



MADAGASCAR

# Planification énergétique intégrée

ÉLECTRIFICATION

JUIN 2024

EN PARTENARIAT AVEC :



VOUS POUVEZ DECOUVRIR ET TELECHARGER LES RÉSULTATS SUR :

**[madagascar-iep.sdg7energyplanning.org](http://madagascar-iep.sdg7energyplanning.org)**



**POUR TOUTES QUESTIONS :**  
[uiep@seforall.org](mailto:uiep@seforall.org)



# Autres rapports disponibles



## Madagascar - Rapport de synthèse sur la cuisson propre

Ce rapport de synthèse donne un aperçu des voies de déploiement de la cuisson propre à l'horizon 2030. En utilisant une approche basée sur des scénarios, le rapport identifie les combinaisons potentielles de technologies de cuisson et de combustibles modernes et plus propres pour atteindre les cibles de l'ODD7.1 d'ici 2030 et la réalisation du Pacte énergétique de l'ODD7 de Madagascar.

[TÉLÉCHARGER ICI →](#)



## Madagascar - Rapport de synthèse sur la chaîne du froid

Ce rapport de synthèse comprend les résultats de l'utilisation et de l'évaluation des capacités de la chaîne du froid, de l'évaluation des besoins énergétiques des infrastructures, et des recommandations pour une gestion efficace de la chaîne du froid pour les secteurs médical et agricole à Madagascar.

[TÉLÉCHARGER ICI →](#)



**i** Les rapports techniques complets pour toutes les composantes de la PEI de Madagascar sont disponibles pour [téléchargement ici](#)

## Remerciements

Ce document a été rédigé par Sustainable Energy for All (SEforALL), avec le soutien de Modern Energy Cooking Services (MECS) et des équipes de consultants de NRECA International, Arizona State University, D-GRID Energy, Fraym, JSI et AIDES. La PEI de Madagascar a été élaborée en étroite collaboration avec le ministère de l'Énergie et des Hydrocarbures (MEH), l'Agence de développement de l'électrification rurale (ADER), la JIRAMA et l'Office de régulation de l'électricité (ORE), dans le cadre d'un programme financé par la Global Energy Alliance for People and the Planet (GEAPP) et le Fonds de l'OPEP pour le développement international.

La PEI de Madagascar a été supervisée par l'Unité de planification énergétique, avec des conseils et des contributions supplémentaires du Groupe de travail national sur la cuisson propre. Le projet a été soutenu par les points focaux du Ministère de l'Environnement et du Développement durable (MEDD), du Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage (MINAE), du Ministère de l'Industrie et du Commerce (MIC), du Ministère de la Pêche et de l'Économie bleue (MPEB) et du Ministère de la Santé Publique (MSanP).

Nous tenons à remercier chaleureusement les parties prenantes gouvernementales de l'INSTAT, du ministère de l'Économie et des Finances et d'autres ministères et entités publiques pour leur contribution et leur soutien, ainsi que les principaux partenaires de développement ayant fourni des données et des commentaires tout au long du projet, notamment la BAD, l'UE, le FCDO, la GIZ, l'ONUDI, le PNUD, l'USAID, la Banque mondiale et le PAM (liste non exhaustive).

Enfin, nous tenons à remercier le secteur privé, la société civile et les organismes de recherche qui ont contribué au développement de la PEI par le partage de données, d'expériences et de besoins de planification. Il s'agit notamment d'AfricaGreenTec, d'ANKA, du CIRAD, du projet Gaia, de WeLight, du WWF, ainsi que d'autres entités.

MISE EN ŒUVRE PAR :



AVEC L'APPUI FINANCIER DE :



EN PARTENARIAT AVEC :



# Sigles

<b>ADER</b>	Agence de Développement de l'Électrification Rurale	<b>MECS</b>	Modern Energy Cooking Services/Services de cuisine énergétique moderne
<b>ARELEC</b>	Autorité de Régulation de l'Électricité	<b>MEH</b>	Ministère de l'Énergie et des Hydrocarbures / Ministry of Energy and Hydrocarbures
<b>ASS</b>	Afrique Subsaharienne	<b>MINAE</b>	Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage
<b>BAD</b>	Banque africaine de développement	<b>MT</b>	Moyenne tension
<b>BT</b>	Basse tension	<b>NEP</b>	New Energy Policy/Nouvelle Politique de l'Énergie
<b>ESMAP</b>	Programme d'assistance à la gestion du secteur de l'énergie (Banque mondiale)	<b>ONU</b>	Organisation des Nations Unies
<b>FNE</b>	Fonds National de l'Electricité	<b>ORE</b>	Electricity Regulatory Authority/Office de Régulation de l'Electricité
<b>FNED</b>	Fonds national de l'énergie durable	<b>PDMC</b>	Plan de Développement au Moindre Coût
<b>GLCEP</b>	Geospatial Least-Cost Electrification Plan/Analyse des options d'électrification géospatiale au moindre cout	<b>PEI</b>	Planification énergétique intégrée
<b>GoM</b>	Gouvernement de Madagascar	<b>PRIRTEM</b>	Projet de renforcement et d'interconnexion du réseau de transport d'électricité à Madagascar
<b>HT</b>	Haute tension	<b>PV</b>	Photovoltaïque
<b>INSTAT</b>	Institut National de la Statistique	<b>SEforALL</b>	Sustainable Energy for All/Energie Durable pour tous (SEforALL)
<b>IPP</b>	Producteur indépendant d'énergie	<b>SIG</b>	Système d'information géographique
<b>JIRAMA</b>	Jlro sy RAno MAlagasy is the Malagasy public electric utility	<b>SSS</b>	Standalone Solar PV System/Système photovoltaïque solaire autonome
<b>LEAD</b>	Projet de développement de l'accès à l'électricité à moindre coût		

## Les défis de l'électrification à Madagascar

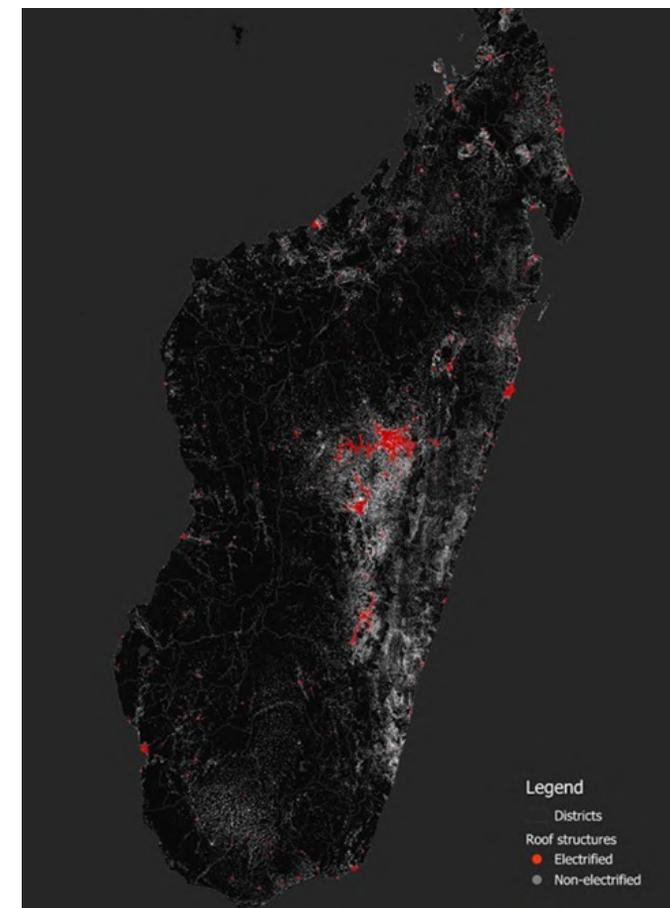
- Le rapport de suivi de l'ODD7 pour 2023 estime un taux d'accès à l'électricité de 35 % pour Madagascar.
- Ensemble, la JIRAMA et les fournisseurs hors réseau ont servi environ 1,93 million de consommateurs en 2023, dont quelque 620 000 consommateurs desservis par le réseau et 51 000 consommateurs de mini-réseaux. On estime que les 1,26 million de consommateurs restants sont desservis par des solutions solaires autonomes.
- 18,76 millions de personnes à Madagascar n'ont actuellement pas accès à l'électricité. En outre, 2 400 établissements de santé et près de 23 000 écoles n'ont pas non plus accès à une alimentation électrique fiable.
- Les consommateurs raccordés à l'électricité sont confrontés à des grands problèmes de qualité et de fiabilité de l'énergie. Une alimentation électrique insuffisante entraîne des pannes fréquentes ; un accès insuffisant aux investissements contribue à la surcharge des alimentateurs et des transformateurs.
- Pour atteindre l'accès universel à l'électricité d'ici 2030, Madagascar devra ajouter environ 9 millions de nouveaux raccordements au réseau et hors réseau, pour un coût estimé à 7 milliards de dollars (à l'exclusion des nouveaux investissements dans la production et le transport de réseau).

**Tableau 1 :** Raccordements estimés en 2023

Source : JIRAMA, ADER et MTF 2023

MODE D'ACCES	RACCORDEMENTS ESTIMÉS EN 2023
Clients JIRAMA	620 839
Clients isolés du mini-réseau	50 882
Solaire autonome	1 260 000
<b>Total</b>	<b>1 931 721</b>

**Carte 1 :** État de l'électrification des ménages à Madagascar (2023)



# Collecte de données : Principales données entrées pour la planification de l'électrification

**Tableau 2 :** Principales couches de données et sources pour l'analyse géospatiale de l'électrification à moindre coût

TYPES DE DONNEES	CARACTERISTIQUES	DATE	SOURCE	UTILISATION DANS LA MODÉLISATION
Limites administratives/ politiques	Il s'agit notamment des limites régionales, des districts, des communes et des fokontany	2023	HDX pour les districts, les communes et les fokontany, et ONU OCHA/ONUDI pour les régions	Fournit des étendues de limites administratives, utilisées pour agréger les impacts du projet et de l'accès à l'électricité par limite administrative
Réseau routier	Routes primaires, secondaires et tertiaires.	2023	OSM	Utilisé pour le chemin de routage le moins coûteux pour les alimentations MT et BT
Données démographiques	Données démographiques issues du recensement le plus récent principalement le « Troisième recensement général de la population et de l'habitation », ou RGPH-3	2018	INSTAT	Fournit des estimations de la population et des ménages, ainsi que des données sur les taux de croissance.
Données relatives au réseau	Emplacements du réseau de transport et des sous-stations primaires, alignements des lignes MT, emplacements des réseaux de distribution isolés, etc.	2023	ADER et JIRAMA	Entrées requises pour la définition des zones électrifiées pour l'analyse de la densification, ainsi que l'acheminement des nouveaux projets d'extension du réseau
Consommation d'Électricité	Les données sur la consommation d'électricité ont été dérivées de la base de données commerciale JIRAMA 2022, enquête MTF 2020 de la Banque mondiale. Paramètres d'estimation de la demande ADER exportés à partir de GEOSIM et d'autres études soutenues par des donateurs.	N/A	JIRAMA, Banque mondiale ESMAP, ADER, AFD, entre autres	Entrée requise pour développer des hypothèses de charge pour le regroupement des structures en zones utilisables
Structures	Points de structures numérisés à Madagascar sur la base d'images satellites récentes	2023	Google Open Buildings	Entrée requise, utilisée comme source principale d'emplacements de raccordement potentiels
Caractéristiques du terrain ou de la base terrestre	Rivières, lacs, forêts, parcs nationaux, etc.	2020	Petit atlas hydroélectrique de l'ADER et de la Banque mondiale	Entrée requise, utilisée pour limiter ou filtrer l'extension de la ligne sur le réseau et hors réseau afin de ne pas traverser les principales caractéristiques du terrain ou les zones protégées
Coûts des matériaux et de la construction	Estimations des coûts unitaires pour les conducteurs par tension, transformateurs, branchements de service, entre autres	2023	Base de données des coûts développée par NRECA, diverses sources, 2023	Contribution requise pour produire des estimations de coûts pour toutes les infrastructures et tous les projets d'électrification

