions. Par exemple, le gouvernement de l'Uttar Pradesh, par l'introduction de la

politique de mini-réseau de l'État en 2016 (voir également la section A2.2 ci-dessus), visait à encourager le développement d'un secteur de mini-réseau financièrement viable en offrant une subvention de l'État de 30 % aux développeurs de mini-réseau en plus de la subvention de 30 % du gouvernement central. Cette politique impose à son tour des limites aux tarifs appliqués aux ménages, qui ne s'appliquent qu'aux projets utilisant ce financement de l'État. Pour tous les autres projets, les tarifs peuvent être fixés à un taux mutuellement convenu par les développeurs et les consommateurs. Cette politique n'a pas été couronnée de succès, car les promoteurs considèrent que la subvention n'est pas suffisante pour rendre viable le tarif imposé.²²⁵

A2.4.2 PUE

De plus en plus d'éléments indiquent qu'il existe une relation positive entre les initiatives axées sur le PUE et la viabilité des mini-réseaux, ce que l'on retrouve également dans le contexte indien. Les entreprises, en particulier, ont tout à gagner des raccordements électriques, qui ouvrent la voie à une augmentation de la productivité et de la consommation, et à de meilleurs résultats commerciaux. Des études ont montré que dans certaines régions de l'Inde, les systèmes d'irrigation solaire, associés à des pompes électriques, ont permis d'augmenter le rendement des cultures de près de 70 %.²²⁶ La recherche indique également que le temps gagné grâce à l'automatisation des tâches agricoles, qui sont souvent effectuées par les femmes et les filles, peut avoir des effets positifs sur un plus large éventail d'indicateurs socio-économiques.²²⁷

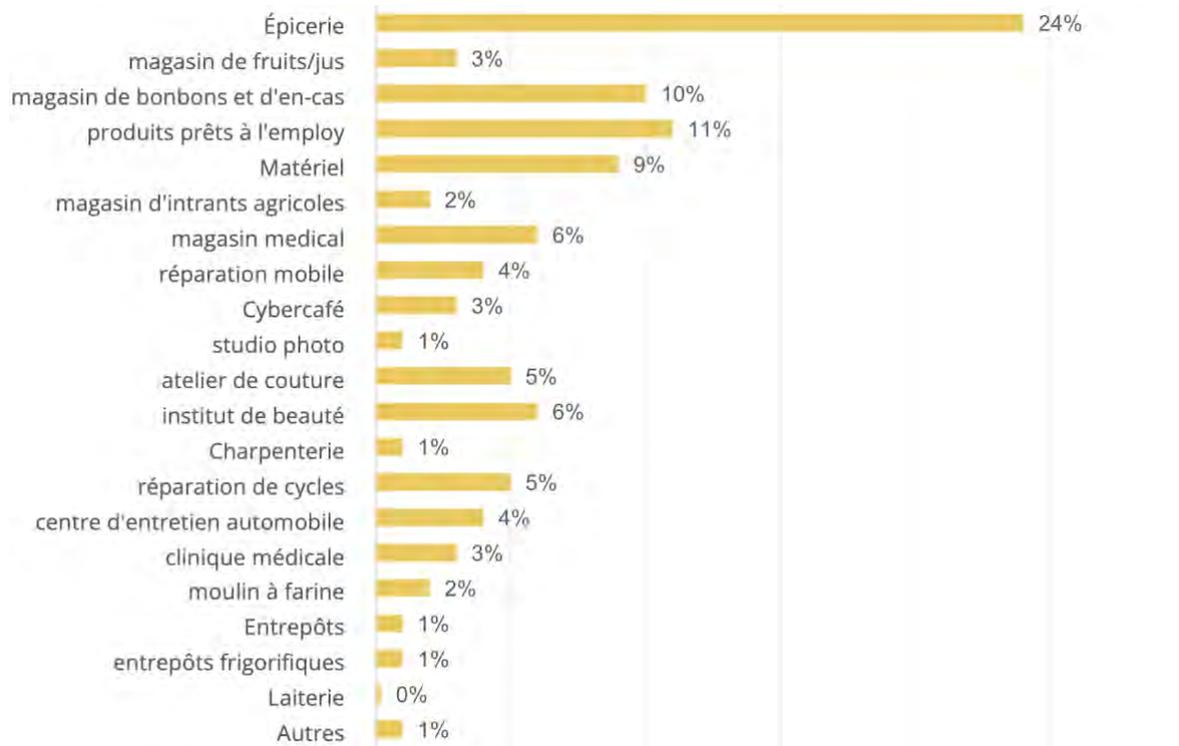
Les promoteurs privés de mini-réseaux en Inde encouragent activement le PUE par le biais de programmes spécifiques dans les communautés qu'ils desservent. Par exemple, Husk finance l'achat de machines à haut rendement énergétique pour des utilisations productives, telles que la réfrigération, la production de crème glacée et la mouture du riz et du maïs. En outre, le TPRMG a récemment lancé un programme visant à encourager les agriculteurs à remplacer les pompes d'irrigation fonctionnant au diesel par des pompes électriques, ce qui peut leur permettre d'économiser jusqu'à 30 à 35 % par rapport à leurs coûts d'irrigation actuels. TPRMG propose également des tuyaux flexibles mobiles, qui permettent aux agriculteurs de revendre l'eau pompée aux agriculteurs voisins et d'en tirer un revenu supplémentaire.²²⁸

²²⁵ Centre pour la science et l'environnement. 2018. [Mini-réseaux en Uttar Pradesh : Policy Lessons](#).