## Collecte de données : Enquête sur les dépenses énergétiques

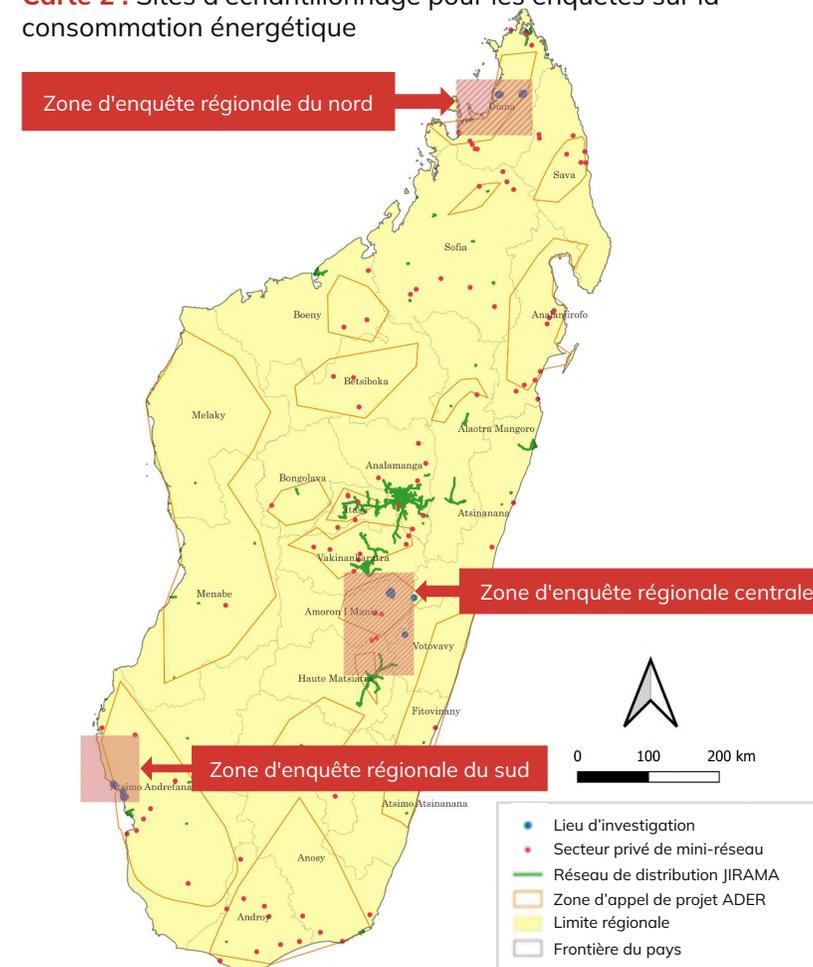
Dans le cadre du projet PEI, une enquête sur les dépenses énergétiques a été réalisée en juin-juillet 2023 pour évaluer la consommation et les dépenses énergétiques ainsi que les modèles d'utilisation des appareils pour les consommateurs hors réseau dans les zones récemment ou bientôt électrifiées. Ces données ont été combinées avec les données de consommation existantes de la base de données clients JIRAMA et d'autres évaluations des dépenses énergétiques menées pour l'ADER afin de valider les hypothèses de demande utilisées dans l'analyse géospatiale de l'électrification à moindre coût.\*

Avec une taille d'échantillon supérieure à 1500, les enquêtes ciblées ont identifié trois zones distinctes (nord, centre et sud) pour assembler un échantillon représentatif de la population hors réseau de Madagascar dans tout le pays. Les participants à l'enquête ont été sélectionnés parmi des structures de logement randomisées pour obtenir un échantillon d'enquête avec un intervalle de confiance de 95 % et un taux d'erreur de 5 %.

Chaque échantillon de l'enquête comprenait des consommateurs résidentiels, commerciaux et des établissements publics (centres de santé et écoles) afin de déterminer la prévalence relative et la volonté de payer (WTP) pour ces segments de clientèle. Les dépenses énergétiques ont été évaluées pour les populations résidentielles et les PME ; toutes les infrastructures publiques de la zone d'enquête ont également été évaluées.

\*Remarque : Les estimations finales de la demande et de la consommation utilisées dans le modèle d'électrification géospatiale à moindre coût sont disponibles dans le [rapport technique d'électrification PEI de Madagascar](#)

**Carte 2 :** Sites d'échantillonnage pour les enquêtes sur la consommation énergétique



**Tableau 3 :** Dépenses énergétiques mensuelles par type de client et par zone d'enquête

		ÉLECTRIFIÉ USD/MOIS	NON ÉLECTRIFIÉ USD/MOIS	ÉLECTRIFIÉ USD/MOIS	NON ÉLECTRIFIÉ USD/MOIS	ÉLECTRIFIÉ USD/MOIS	NON ÉLECTRIFIÉ USD/MOIS
<b>RÉSIDENTIEL</b>		<b>NORD</b>		<b>CENTRALE</b>		<b>SUD</b>	
10%	Élevé	\$21.84	\$5.41	\$ 7.37	\$5.35	\$16.34	\$5.87
20 %		\$14.67	\$3.53	\$ 4.74	\$3.98	\$9.76	\$3.80
35 %	Moyenne	\$9.55	\$2.61	\$ 3.80	\$2.88	\$6.02	\$2.70
50 %		\$7.25	\$2.10	\$ 3.46	\$ 3.46	\$4.83	\$1.82
75 %	Basse	\$1.82	\$1.00	\$ 2.43	\$1.15	\$2.95	\$1.07
90 %		\$5.52	\$0.72	\$ 1.25	\$0.70	\$1.97	\$0.38
<b>INFRASTRUCTURES COMMERCIALES ET PUBLIQUES</b>		<b>NORD</b>		<b>CENTRALE</b>		<b>SUD</b>	
10 %	Élevé	\$85.49	\$147,25	\$40.28	\$3.30	\$43.40	\$13.46
20 %		\$ 51,79	\$10.59	\$19.73	\$2.65	\$27.62	\$6.91
35 %	Moyenne	\$23.02	\$3.89	\$11.51	\$0.86	\$18.15	\$3.73
50 %		\$15.33	\$2.50	\$8.38	\$0.53	\$10.11	\$2.77
75 %	Basse	\$7.14	\$1.27	\$4.14	\$0.01	\$4.93	\$1.04
90 %		\$5.18	\$0.30	\$2.49	\$0.01	\$2.58	\$0.24

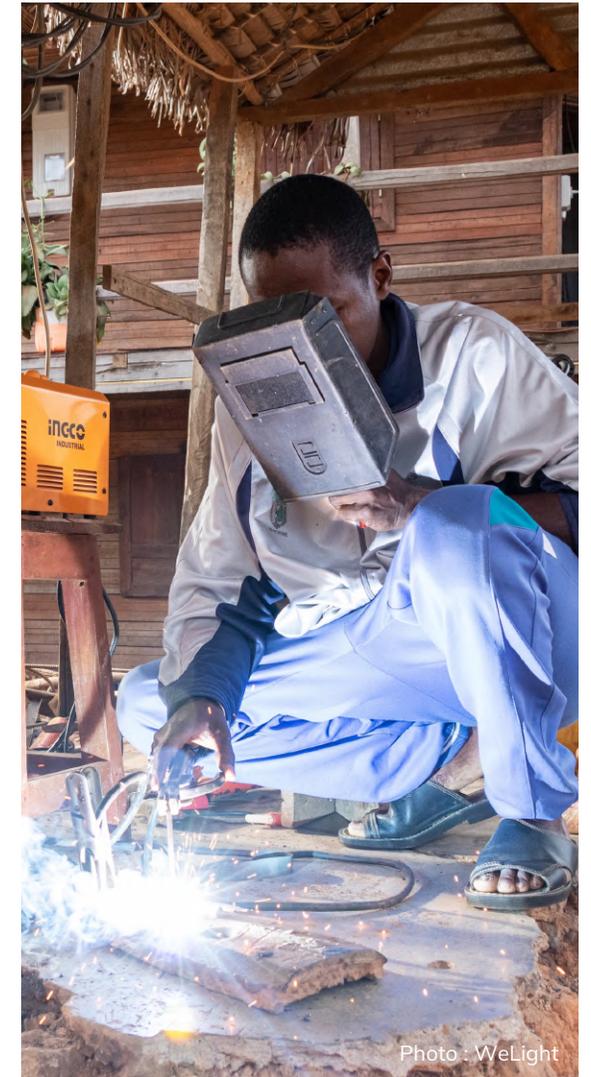


Photo : WeLight

# Méthodologie : Etapes de l'analyse de l'électrification à moindre coût

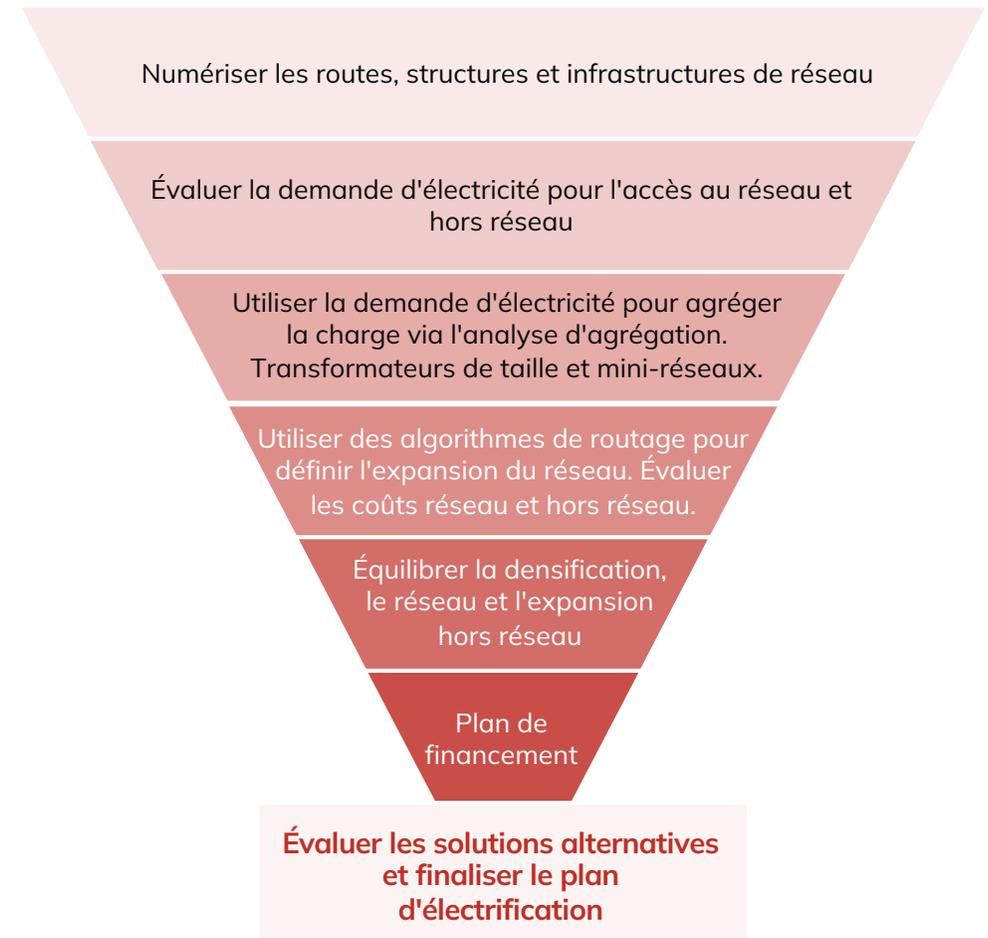
La PEI de Madagascar a évalué le potentiel d'électrification en utilisant une approche géospatiale de planification de l'électrification à moindre coût.

En utilisant des toits numérisés, des données sur la topologie et les infrastructures électriques et routières existantes ainsi que les résultats des évaluations de la demande, la PEI a élaboré un plan d'électrification détaillé qui identifie l'option technologique la moins coûteuse pour fournir de l'électricité à chaque bâtiment non électrifié du pays.

Les principaux résultats de l'analyse étaient les suivants :

- Plan national complet d'électrification à moindre coût couvrant les modalités au réseau (densification et extension) et hors réseau (mini-réseaux et systèmes photovoltaïques solaires autonomes)
- Carnets de cartes numérisés avec routage MT et BT, placement des transformateurs et dimensionnement de l'infrastructure pour les solutions de réseau et de mini-réseau
- Coûts d'investissement par composant et par projet sur la base d'estimations détaillées de l'équipement
- Plan de financement de haut niveau pour estimer le montant des investissements publics et privés nécessaires et les coûts de raccordement supportés par les consommateurs
- Analyse spatiale des potentiels de charge spécifiques à l'utilisation, y compris la cuisson électronique, les infrastructures sociales telles que les écoles et les établissements de santé et les utilisations productives de l'énergie, y compris la mouture et le refroidissement du grain

Figure 1 : Étapes pour réaliser le plan d'électrification géospatiale à moindre coût



## Résultats de l'électrification : Densification

La densification du réseau, ou l'ajout de raccordements supplémentaires par le biais de courtes extensions de ligne à basse tension et de prises de service, est envisagée dans un rayon de 600 mètres des réseaux MT JIRAMA existants. Pour chaque centre de service JIRAMA, une capacité de transformateur supplémentaire a été évaluée pour définir le nombre de nouveaux transformateurs requis. Le coût estimé de la densification est de 375 USD par raccordement.

Au total, près de 1,6 million de raccordements de densification seront nécessaires pour atteindre l'accès universel à l'électricité d'ici 2030.

JIRAMA a atteint un taux moyen d'environ 20 000 raccordements par an entre 2018 et 2022. Le taux annuel moyen de raccordements de densification devra être multiplié par plus de 10 pour atteindre 220 000 raccordements par an afin d'atteindre l'accès universel d'ici 2030.

En termes absolus, Analamanga, la région où se trouve Antananarivo, représente 38 % du potentiel de densification du pays. Cependant, les réseaux isolés de la JIRAMA présentent également un potentiel de densification important ; les consommateurs raccordés peuvent être multipliés par près de 4 par rapport au nombre actuel de clients.

**Tableau 4 :** Résultats de l'analyse de densification par région

RÉGION	STRUCTURES (2023)	STRUCTURES ÉLECTRIFIÉES PAR JIRAMA SUPPOSÉES (2023)	POTENTIEL DE DENSIFICATION (2023)	POTENTIEL DE DENSIFICATION (2030)
Analamanga	783 903	271 888	512 015	609 895
Vakinankaratra	157 691	54,105	103 586	123 388
Itasy	80 684	27 999	52 685	62 757
Bongolava	11 180	3 307	7 873	9 378
Haute Matsiatra	81 089	22 018	59 071	70 363
Amoron'i Mania	10 932	4 769	6,163	7 341
Ihorombe	13 635	3 298	10 337	12 313
Atsimo Atsinanana	10 953	3826	7,127	8 489
Atsinanana	120 814	43 930	76 884	91 582
Analanjirifo	60 429	12 766	47 663	56 775
Alaotra Mangoro	60 300	12,004	48 296	57 529
Boeny	95 069	29 366	65 703	78 263
Sofia	47 164	9 834	37 330	44 466
Betsiboka	8,542	1 793	6 749	8 039
Melaky	7 962	2 779	5 183	6 174
Atsimo Andrefana	112 066	24 358	87 708	104 475
Androy	17 806	1 869	15 937	18 984
Anosy	21 849	5 629	16,220	19 321
Menabe	28 955	7 229	21 726	25 879
Diana	101 387	38 347	63,040	75 091
Sava	99 439	16 342	83 097	98 982
Votovavy	3 752	3 204	548	653
Fitovinany	12, 124	5 043	7 081	8 435
<b>Total</b>	<b>1 947 725</b>	<b>605 703</b>	<b>1 342 022</b>	<b>1 598 572</b>

## Résultats de l'électrification : Extension du réseau

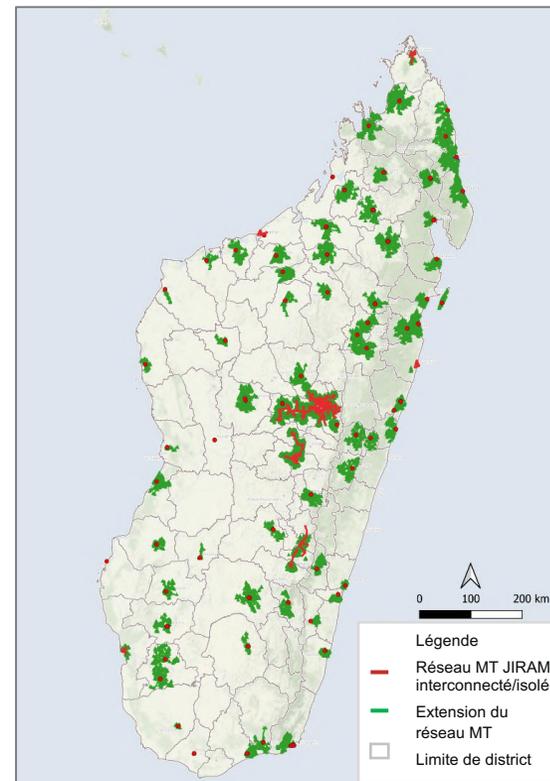
Des projets d'extension du réseau ont été envisagés pour les zones entourant les réseaux interconnectés et isolés de JIRAMA à une distance de moins de 15 km du réseau à moyenne tension (MT) existant afin d'assurer une qualité d'énergie suffisante.

Les projets d'extension du réseau électrique ont été retenus dans la limite des 15 km uniquement s'ils respectaient la limite de coût d'infrastructure de 1 250 USD par raccordement. Les 385 projets retenus ont été divisés en trois « Lots » en fonction des coûts globaux par raccordement, comme le montre la figure X ci-dessous.

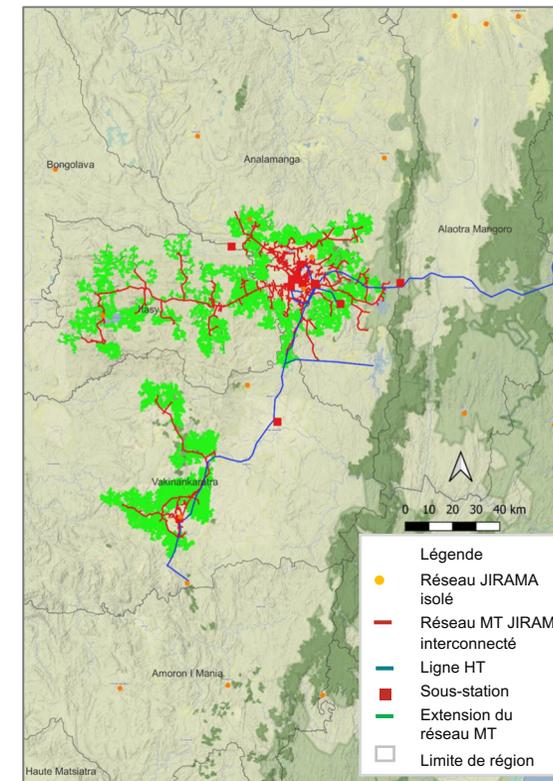
Plus d'un million de nouveaux raccordements d'extension du réseau à un coût moyen de 738 USD par raccordement seraient nécessaires pour atteindre l'accès universel à l'électricité d'ici 2030, générant environ 194 MW de demande supplémentaire sur le réseau de la JIRAMA.

En ce qui concerne la demande de densification du réseau, le GdM et la JIRAMA devront évaluer la capacité de production supplémentaire qui sera nécessaire à mesure que les consommateurs s'ajouteront aux infrastructures de distribution de la JIRAMA à la fois sur le réseau interconnecté et dans les centres de distribution isolés, dans le cadre de son processus pluriannuel de planification intégrée des ressources (IRP). Les estimations du client, de la consommation et de la demande calculées dans La PEI peuvent contribuer directement à ce processus.