²²⁶ ESMAP. 2023. [Accélérer l'utilisation productive de l'électricité](#).

²²⁷ L'électricité pour tous. 2020. [Mini-réseaux : utilisation productive de l'énergie \(PUE\) dans l'agriculture](#).

²²⁸ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen et Ashish Shrestha. 2024. [Solutions de mini-réseau pour les clients mal desservis : Nouvelles perspectives au Nigeria et en Inde](#).

FIGURE 6.10 Répartition des entreprises rurales en Inde

Source : Fondation Rockefeller : Fondation Rockefeller, 2019. [Électrification rurale en Inde, comportement des clients et demande](#)

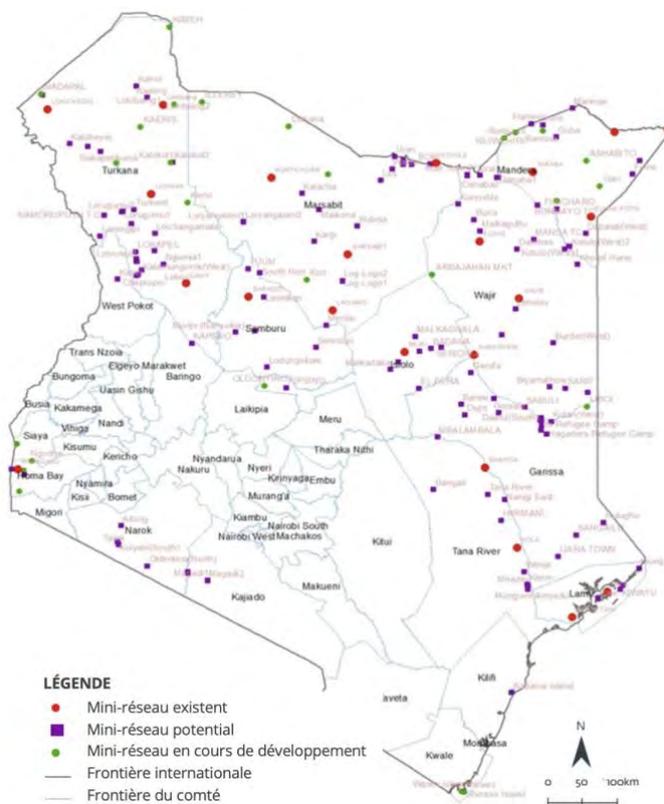
A3 Kenya

A3.1 Contexte national

A3.1.1 Électrification

Le parcours du Kenya vers l'électrification a connu des progrès remarquables, passant d'un accès de seulement 25 % en 2010 à plus de 70 % d'ici 2019, répartis entre le réseau (51 %) et les solutions hors réseau. Ce bond a été facilité par les efforts concertés du gouvernement kényan, des partenaires de développement et du secteur privé à travers un certain nombre d'initiatives d'électrification rurale. À l'avenir, le Kenya prévoit de développer plus de 400 mini-réseaux pour atteindre l'accès universel,²²⁹ en plus des réseaux existants, comme le montre la Figure 6.11.

FIGURE 6.11 Mini-réseaux existants et potentiels



Source : Banque mondiale : Banque mondiale. 2018. [Stratégie nationale d'électrification du Kenya](#).

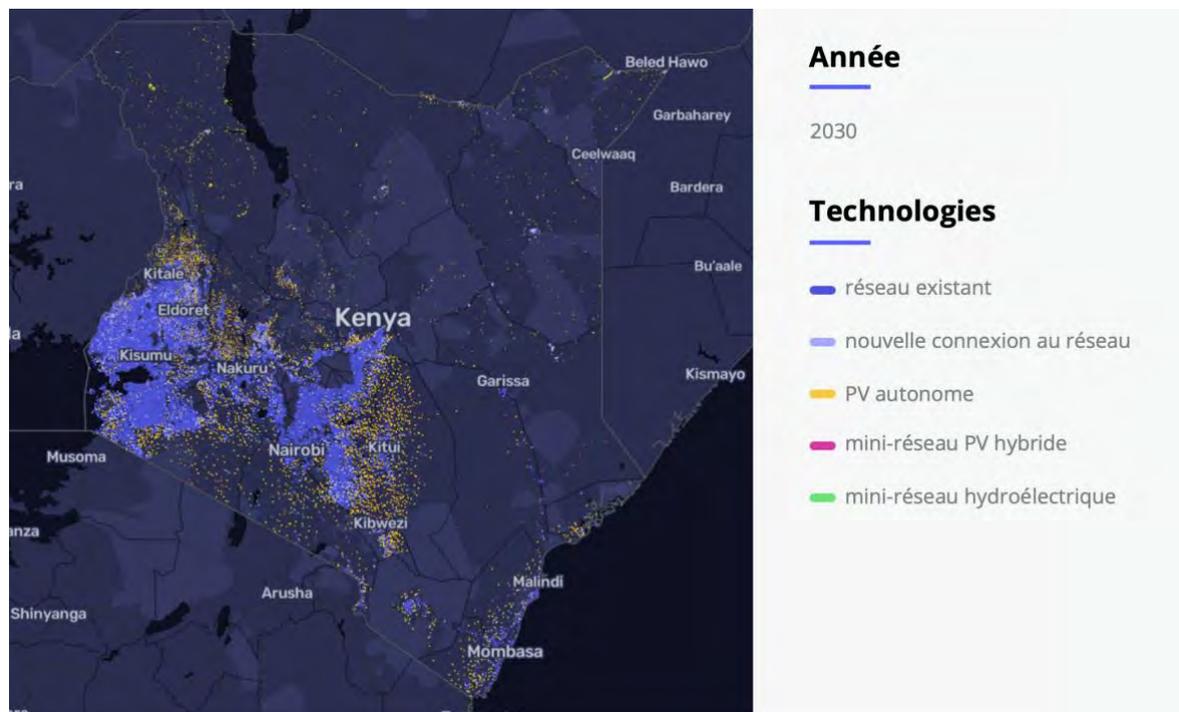
Parmi les initiatives importantes en matière d'électrification figure le projet de connectivité du dernier kilomètre, financé par la Banque africaine de développement. Sa troisième phase a été approuvée en 2023 et s'appuie sur la mise en œuvre réussie des deux premières phases, qui

²²⁹ ESMAP. 2023. [Développer les mini-réseaux pour la croissance économique](#).

ont fourni de l'électricité au réseau à plus de 1,05 million et près de 1,6 million de personnes, respectivement.²³⁰ Le programme est dirigé par le ministère de l'énergie et du pétrole et mis en œuvre par Kenya Power et la Rural Electrification and Renewable Energy Corporation (REREC).

La figure 6.12 présente la stratégie d'électrification complète du pays d'ici 2030, telle que présentée dans la Plateforme mondiale d'électrification. Pour atteindre l'accès universel d'ici 2030 sur la base du moindre coût, les mini-réseaux hybrides PV doivent électrifier 1,3 million de personnes, et 13 000 personnes supplémentaires doivent être connectées par le biais de mini-réseaux hydroélectriques. En ce qui concerne les mini-réseaux hybrides photovoltaïques et les mini-réseaux hydroélectriques, 125 MW et 2 MW de capacité supplémentaire respectivement sont nécessaires d'ici 2030 (sur un total de 1 711 MW de capacité supplémentaire). L'investissement correspondant requis d'ici 2030 est de 281 millions USD pour les hybrides PV et de 7 millions USD pour les mini-réseaux hydroélectriques.

FIGURE 6.12 Plan d'électrification à moindre coût du Kenya



Source : [Plate-forme mondiale d'électrification](#).

A3.1.2 Principaux opérateurs et projets de mini-réseaux

Le Kenya est l'un des rares pays au monde où les mini-réseaux desservent plus de 2 millions de personnes.²³¹ Les premiers mini-réseaux du Kenya ont été mis en place dans les années 1980 pour alimenter les centres administratifs du gouvernement qui étaient éloignés du réseau

²³⁰ BAD. 2023. [Kenya : La Banque africaine de développement engage plus de 101 millions d'euros pour améliorer l'accès à l'électricité](#).

²³¹ ESMAP. 2022. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Perspectives du marché et manuel à l'intention des décideurs](#).

principal.²³² Actuellement, le Kenya compte environ 500 mini-réseaux en service ou en construction (dont 324 sont basés sur l'énergie photovoltaïque), qui desservent principalement les zones rurales. En termes de technologie, ces mini-réseaux combinent généralement la production d'énergie solaire photovoltaïque avec le stockage de l'énergie dans des batteries, ainsi qu'un générateur diesel pour l'alimentation de secours.²³³

Le secteur kenyan des mini-réseaux a connu une croissance significative au cours de la dernière décennie, avec un mélange d'initiatives publiques, privées et communautaires. Il existe un nombre limité de mini-réseaux à grande échelle dans le secteur public au Kenya. La majorité d'entre eux appartiennent à REREC et sont gérés par Kenya Power, tandis que quelques-uns sont détenus et gérés par la Kenya Electricity Generating Company (KenGen).²³⁴ La plupart des mini-réseaux publics sont alimentés au diesel, tandis que quelques-uns ont été modernisés avec une composante d'énergie renouvelable. Les mini-réseaux exploités par KenGen ont été raccordés au réseau national.²³⁵