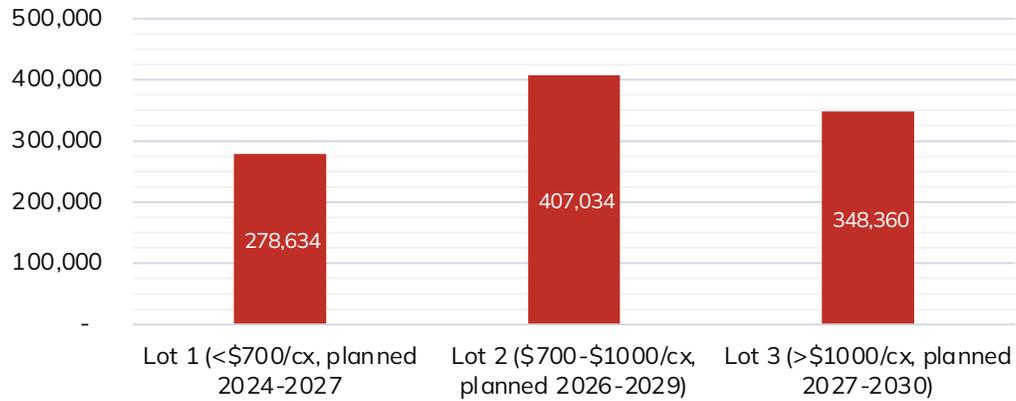
**Carte 3 :** Résultats de l'extension du réseau à moindre coût



**Carte 4 :** Extension du réseau RIA



**Figure 2 :** Résultats de l'extension du réseau à moindre coût par lot



**Table 5:** Résultats de l'extension du réseau à moindre coût par zone de distribution JIRAMA

	Longueur de la MT (km)	Longueur de la BT (km)	TRANSFORMATEURS (NOMBRE)	NOUVEAUX RACCORDEMENTS (2023)	DEMANDE (MW)	COÛT TOTAL (millions USD)	COÛT MOYEN /RACCORDEMENT
Réseau interconnecté JIRAMA	6 976	7 460	12 240	436 866	104	363 980 623 \$	833\$
Grille isolée JIRAMA	6 680	9 488	9,265	597 161	89	398 682 207 \$	668\$
<b>Total</b>	<b>13 656</b>	<b>16 948</b>	<b>21 505</b>	<b>1 034 027</b>	<b>194</b>	<b>762 662 830 \$</b>	<b>738 \$</b>

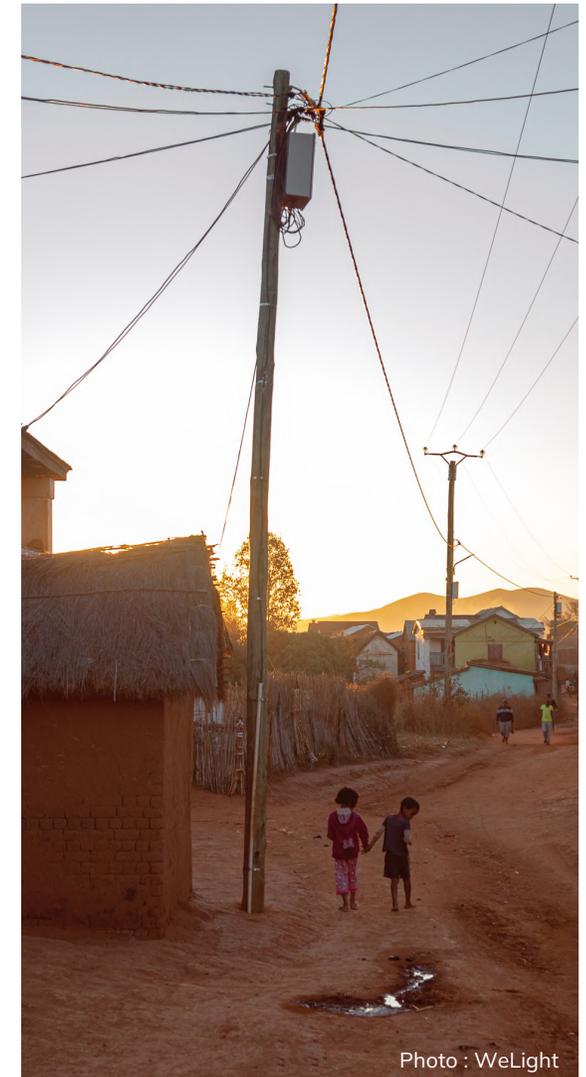


Photo : WeLight

## Résultats de l'électrification : mini-réseaux

Lorsque les coûts marginaux d'extension du réseau augmentent au-delà de 5 à 10 ans de dépenses énergétiques résidentielles cumulées, les consommateurs ruraux peuvent souvent être servis plus tôt et à moindre coût par le développement d'infrastructures de mini-réseau décentralisées dans les communautés locales.

Les mini-réseaux ont été évalués lorsque les coûts d'investissement de l'expansion du réseau dépassent 1 250 USD par raccordement et/ou pour les zones situées au-delà de la limite de 15 km des réseaux MT existants.

Les mini-réseaux ont été évalués pour des grappes de structures de bâtiments avec plus de 100 raccordements dans un rayon de 1 000 mètres. La modalité d'électrification du mini-réseau englobe à la fois les zones périurbaines et les petites communautés isolées. Pour tenir compte de cette diversité, la PEI Madagascar modélise à la fois des mini-réseaux BT et des mini-réseaux MT plus grands.

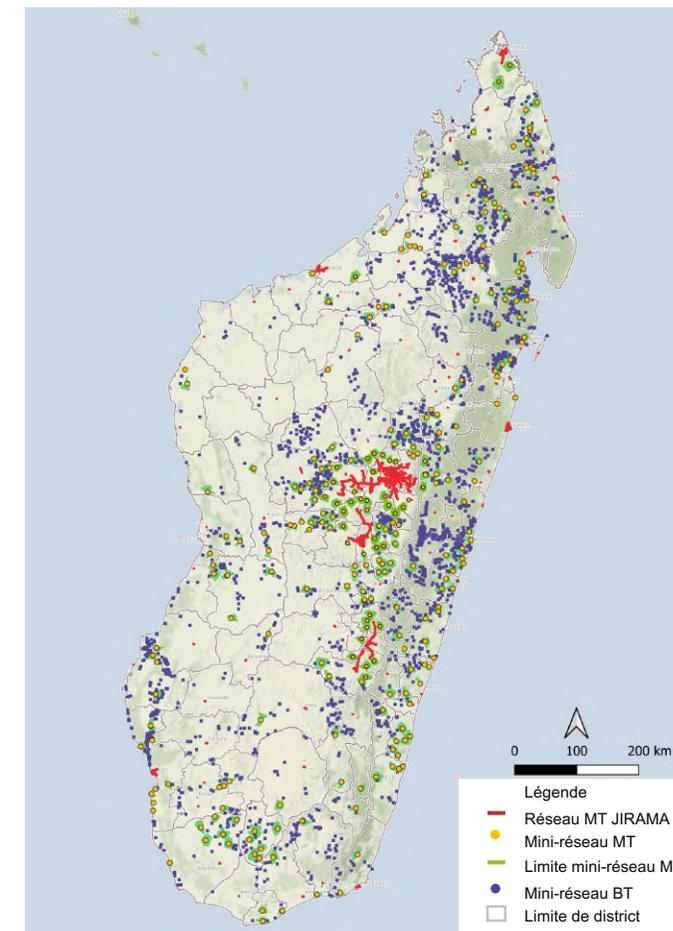
Pour les mini-réseaux MT (Moyenne Tension), la distribution MT est utilisée pour interconnecter les communautés rurales avec des zones de service plus étendues que celles pouvant être desservies de manière fiable par une infrastructure BT (Basse Tension). Cela permet d'alimenter plusieurs groupes de population à partir d'un point de génération unique.

Il y a des avantages stratégiques et des économies d'échelle à gagner en raccordant de grands groupes de consommateurs non électrifiés via un réseau MT. L'exploitation des réseaux de distribution moyenne tension en milieu rural présente toutefois des grands défis de sécurité. Une formation spécifique s'impose donc pour le personnel chargé de l'exploitation et de la maintenance de ces réseaux. Les mini-réseaux modélisés en groupes MT peuvent également être décomposés en plusieurs systèmes de production-distribution BT plus petits.

Tous les mini-réseaux sont modélisés deux fois : une fois comme un mini-réseau entièrement renouvelable avec de plus grands réseaux solaires et de batteries pour éliminer entièrement la production de diesel, et à nouveau comme des systèmes de charge de batteries solaires photovoltaïques avec une production supplémentaire de diesel. Une analyse de sensibilité a également été menée pour tester les sites de mini-réseaux identifiés à proximité d'un potentiel hydroélectrique viable en tant que mini-réseaux hydroélectrique alimentés. \*

\*Remarque : Potentiels hydroélectriques provenant du [Madagascar Small Hydro GIS Atlas](#), Banque mondiale via ENERGYDATA.info, dans le cadre d'un projet financé par le Programme d'assistance à la gestion du secteur de l'énergie (ESMAP)

**Carte 5** : Résultats de la planification à moindre coût pour les mini-réseaux



## Mini-réseaux moyenne tension (MT)

La PEI de Madagascar a identifié 371 projets potentiels de mini-réseaux MT comme solutions d'électrification à moindre coût (LCOE). Ces projets représentent 1,4 million de nouvelles connexions d'ici 2030, avec une demande totale d'environ 175 MW.

Des mini-réseaux MT conçus avec une technologie hybride solaire-diesel optimisée pour le LCOE permettent d'atteindre un taux d'énergie renouvelable supérieur à 85 %. Ces systèmes font cependant appel à un appoint diesel pour compléter la production solaire en cas de besoin.

Les mini-réseaux MT sont diversifiés géographiquement et techniquement. Les plus petits mini-réseaux MT ont moins de 500 consommateurs et une demande de pointe dans la même gamme que les mini-réseaux BT.

En revanche, sur les 371 mini-réseaux MT du modèle, 294 devraient avoir plus de 1 000 consommateurs d'ici 2030 et une demande maximale de plusieurs MW. Bon nombre de ces candidats au mini-réseau MT pourraient accueillir de petites entreprises de services publics prospères, à condition que l'environnement réglementaire et les subventions soient favorables aux services publics ruraux.

99 % des mini-réseaux MT aboutissent à des coûts inférieurs à 2 000 USD par connexion, ce qui est généralement considéré comme la limite de viabilité pour le développement des mini-réseaux. Les économies d'échelle pour les mini-réseaux MT plus grands peuvent toutefois être limitées par les territoires de service plus grands que ces réseaux devraient couvrir, comme le montre la figure X ci-dessous.