En outre, le Kenya a vu l'émergence de nombreux projets de mini-réseaux du secteur privé, généralement à plus petite échelle que les systèmes publics, avec plus de 50 mini-réseaux privés opérationnels et 150 en cours de développement.²³⁶ Les acteurs les plus importants du marché sont PowerGen et Powerhive, le premier développeur de mini-réseaux à avoir obtenu une licence en 2016. Jusqu'à présent, la société a installé 24 réseaux opérationnels avec une capacité de production totale de 0,9 MW, ce qui a permis à plus de 24 800 personnes d'avoir accès à l'électricité pour la première fois.²³⁷

Le projet phare de la Banque mondiale, le **KOSAP**, a été le principal programme de mini-réseaux dans le pays, ciblant 14 des 47 comtés du Kenya, qui ont été identifiés comme des zones éloignées et mal desservies. La première composante du projet (sur les mini-réseaux) visait à mobiliser des investissements dans un total de 120 sites de mini-réseaux identifiés géospaialement, chaque site ayant entre 100 et 700 utilisateurs potentiels et une demande de 20 kW à 300 kW.²³⁸ En fonction du nombre d'utilisateurs et du niveau de service défini pour chaque type d'utilisateur (ménages, entreprises, installations communautaires), le système de production des mini-réseaux combinera le photovoltaïque solaire, le stockage par batterie et les générateurs diesel.²³⁹ Le programme a été restructuré au fil des ans et vise aujourd'hui 150 nouveaux mini-réseaux dans des zones à faible taux d'accès à l'électricité.²⁴⁰

Le projet proposé a été conçu autour de trois principes fondamentaux : la diversification, la participation du secteur privé et la flexibilité. Le premier principe fait référence à la diversité

²³² EPRA. 2021. [Règlement Minigrind - Résumé de l'impact réglementaire.](#)

²³³ Énergies. 2023. [Modélisation et validation de mini-réseaux PV typiques au Kenya : Expérience du projet RESILIENT.](#)

²³⁴ Nouveau climat. 2019. [Le rôle des mini-réseaux d'énergie renouvelable dans le secteur de l'électricité au Kenya.](#)

²³⁵ Nouveau climat. 2019. [Le rôle des mini-réseaux d'énergie renouvelable dans le secteur de l'électricité au Kenya.](#)

²³⁶ ESMAP. 2023. [Développer les mini-réseaux pour la croissance économique.](#)

²³⁷ REPP. n.d. [Powerhive.](#)

²³⁸ OCDE. 2023. [Projet d'accès à l'énergie solaire hors réseau de la Banque mondiale.](#)

²³⁹ Banque mondiale. 2017. [Document d'évaluation du projet : Projet d'accès solaire hors réseau pour les comtés mal desservis.](#)

²⁴⁰ Banque mondiale. 2023. [Les mini-réseaux solaires pourraient alimenter durablement 380 millions de personnes en Afrique d'ici à 2030 - si des mesures sont prises dès maintenant.](#)

des bénéficiaires, notamment les ménages, les institutions publiques et les bureaux des comtés. Le deuxième principe vise à encourager la participation et l'investissement du secteur privé afin d'atteindre un plus grand nombre de bénéficiaires, de maximiser l'impact du projet et de promouvoir la durabilité à long terme. Enfin, le troisième principe tient compte de l'évolution rapide de la dynamique du marché dans le secteur des mini-réseaux en intégrant de la flexibilité dans les approches privilégiées. Ainsi, le projet vise à exploiter les avantages comparatifs des secteurs public et privé afin de maximiser les chances de réussite.²⁴¹

A3.2 Cadre politique

Le rôle essentiel des mini-réseaux dans la réalisation des objectifs nationaux en matière d'électrification et d'énergies renouvelables est mis en évidence par la **stratégie nationale d'électrification du Kenya de 2018**, qui propose un mélange de 70 % de solutions de réseau et de 30 % de solutions hors réseau, y compris des mini-réseaux et des systèmes solaires autonomes, pour atteindre l'accès universel d'ici à 2030. En particulier, la stratégie a fixé un objectif de 35 000 connexions à réaliser grâce à 121 nouveaux mini-réseaux qui desserviraient des groupes d'habitations trop éloignés du réseau ou trop petits pour être raccordés au réseau national.²⁴²

La loi kényane sur l'énergie de 2019 a jeté des bases solides pour le développement des mini-réseaux, en introduisant des réglementations et des lignes directrices claires. La loi prévoit l'établissement, l'octroi de licences et l'exploitation de mini-réseaux, ainsi que des tarifs et des mécanismes de subvention pour garantir l'accessibilité financière et encourager l'investissement du secteur privé.

Dans l'ensemble, le gouvernement kenyan a clairement reconnu le rôle vital des mini-réseaux dans la réalisation de son objectif d'électrification universelle et s'est efforcé de mettre en place l'environnement favorable nécessaire pour attirer les flux d'investissements privés dans le secteur. Par l'intermédiaire du REREC, le gouvernement a également mis en œuvre diverses initiatives pour soutenir le développement des mini-réseaux.

A3.3 Cadre réglementaire

Le Kenya a mis en place une réglementation actualisée sur les mini-réseaux en 2021,²⁴³ qui comprend des dispositions complètes couvrant tous les principaux aspects du développement des mini-réseaux. Ces réglementations sont le résultat d'une vaste consultation publique, ainsi que des commentaires de la plateforme de performance des énergies renouvelables sur l'amélioration de la "bancabilité" du projet de réglementation. L'objectif des règlements était d'harmoniser les exigences d'approbation des mini-réseaux par le gouvernement national, les gouvernements des comtés et les organismes de réglementation concernés ; de fournir un

²⁴¹ Banque mondiale. 2017. [Document d'évaluation du projet : Projet d'accès solaire hors réseau pour les comtés mal desservis](#).

²⁴² Banque mondiale. 2018. [Stratégie nationale d'électrification du Kenya](#).

²⁴³ EPRA. 2021. [Réglementation sur les mini-réseaux 2021](#).

processus clair et compétitif pour la réservation de sites de mini-réseaux, l'octroi de licences et l'interconnexion au réseau principal ; d'exposer les principes et le processus d'approbation des tarifs des mini-réseaux ; et de fournir les exigences techniques et de rapport pour leur fonctionnement sûr et efficace.²⁴⁴ Toutefois, les règlements n'ont pas encore été publiés au Journal officiel, ce qui crée une grande incertitude pour le secteur privé.²⁴⁵

Rapidité des processus réglementaires

La première caractéristique clé de la nouvelle réglementation est la rapidité et l'efficacité des processus réglementaires, compte tenu de la nécessité de minimiser les coûts des projets et, par conséquent, les tarifs, comme nous l'avons vu au point 2.2. Les règlements prévoient des délais courts pour un certain nombre de processus, notamment :

- Approbation de la manifestation d'intérêt et octroi de la réservation et de l'attribution exclusives du site - dans les 15 jours suivant la soumission des informations complètes.
- Approbation du tarif - dans les 60 jours suivant la réception de la demande de tarif (et des autres documents requis).
- Approbation de la demande de licence - dans un délai de 60 jours à compter de la date de la demande.

Toutefois, l'acquisition de terres a posé des problèmes, car de nombreux sites potentiels de mini-réseaux se trouvent dans des zones qui n'ont pas été officiellement enregistrées par le ministère des terres, des travaux publics, du logement et du développement urbain.²⁴⁶

Distinction entre les mini-réseaux privés et publics en ce qui concerne la fixation des tarifs

La loi sur l'énergie de 2019 stipule que l'Autorité de régulation de l'énergie et du pétrole doit veiller à ce que les tarifs soient justes et raisonnables dans l'intérêt des investisseurs et des consommateurs. Un exercice d'équilibrage est donc nécessaire pour aligner les tarifs sur la capacité et la volonté de payer des consommateurs, sur la viabilité des entreprises, ainsi que sur des considérations politiques plus larges.

La réglementation établit une distinction entre les mini-réseaux publics et privés. Les mini-réseaux publics, c'est-à-dire ceux qui sont développés à l'aide de fonds publics ou en partenariat avec un partenaire de développement, sont soumis au tarif national uniforme.²⁴⁷ Ce modèle nécessite des subventions, étudiées dans la section A3.4.1. En revanche, les mini-réseaux privés sont autorisés à fixer des tarifs de recouvrement des coûts selon un modèle

²⁴⁴ EPRA. 2021. [Règlement Minigrind - Résumé de l'impact réglementaire](#).

²⁴⁵ Entretien du consultant avec la Banque mondiale.

²⁴⁶ Entretien du consultant avec la Banque mondiale.

²⁴⁷ EPRA. 2021. [Réglementation sur les mini-réseaux 2021](#).

tarifaire normalisé, en suivant une approche modulaire.²⁴⁸ La période de contrôle des tarifs est de trois ans à compter de la date d'approbation.

Une attention accrue à la protection des consommateurs

La réglementation a renforcé les dispositions relatives à la protection des consommateurs par le biais d'une charte complète des services aux consommateurs, qui couvre notamment les aspects suivants

- Procédure de demande de raccordement du consommateur à l'électricité
- Délais de raccordement à l'électricité après la demande
- Paramètres de qualité de l'offre et de qualité du service attendus
- Détermination et paiement de l'électricité fournie
- Obligations et droits des consommateurs
- L'assistance au consommateur dans les centres de services ou par l'intermédiaire d'agents de services aux consommateurs basés dans la communauté.