Figure 3 : Distribution de fréquence du mini-réseau MT par capacité photovoltaïque (kWp)

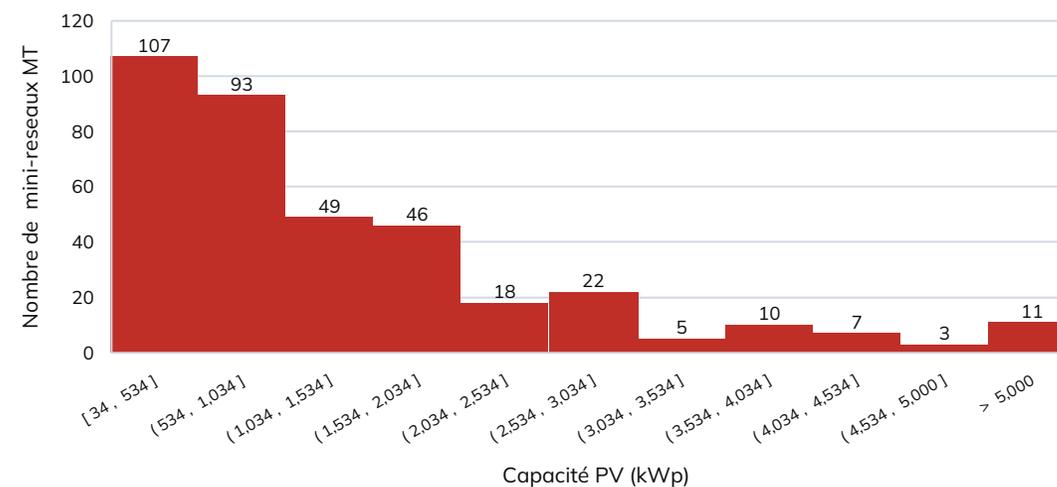
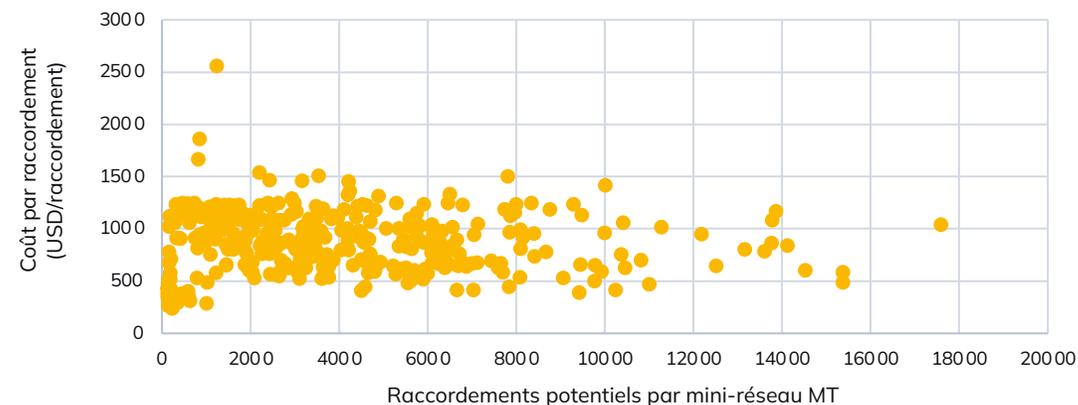


Figure 4 : Coûts du mini-réseau MT par raccordement et nombre de raccordements potentiels



## Mini-réseaux basse tension (BT)

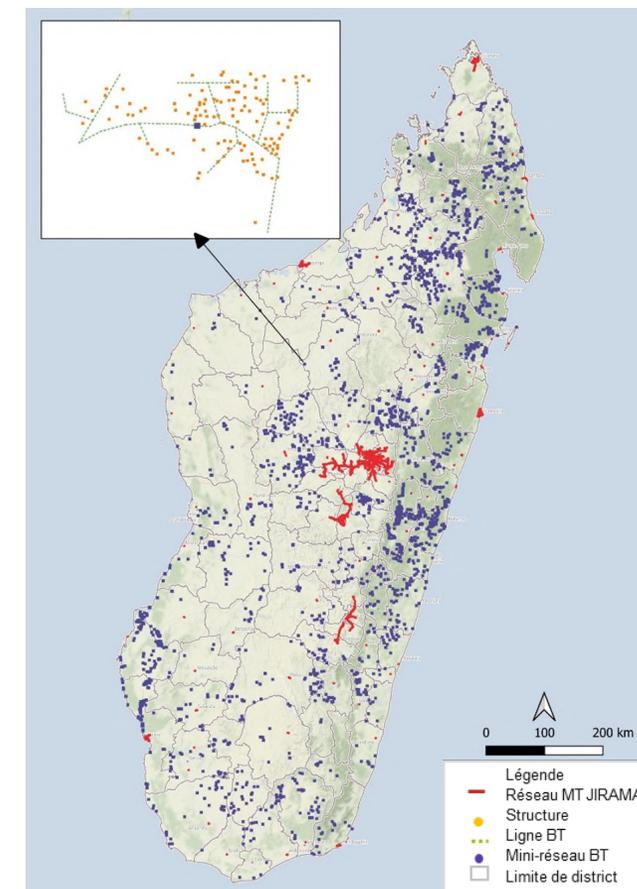
Pour les communautés rurales où les consommateurs se trouvent regroupés en ensembles d'au moins 100 structures dans un rayon de 600 mètres, une petite centrale électrique de mini-réseau et un réseau de distribution de basse tension (BT) peuvent suffire pour les desservir.

La PEI de Madagascar a évalué les mini-réseaux BT comme l'option d'électrification la plus rentable pour 2 582 communautés desservant un total de 468 159 clients d'ici 2030. Un site de mini-réseau BT typique dispose de 150 raccordements et d'une capacité photovoltaïque d'environ 55 kWc.

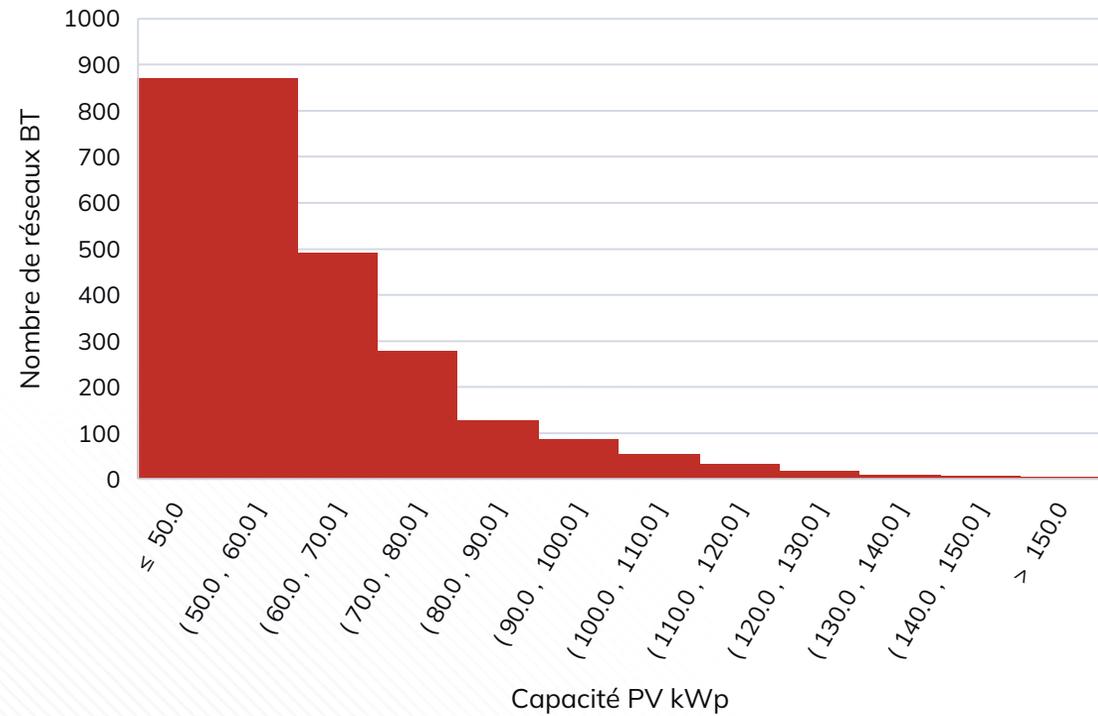
Les sites varient considérablement en fonction de la densité de population, et il n'y a pas de ligne de tendance claire pour indiquer que les communautés plus peuplées ont besoin de plus d'infrastructures BT. En fait, le candidat au mini-réseau BT avec le plus grand nombre de ménages (437 ménages) nécessite moins de 2 km de réseau BT, tandis que le mini-réseau qui nécessite le plus grand réseau BT (environ 5 km) ne desservira que 132 ménages.

97 % des sites évalués ont des coûts par raccordement inférieurs à 2 000 USD, ce qui est généralement considéré comme la limite de viabilité pour le développement de mini-réseaux.

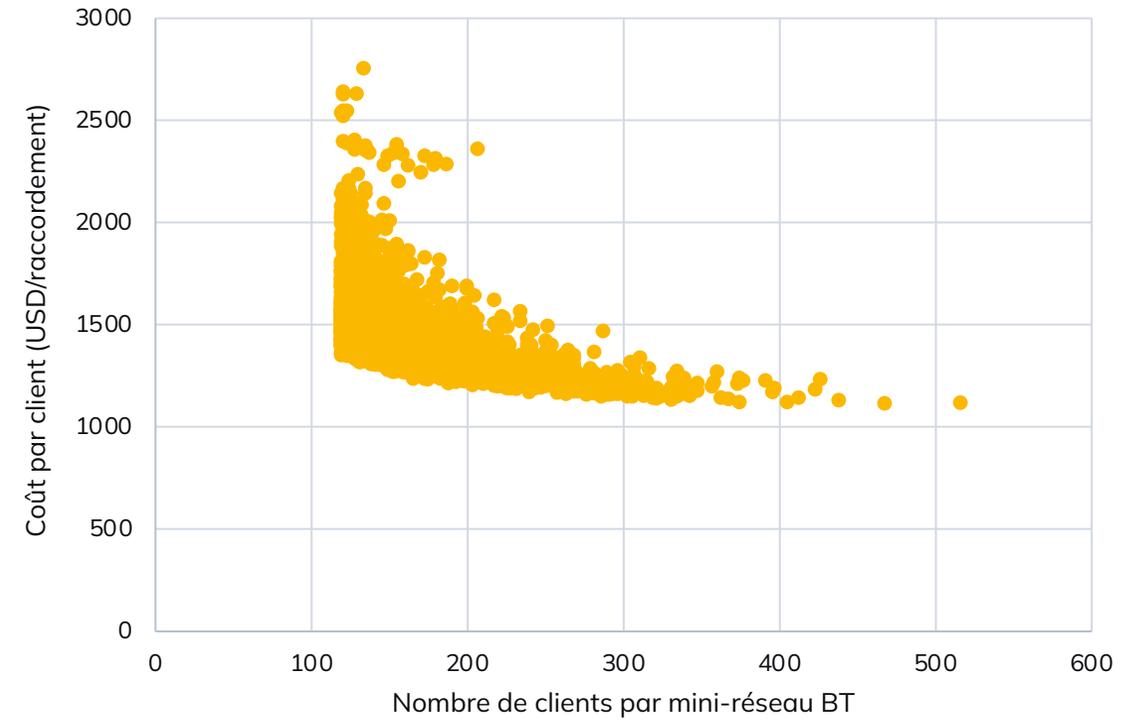
**Carte 6 :** Mini-réseaux à BT à Madagascar, avec une vue détaillée d'un exemple dans le district de Maevatanana, région de Betsiboka



**Figure 3 :** Répartition de fréquence du mini-réseau MT par capacité photovoltaïque (kWp)



**Figure 4 :** Coûts du mini-réseau MT par raccordement et nombre de raccordements potentiels



# Systèmes Solaires Autonomes

Des solutions solaires autonomes ont été envisagées dans les zones qui ne peuvent pas être desservies par la densification du réseau, l'expansion du réseau et le service de mini-réseau. Le potentiel de déploiement du système solaire autonome est indiqué sur la carte à droite.