Accords d'interconnexion

La clarté est essentielle lorsqu'il s'agit de définir les dispositions relatives à l'indemnisation en cas d'arrivée sur le réseau, afin de garantir le remboursement des investissements. La réglementation accorde une grande flexibilité dans le choix des modèles commerciaux d'interconnexion ; le développeur de mini-réseau peut choisir d'opérer comme suit :

- Un producteur d'électricité qui vend au concessionnaire de distribution
- Un distributeur d'électricité qui achète de l'électricité en gros au titulaire d'une licence de distribution et revend cette électricité aux consommateurs dans le cadre d'un contrat de fourniture d'énergie.
- À la fois producteur et distributeur d'électricité, l'opérateur de mini-réseau reste le distributeur d'électricité pour la zone et achète de l'électricité au concessionnaire de distribution en plus de sa production existante, et vend de l'électricité aux consommateurs.
- Tout autre modèle de fonctionnement approuvé par l'autorité

L'opérateur de mini-réseau peut également retirer les actifs de distribution ou les vendre au concessionnaire de distribution.

En ce qui concerne la compensation, l'opérateur de mini-réseau isolé doit négocier une compensation avant le transfert des actifs du mini-réseau tel qu'approuvé par l'autorité, sur la

²⁴⁸ EPRA. n.d. [Standard Tariff Application Model for Minigrids](#).

base de la valeur amortie restante des actifs (y compris les coûts de construction et de développement), plus tout revenu que l'opérateur de mini-réseau doit aux consommateurs mais qu'il n'a pas encore perçu jusqu'à la date du transfert des actifs.

Dans la pratique, il n'est pas certain que ces accords d'interconnexion aient été pleinement mis en œuvre, étant donné que les règlements n'ont pas encore été publiés au Journal officiel, comme nous l'avons mentionné plus haut. Par exemple, un développeur n'a pas été en mesure de recevoir une compensation à la suite d'un empiètement sur le réseau, ce qui a créé une incertitude parmi les acteurs du secteur privé.²⁴⁹

A3.4 Économie

A3.4.1 Modèles économiques, tarifs et accessibilité financière

Le gouvernement du Kenya a largement mis en œuvre un modèle d'entreprise dirigé par le secteur public pour les mini-réseaux, dans lequel le secteur privé est responsable de l'ingénierie, de l'approvisionnement et de la construction (EPC), tandis que la propriété des actifs, ainsi que l'exploitation et la maintenance, relèvent du secteur public.²⁵⁰

Néanmoins, le gouvernement a également favorisé un environnement propice à la participation du secteur privé au-delà de l'EPC, avec plus de 50 mini-réseaux privés opérationnels et 150 en cours de développement.²⁵¹

Enfin, des modèles hybrides ont également été testés. Par exemple, dans le cadre d'un projet pilote financé par la GIZ, un mini-réseau solaire-diesel a été construit à Talek, dans le comté de Narok, et remis au gouvernement du comté de Narok après son achèvement. Le gouvernement national a ensuite passé un contrat avec un opérateur privé, PowerGen, pour l'entretenir et l'exploiter.²⁵² Ce modèle de propriété publique et d'exploitation privée a ouvert la voie à l'approche PPP dans le cadre du projet KOSAP de la Banque mondiale.²⁵³

Le KOSAP envisageait une transition des mini-réseaux purement publics ou privés vers une **approche PPP**. Dans le cadre de cette approche, les actifs de production seraient cofinancés par des investissements privés et des fonds publics, tandis que les actifs de distribution seraient construits à l'aide de fonds publics. La construction (et le financement partiel) du système de production et la construction du réseau de distribution relèveraient de la responsabilité d'un prestataire de services privé, dans le cadre de deux contrats à long terme avec Kenya Power :

²⁴⁹ Entretien du consultant avec la Banque mondiale.

²⁵⁰ ESMAP. 2023. [Développer les mini-réseaux pour la croissance économique](#).

²⁵¹ ESMAP. 2023. [Développer les mini-réseaux pour la croissance économique](#).

²⁵² Chatham House. 2019. [Au-delà de la construction : Les défis du déploiement des mini-réseaux au Kenya](#).

²⁵³ Nouveau climat. 2019. [Le rôle des mini-réseaux d'énergie renouvelable dans le secteur de l'électricité au Kenya](#).

- Un contrat d'achat d'électricité d'une durée de sept à dix ans pour l'exploitation et la maintenance du système de production et le recouvrement de la partie de l'investissement financée par le secteur privé.
- Un contrat de service de sept à dix ans pour l'exploitation et la maintenance du réseau de distribution.

Une fois que l'investissement privé pour les actifs de production est récupéré, la propriété de tous les actifs (à la fois la production et la distribution) est transférée au gouvernement du Kenya.