Les localités éligibles à l'électrification solaire autonome sont réparties dans tout Madagascar, avec au moins un client potentiel dans chacun des 119 districts du pays.

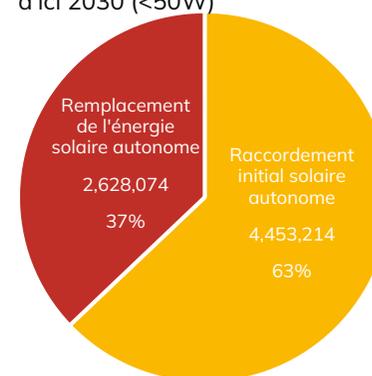
Le nombre total de raccordements de systèmes solaires autonomes à déployer pour atteindre l'accès universel à l'électricité d'ici 2030 est de 4,5 millions, soit 50 % de tous les consommateurs d'électricité prévus pour 2030, soit plus du double de la contribution de tout autre mode d'accès à l'électricité.

Certains ménages et entreprises peuvent choisir d'acheter des systèmes solaires domestiques (SHS) pour augmenter la fiabilité du service de réseau si le délestage est fréquent et problématique. Ces achats au choix ne sont pas représentés dans l'analyse d'électrification.

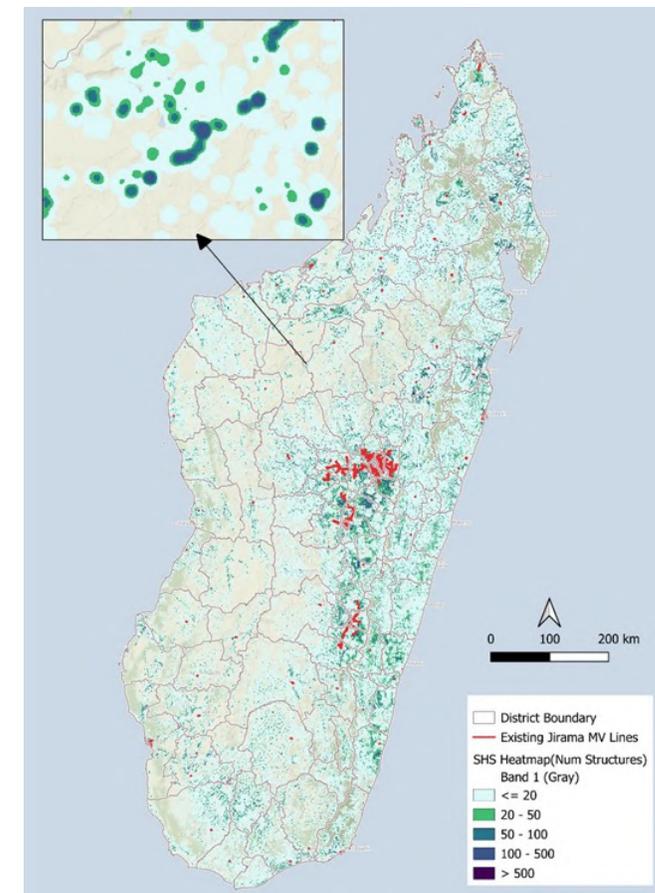
Étant donné que les systèmes photovoltaïques solaires autonomes ont une durée de vie utile de 3 à 5 ans, leur remplacement progressif sera indispensable pour atteindre l'accès universel à l'électricité d'ici 2030 sans attrition. Pour cette raison, le modèle de déploiement autonome solaire comprend le remplacement du système au cours de la cinquième année de service, ce qui implique le déploiement de 2,6 millions de systèmes de remplacement supplémentaires au cours de la période de planification.

Tous les systèmes du modèle sont de niveau 1 et de niveau 2. Des limites d'accessibilité financière devront être prises en compte pour définir les incitations et, dans certains cas, les subventions à la consommation.

**Figure 7 :** Marché total du déploiement de systèmes solaires autonomes pour atteindre l'accès universel à l'électricité d'ici 2030 (<50W)



**Carte 7 :** la carte thermique utilise des couleurs plus foncées pour indiquer une densité de déploiement plus élevée



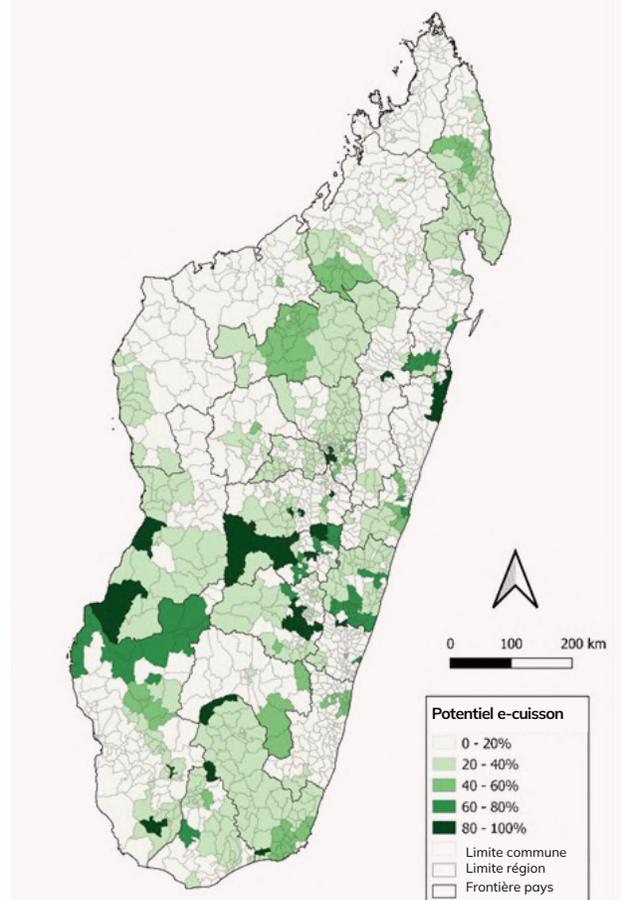
# Électrification de certaines utilisations finales de l'énergie

La PEI de Madagascar a également évalué plusieurs potentiels de charge spécifiques à l'utilisation grâce à une approche désagrégée qui cherche à caractériser et à répartir géographiquement des types spécifiques de demande d'énergie associés aux utilisations finales de l'énergie telles que :

- Cuisson électrique
- Refroidissement et réfrigération pour les principales chaînes de valeur agricoles et halieutiques ainsi que pour le secteur de la santé
- Infrastructures sociales (y compris les établissements de santé et les écoles)
- Les usages productifs de l'énergie, tels que la mouture des grains, peuvent avoir des répercussions importantes sur l'impact socio-économique de l'électrification et/ou pour les niveaux de consommation et les profils de charge dans les zones où elles se produisent

Des exemples de ces résultats sont présentés dans les cartes 8 à 11, avec des détails supplémentaires et une analyse de l'utilisation finale disponibles dans les rapports techniques complets.

**Carte 8 :** Potentiel de cuisson électronique à Madagascar



**Carte 9 :** Demande énergétique de la chaîne du froid (Exemple de chaîne de valeur - produits laitiers)

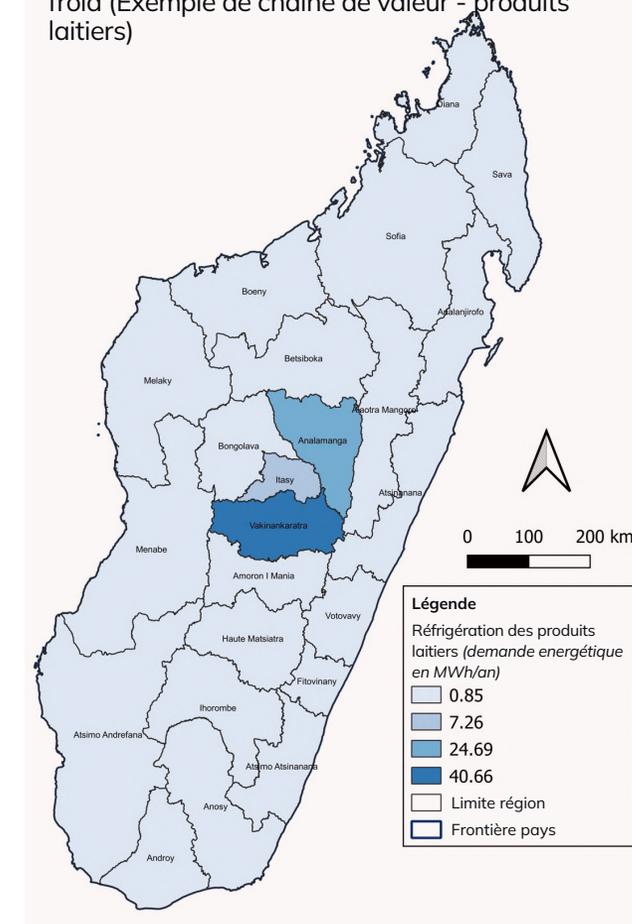
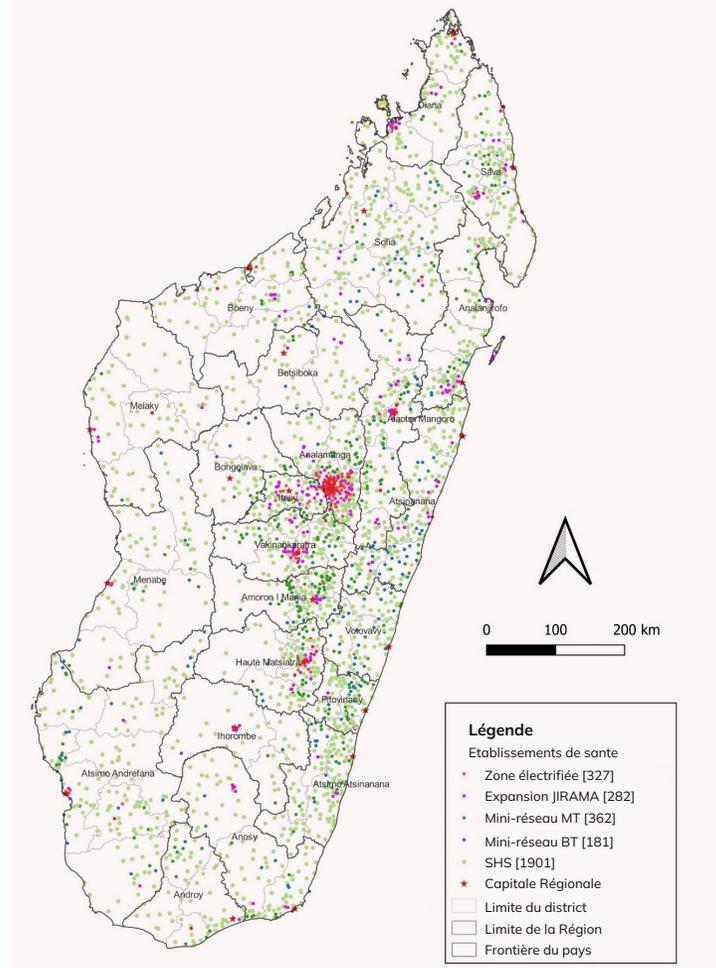


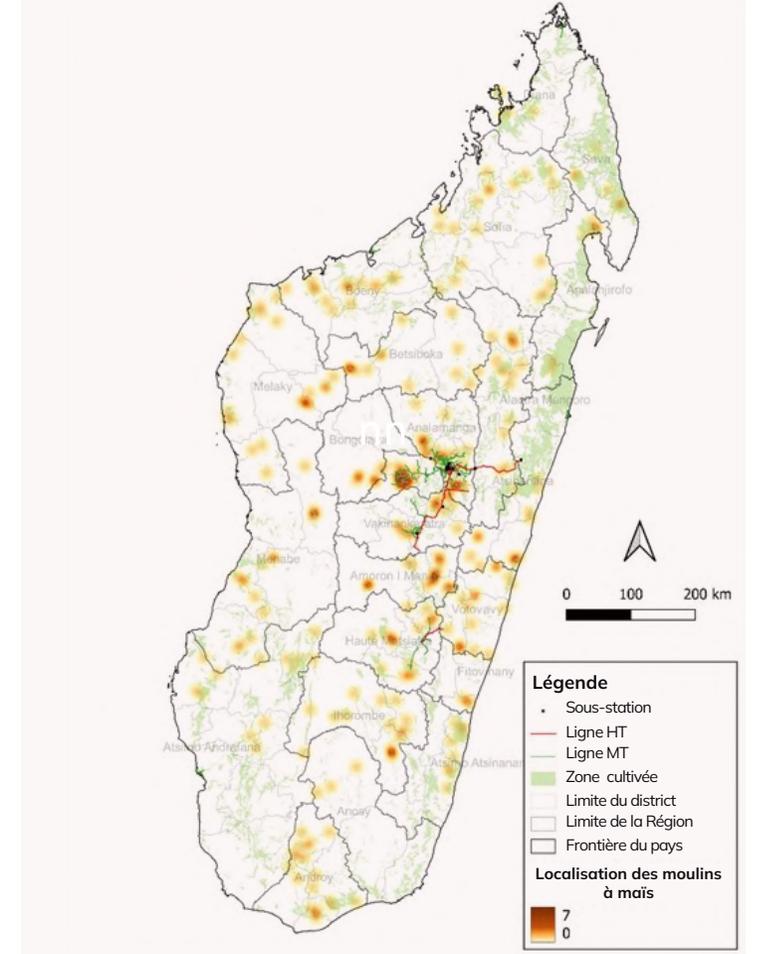


Photo : WeLight

**Carte 10 :** Établissements de santé par mode d'électrification à moindre coût



**Carte 11 :** Potentiel de mouture du grain à Madagascar



# Scénario d'électrification à moindre coût : accès universel à l'électricité d'ici 2030

Figure 8 : Plan de déploiement annuel pour atteindre l'accès universel à l'électricité d'ici 2030

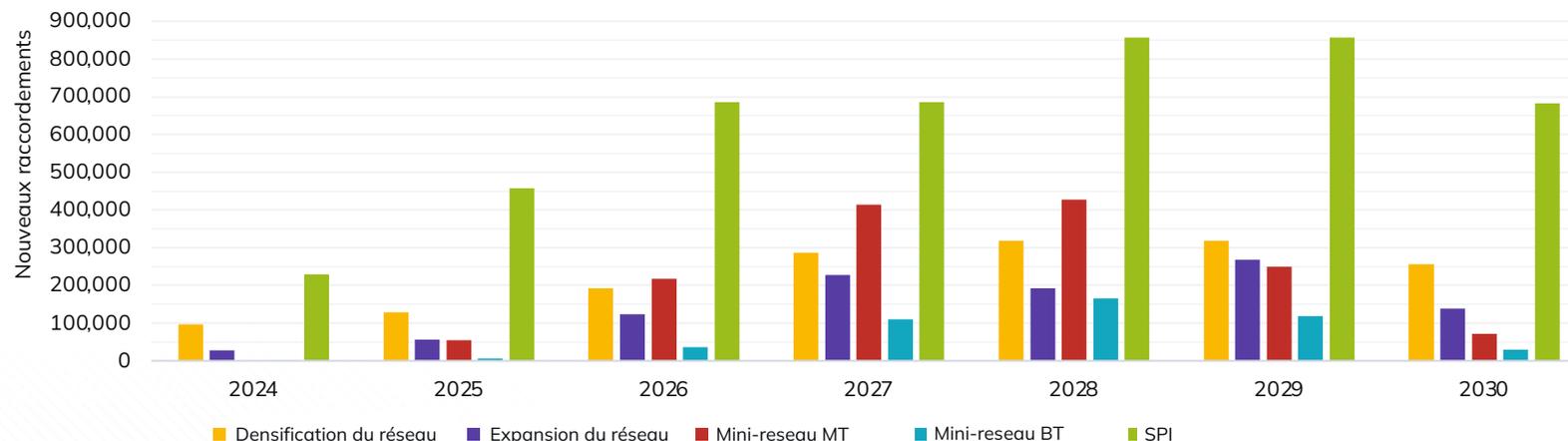
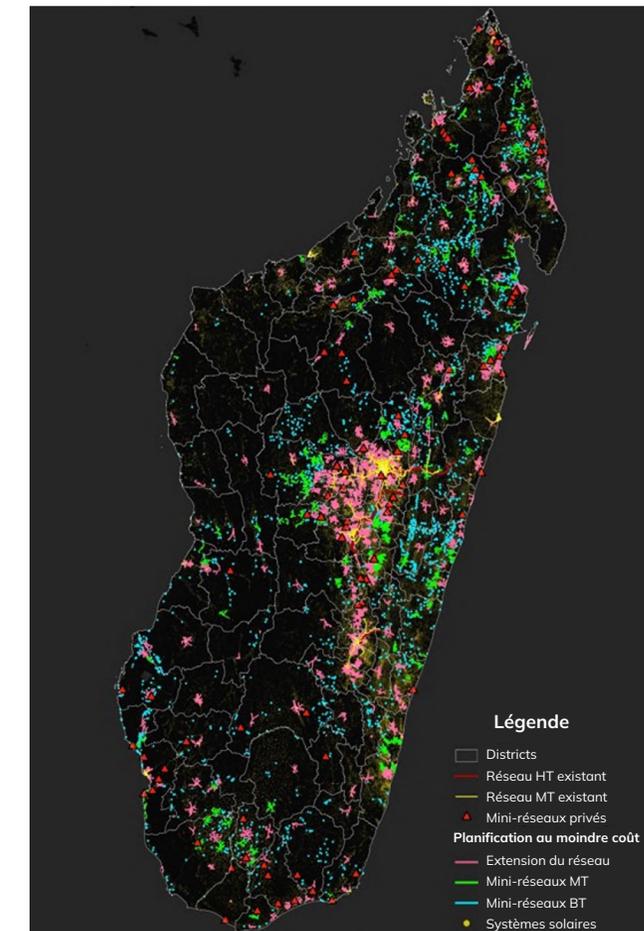


Tableau 7 : Plan de déploiement annuel pour atteindre l'accès universel à l'électricité d'ici 2030

Modalité	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	TOTAL
Densification	97 087	128 776	192 152	287 216	318 905	318 905	255 531	1 598 572
Expansion	27 863	55 727	124 294	227 696	191 782	267 321	139 344	1 034 027
Mini-réseaux MT	-	54 938	217 250	413 188	428 003	249 384	72 256	1 435 019
Mini-réseaux BT	1 852	5 556	37 111	109 371	165 707	118 226	30 336	468 159
SSS	228 528	457 056	685 584	685 584	856 981	856 982	682 499	4 453 214
<b>Total</b>	<b>355 330</b>	<b>702 053</b>	<b>1 256 391</b>	<b>1 723 055</b>	<b>1 961 378</b>	<b>1 810 818</b>	<b>1 179 966</b>	<b>8 988 991</b>

Note 1 : Hors systèmes de remplacement

Carte 12 : Modalités d'électrification à moindre coût – Accès universel en 2030



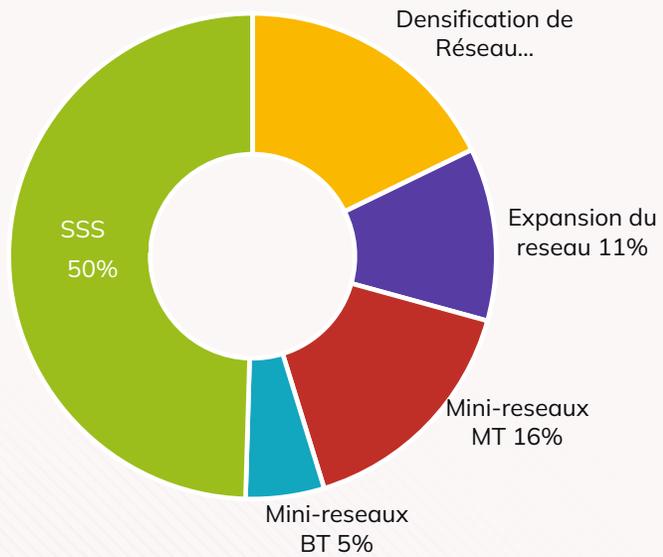
## Plan de financement : Accès universel à l'électricité d'ici 2030