Les sites sélectionnés, qui regroupent environ 27 000 consommateurs au total, ont été divisés en lots/territoires de service, qui comprennent au moins 20 mini-réseaux proposés situés dans des zones géographiquement contiguës, avec 2 000 clients potentiels ou plus. **Afin d'améliorer la viabilité commerciale, chaque lot comprend un mélange de sites à forte densité de population et de sites à faible densité de population.**²⁵⁴

Cependant, l'approche PPP n'a pas été bien accueillie par le gouvernement et le KOSAP a été restructuré en conséquence. L'idée de mobiliser des fonds privés pour l'électrification rurale, qu'ils considèrent comme un service public, a suscité beaucoup d'hésitations chez les fonctionnaires. Même si le gouvernement est préoccupé par les questions d'équité découlant des tarifs plus élevés que les populations moins aisées doivent payer, ce qui entraîne des comparaisons entre les tarifs de Kenya Power et ceux des mini-réseaux, l'idée d'accorder des subventions au secteur privé ou de mobiliser des fonds privés par l'intermédiaire des fonds de la Banque mondiale n'a pas été populaire, ce qui a entravé la mise en œuvre de l'approche PPP initialement prévue dans le cadre du KOSAP. Dans le programme restructuré, les actifs sont entièrement financés par le secteur public, détenus par RREC et Kenya Power (et finalement transférés à Kenya Power). Ainsi, les mini-réseaux sont conçus pour fonctionner comme des réseaux isolés et, à terme, pour être interconnectés au réseau.²⁵⁵

En mars 2024, aucun mini-réseau n'avait été construit dans le cadre du KOSAP. Un appel d'offres a été lancé par RREC en août 2023 pour la conception et l'installation de mini-réseaux dans les comtés de Turkana, Marsabit, Samburu et Isiolo, combinées à sept années de services d'exploitation et de gestion.²⁵⁶ Dans le cadre de l'appel d'offres, les 137 mini-réseaux ont été divisés en lots et la sélection des entrepreneurs devrait avoir lieu en 2024.²⁵⁷

Le ministère de l'énergie est favorable à un tarif national uniforme. Dans le cadre du KOSAP, tous les consommateurs d'électricité des mini-réseaux seront des clients de Kenya Power qui paieront le même tarif que les clients connectés au réseau national, suivant ainsi une approche tarifaire nationale uniforme.²⁵⁸ L'extension du tarif de Kenya Power aux mini-réseaux

²⁵⁴ Banque mondiale. 2017. [Document d'évaluation du projet : Projet d'accès solaire hors réseau pour les comtés mal desservis.](#)

²⁵⁵ Entretien du consultant avec la Banque mondiale.

²⁵⁶ Banque mondiale. 2023. [Kenya : Projet d'accès solaire hors réseau pour les comtés mal desservis.](#)

²⁵⁷ Entretien du consultant avec la Banque mondiale.

²⁵⁸ Banque mondiale. 2017. [Document d'évaluation du projet : Projet d'accès solaire hors réseau pour les comtés mal desservis.](#)

nécessite un mécanisme de subvention, tel qu'une taxe.²⁵⁹ La taxe du programme d'électrification rurale a été utilisée pour subventionner partiellement les coûts de service plus élevés des mini-réseaux par d'autres clients du réseau national.²⁶⁰ Pour atteindre l'objectif de 35 000 ménages desservis par des mini-réseaux, la stratégie nationale d'électrification du Kenya a estimé qu'une subvention annuelle d'environ 16 050 000 USD était nécessaire pour les mini-réseaux.

A3.4.2 PUE

Comme nous l'avons vu dans la section 2.3, le PUE est essentiel pour augmenter la charge des clients. Vulcan Impact Investing, qui possède une dizaine de mini-réseaux dans les zones rurales du Kenya, le souligne : le revenu moyen par utilisateur généré par les 10 % de ses clients qui sont des utilisateurs productifs (comme les petites entreprises) était cinq fois supérieur au revenu généré par les 90 % restants.²⁶¹ Un autre exemple de promotion du PUE pour augmenter la demande d'électricité des mini-réseaux est celui de PowerGen au Kenya, qui fournit des réfrigérateurs et des congélateurs aux clients commerciaux, ce qui leur permet de proposer des boissons fraîches ou de conserver leurs produits plus longtemps, contribuant ainsi à l'augmentation des revenus des clients.²⁶²

Étant donné le coût initial prohibitif des équipements PUE, le financement fourni par les développeurs est essentiel pour surmonter cet obstacle. Par exemple, Powerhive a lancé un programme de micro-financement de la volaille qui a permis de financer sept couveuses et de construire 25 poulaillers dans le comté de Kisii au Kenya, offrant ainsi des moyens de subsistance à plus de 130 personnes, générant un revenu de 150 à 250 USD par personne chaque mois. En outre, les propriétaires de couveuses bénéficient d'une formation continue. L'entreprise a également financé des autocuiseurs électriques pour encourager la cuisine propre et a facilité le déploiement de moulins électriques, de motos et de tuk-tuks, ainsi que de couvoirs sur ses sites, améliorant ainsi les moyens de subsistance et renforçant la résilience de la communauté.²⁶³

Le financement basé sur les résultats (RBF) par les donateurs peut également s'avérer crucial pour développer les applications PUE. Par exemple, CEI Africa a lancé un mécanisme de financement basé sur les résultats en décembre 2023, qui fournira des subventions pour la mise en œuvre de stratégies PUE connectées à des mini-réseaux d'énergie renouvelable dans un certain nombre de pays cibles, y compris le Kenya. Le décaissement des subventions est conditionné à deux aspects : premièrement, l'atteinte de certains résultats convenus au préalable, tels que la réduction des dépenses des ménages/PME, l'augmentation des revenus

²⁵⁹ Banque mondiale. 2018. [Stratégie nationale d'électrification du Kenya](#).