**Tableau 8** : Estimation des besoins financiers et des sources pour atteindre l'accès universel à l'électricité d'ici 2030

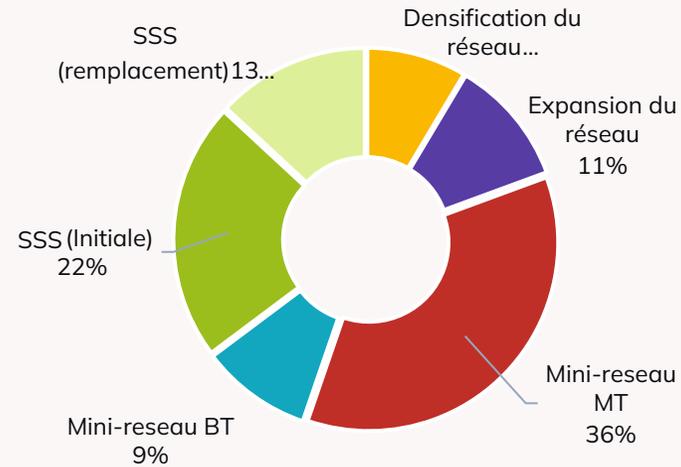
MODE D'ÉLECTRIFICATION	NOMBRE DE RACCORDEMENTS FUTURS	INVESTISSEMENT TOTAL	COÛT MOYEN /RACCORDEMENT (USD)	BESOINS DE FINANCEMENT DU GdM (USD)	FINANCEMENT HORS RÉSEAU PAR DES DÉVELOPPEURS DU SECTEUR PRIVÉ (USD)	FRAIS DE RACCORDEMENT PAYÉS PAR LES UTILISATEURS FINAUX (USD)
Densification	1 598 572	599 464 500 \$	375 \$	559 500 200 \$	-	39 964 300 \$
Extension de réseau	1 034 027	762 662 830 \$	738 \$	736 812 153 \$	-	25 850 677 \$
Mini-réseaux MT	1 435 019	2 522 679 025 \$	1 758 \$	855 271 062 \$	1 631 532 500 \$	35 875 464 \$
Mini-réseaux BT	468 159	667 221 243 \$	1 431 \$	277 808 605 \$	377 759 592 \$	11 653 046 \$
Solaire autonome	4 453 214	1 558 624 896 \$	\$350 <sup>1</sup>	801 578 518 \$	645 716 029 \$	111 330 350 \$
Remplacement solaire autonome	2 628 074	919 825 844 \$	350 \$	473 053 291 \$	381 070 707 \$	65 701 846 \$
<b>Total</b>	<b>11 615 027</b>	<b>7 030 478 338 \$</b>	<b>605 \$</b>	<b>3 704 023 830 \$</b>	<b>3 036 078 827 \$</b>	<b>290 375 682 \$</b>

Notes <sup>1</sup>: En supposant un système équivalent au niveau 2 d' au moins 50 W de capacité solaire et d'au moins 200 Wh de capacité de batterie. Ces systèmes sont capables d'alimenter plusieurs lumières et prises CC ou ports de charge pour téléphones mobiles, radios, etc. La PEI de Madagascar a également modélisé les résultats avec des systèmes minimum de niveau 1 à un coût estimé à 180 USD par unité. Les systèmes de niveau 1 ont une capacité solaire d'au moins 3 W et une capacité de batterie d'au moins 12 Wh, capables d'alimenter plusieurs points de lumière, une prise de service et une charge de téléphone mobile USB.

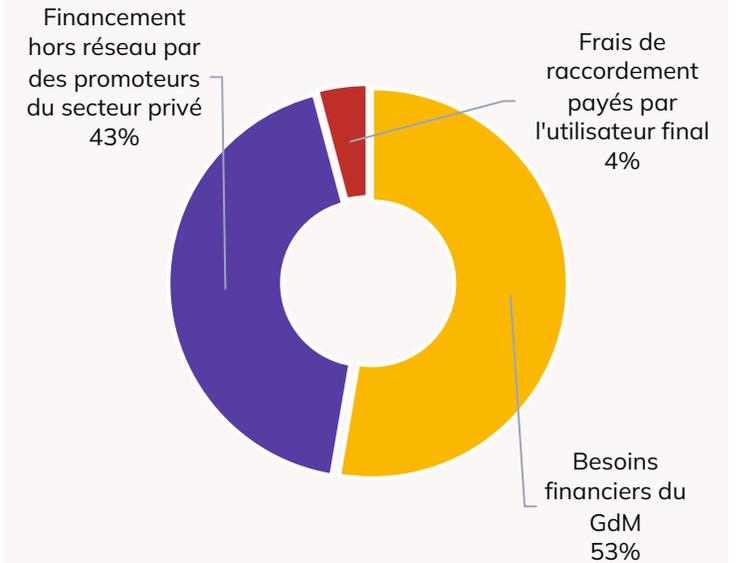
**Figure 9 :** Types de raccordement par modalité au moindre coût



**Figure 10 :** Investissements d'équipement (Capex) par modalité de moindre coût



**Figure 11 :** Total des investissements d'équipement (Capex) par source présumée



Note 1 : Hors systèmes de remplacement

# Conclusions



## DENSIFICATION DU RÉSEAU

On estime les besoins d'investissement (CAPEX) pour la densification du réseau à un peu moins de 560 millions de dollars, soit 9 % du budget total d'investissement nécessaire pour atteindre l'objectif d'accès universel à l'électricité d'ici 2030. Ces 9 % du total des CAPEX peuvent notamment ajouter environ 1,6 million de raccordements, soit 14 % du total des raccordements futurs requis. L'efficacité financière de la densification parmi les modalités d'électrification démontre la priorité pour la JIRAMA de développer et de poursuivre activement un programme de densification, comme cela est considéré sous LEAD. Cependant, l'expansion des raccordements doit s'accompagner d'une expansion égale des améliorations de l'infrastructure de production, de transport et de distribution pour assurer la qualité de l'énergie et la disponibilité de l'approvisionnement – à la fois dans les réseaux interconnectés de JIRAMA ainsi que dans les systèmes isolés.



## EXTENSION DU RÉSEAU

L'expansion du réseau a le potentiel de desservir plus d'un million de nouveaux raccordements, car le réseau est actuellement installé. Semblable à la densification, l'expansion des raccordements doit s'accompagner d'une expansion égale des améliorations de l'infrastructure de production, de transport et de distribution pour assurer la qualité de l'énergie et la disponibilité de l'approvisionnement. Afin d'étendre ses réseaux existants à des zones plus éloignées, la JIRAMA peut avoir besoin d'envisager des mécanismes de support de tension sur ses alimentations de distribution, y compris, mais sans s'y limiter, la production distribuée et les équipements de puissance réactive.



## MINI-RÉSEAUX ISOLÉS

Les résultats de la PEI montrent qu'il existe un potentiel important pour les mini-réseaux à MT à grande échelle à l'échelle du mégawatt et les mini-réseaux à BT de taille communautaire. Une part considérable du budget total des dépenses en CAPEX pour l'accès universel pourrait être consacrée aux développements de mini-réseaux MT et BT, comme le montre le tableau ci-dessus, à 45 % des besoins totaux en dépenses en CAPEX correspondant à plus de 3,1 milliards USD.

Avant de s'engager à tels investissements importants, plusieurs mesures stratégiques doivent être prises pour s'assurer que les investissements dans les mini-réseaux ont les impacts durables pour lesquels ils ont été conçus, notamment l'évaluation et la normalisation des normes de conception du système et des spécifications des matériaux, le développement d'une approche globale de délimitation du territoire de service en s'appuyant sur le processus AP actuellement en cours au sein d'ADER, ainsi que la poursuite de la rationalisation des tarifs des mini-réseaux et le développement d'une méthodologie tarifaire transparente et équitable pour les développeurs et les consommateurs. En outre, il est important de noter que les mini-réseaux modélisés par la PEI ont été identifiés comme la solution la moins coûteuse, mais cela ne signifie pas nécessairement que 100 pour cent des mini-réseaux identifiés seront commercialement viables ou attrayants pour les développeurs privés. Une analyse supplémentaire sera nécessaire pour comprendre le potentiel commercial des différents sites et identifier les modèles de concessions et d'incitations appropriées pour soutenir une électrification rurale efficace.



## SYSTEMES SOLAIRES AUTONOMES

Les solutions solaires autonomes joueront probablement un rôle central dans la réalisation des objectifs d'électrification universelle. Leur capacité à être facilement reproduite et distribuée pour répondre aux besoins en électricité d'une variété de charges, combinée à la capacité de fournir de l'énergie dans n'importe quel environnement – urbain, rural, éloigné – débloque un outil puissant pour résoudre le problème d'accès. Le secteur privé jouera un rôle important dans la fourniture de solutions solaires autonomes sur le marché ; cependant, leur déploiement efficace nécessite des politiques et des programmes qui garantissent que des produits de haute qualité sont achetés et vendus, que le remplacement des systèmes obsolètes est à la fois pris en compte dans le financement des programmes et dans les politiques de gestion des déchets pour les systèmes retirés, et que des mesures incitatives appropriées sont en place pour atteindre les consommateurs ruraux et éloignés, entre autres considérations.



## PERENNITE

Une stratégie d'électrification ainsi qu'un cadre de gestion du programme clairs et efficaces sont nécessaires pour garantir que des activités multiples et complémentaires peuvent être efficacement mises en œuvre de manière coordonnée pour aboutir à une progression régulière de l'état d'avancement de l'électrification. Par l'intermédiaire de l'Unité de planification, ce mécanisme a été mis en place au sein du MEH, mais les mécanismes, procédures et pratiques nécessaires pour planifier, financer et intensifier efficacement l'expansion de l'électrification n'ont pas encore été mis en pratique. Pour soutenir la planification et la coordination futures, une infrastructure globale et intégrée de gestion des SIG et des données du secteur de l'énergie est nécessaire pour guider la planification de l'accès et de l'expansion de l'électrification à travers MEH, ADER, JIRAMA et ORE.



Photo : WeLight

VOUS POUVEZ DECOUVRIR ET TELECHARGER LES RÉSULTATS SUR :

[madagascar-iep.sdg7energyplanning.org](http://madagascar-iep.sdg7energyplanning.org)



POUR TOUTES QUESTIONS :  
[uiep@seforall.org](mailto:uiep@seforall.org)