²⁶⁰ Nouveau climat. 2019. [Le rôle des mini-réseaux d'énergie renouvelable dans le secteur de l'électricité au Kenya](#).

²⁶¹ ESMAP. 2022. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Perspectives du marché et manuel à l'intention des décideurs](#).

²⁶² ESMAP. 2022. [Des mini-grilles pour un demi-milliard de personnes : Perspectives du marché et manuel à l'intention des décideurs](#).

²⁶³ REPP. n.d. [Powerhive](#).

des communautés locales et le soutien aux femmes entrepreneurs ; et deuxièmement, la livraison/installation vérifiée de l'équipement.²⁶⁴

A4 Collecte des données

Le rapport suit une approche ascendante, en s'appuyant sur deux bases de données distinctes :

- La **base de données des Mini-Grid Funders (MGF)**, qui contient des informations sur les programmes de mini-réseaux. Elle couvre des aspects tels que la durée du programme, le type d'instruments de financement utilisés, le nombre total de connexions prévues et le total des fonds engagés et déboursés, inclus dans les sections 2.4 et 3.3 du rapport. La base de données du FGM a été complétée par une base de données sur les opérations d'investissement fournie par la Banque mondiale.
- La **base de données Mini-Grid Asset (MGA)**, qui contient des informations sur 1 097 projets de mini-réseaux dans 16 pays. Elle couvre des aspects tels que la technologie, la répartition des clients et les coûts, inclus dans les sections 2.1, 2.3, 2.5 et 2.6 du rapport.

La collecte de données pour la **base de données MGF** a été menée par Carbon Trust. Initialement prévue de décembre 2023 à janvier 2024, elle a été prolongée jusqu'en avril 2024 pour tenir compte des réponses supplémentaires. Le modèle de données a été distribué à tous les membres du groupe MGF et 14 organismes de financement au total ont fourni des données. Le modèle de données Excel comprenait les paramètres suivants :

- | | |
|---|--|
| • Nom de l'organisation | • Quel stade de développement des mini-réseaux le financement soutient-il principalement ? |
| • Pays, région | • Quelle étape supplémentaire du développement des mini-réseaux le financement soutient-il ? |
| • Nom du programme | • Une assistance technique est-elle fournie dans le cadre du programme ? |
| • Bénéficiaire d'une subvention ou d'une aide | • Nombre de connexions prévues |
| • Date d'approbation et de fin | • Nombre de connexions réalisées à ce jour |
| • Budget du bailleur de fonds | • Subvention moyenne par connexion |
| • Pourcentage du budget déployé à ce jour | • Tarif moyen par connexion |
| • Financement en monnaie locale (oui/non) | |
| • Instruments de financement primaire, secondaire et tertiaire et leurs parts respectives | |

²⁶⁴ CEI Afrique. 2023. [CEI Africa lance la composante "Smart Outcomes" axée sur la promotion de l'utilisation productive de l'énergie.](#)

La collecte de données pour la base de données MGA a été dirigée par Economic Consulting Associates (ECA) de novembre 2023 à janvier 2024. Un modèle de données Excel a été développé pour capturer les mesures suivantes :

- Nom du projet
- Pays, ville
- Développeur
- Statut de propriété
- Année de la commission
- Technologie
- Capacité d'installation pour chaque type de technologie (solaire, éolienne, biomasse, diesel, autre) en kW
- Puissance de la batterie (kW) et capacité (kWh)
- Électricité fournie (kWh/an)
- Nombre de clients par type (entreprises, ménages, public)
- Part de la consommation par type de client
- Coûts d'investissement et d'exploitation
- Moyenne des pannes par mois et durée moyenne des pannes
- Coordonnées

L'équipe a contacté 165 parties prenantes du secteur des mini-réseaux, y compris des développeurs, des donateurs et des investisseurs privés, pour distribuer le modèle de demande de données. Malgré cette vaste campagne de sensibilisation, le taux de réponse initial a été très faible. Les consultants ont ensuite effectué un suivi auprès de toutes les parties prenantes qui n'avaient pas répondu. Pour ceux qui n'ont toujours pas répondu, des modèles personnalisés contenant des informations pré-remplies sur leurs mini-réseaux, provenant principalement de ressources accessibles au public, ont été envoyés. En outre, les consultants ont collaboré avec AMDA pour encourager les développeurs à partager leurs données. En fin de compte, 20 parties prenantes ont répondu à la demande d'enquête.