

# Stage de M2 – Février 2025

## Électrification Rurale à Madagascar : Analyse technico-économique des micro-réseaux décentralisés DC

### Contexte

Les choix technologiques pour la conception et l'exploitation de réseaux électriques dépendent de nombreux paramètres hétérogènes et souvent déterminés par les innovations scientifiques réalisées au cours du temps. C'est le cas par exemple du choix entre le courant alternatif (AC) et le courant continu (DC). En effet, l'essor de l'électronique de puissance ne datant que des années 1950, l'AC s'est généralisé à tous les niveaux de tension. Cependant, avec l'essor des ressources DC, par exemple le photovoltaïque, le stockage ainsi que certaines charges domestiques (LEDs, chargeurs), la question des réseaux DC se pose afin d'éviter des étages de conversions AC/DC pouvant augmenter les coûts et générer des pertes. Cette question est d'autant plus pertinente dans les zones non électrifiées avec un fort potentiel d'énergie renouvelable solaire. C'est dans ce contexte que l'entreprise franco-malgache Nanoé propose un modèle progressif d'électrification latérale décentralisée évolutive, comme l'illustre la Figure 1. Le concept est de déployer des motifs élémentaires autonomes en basse tension appelés nano-réseaux, qui peuvent ensuite être interconnectés entre eux afin de former des micro-réseaux connectés ou non à un réseau existant moyenne tension dans un but de mutualiser les ressources, réduire les coûts et améliorer la qualité de fourniture.

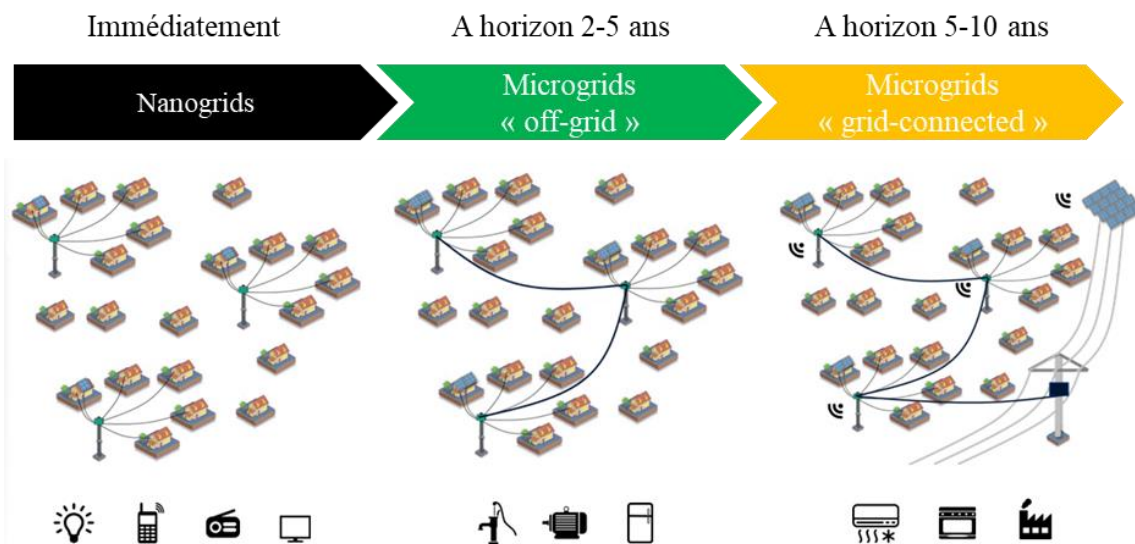


Figure 1 : Modèle progressif d'électrification latérale décentralisée évolutive proposé par Nanoé

Un nano-réseau, illustré sur la Figure 2, se compose de 4 à 6 foyers dont la pointe totale n'excède pas 1 kW, une installation photovoltaïque entre 100 et 500 W, une batterie au plomb entre 90 et 400 Ah et un contrôleur de nano-réseau. L'achat d'électricité par l'utilisateur final se fait en prépaiement par téléphone ce qui lui génère un code à rentrer dans l'interface clavier/écran. Nanoé a déjà déployé plus de 2 800 nano-réseaux dans 500 villages du nord de Madagascar, électrifiant plus de 12 000 foyers et commerces.

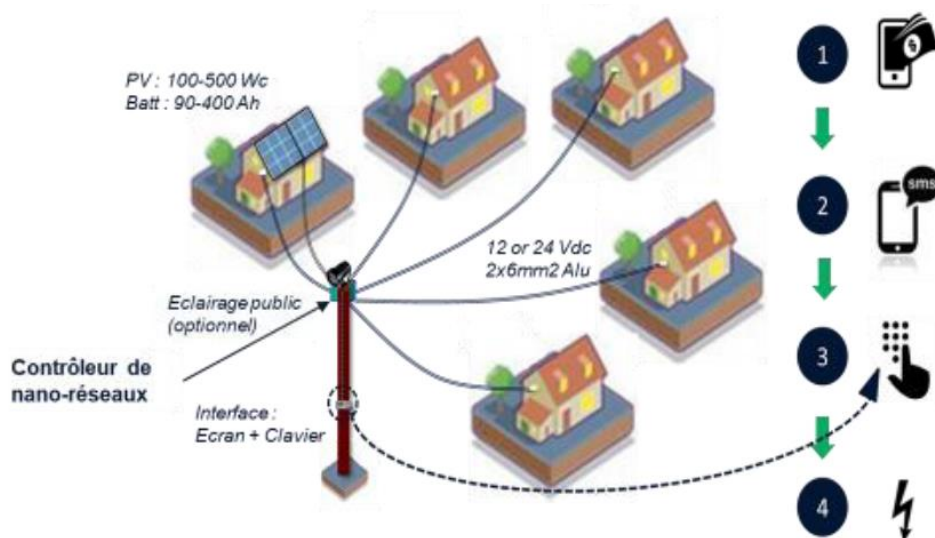


Figure 2 : Zoom sur la structure d'un nanoréseau

Une thèse CIFRE réalisée de 2020 à 2023 au G2Elab [1] avec Nanoé a proposé une structure de micro-réseau et son contrôle ainsi que le dimensionnement et la conception du module d'interconnexion de nano-réseaux. La structure et le contrôle proposé ont été validés grâce au déploiement à l'échelle d'un village d'un premier micro-réseau à Madagascar. Il reste cependant à en étudier les aspects économiques.

### Objectifs et méthodologie

Ce stage propose de développer une analyse coût bénéfice (ACB) du passage des nano-réseaux à des micro-réseaux en développant un outil d'aide à la décision permettant de réaliser des études paramétriques et ainsi identifier les zones où la création de micro-réseaux serait intéressante. Il sera structuré de la manière suivante avec une phase prospective et une phase de développement qui pourront être menées en parallèle :

#### D'un point de vue prospectif :

- **Analyse bibliographique** sur l'évaluation ACB des micro-réseaux dans le monde : identification des métriques existantes et méthodes de calcul (LCOE, CAPEX, OPEX, TRI, ROI etc.).
- **Familiarisation avec le modèle d'électrification rurale** grâce à une période d'observation sur le terrain à Madagascar.
- **Collecte et analyse** de toutes les **données** disponibles sur site, qu'elles soient qualitatives ou quantitatives, et **construction du modèle économique et des métriques pour l'ACB**.

#### D'un point de vue développement :

- Proposition d'une **architecture d'outil d'aide à la décision** permettant de réaliser l'ACB des micro-réseaux : liste des entrées/sorties et méthodes de calcul, etc.
- **Conception de l'outil informatique** et application sur des cas d'études identifiés par Nanoé.
- **Analyse de sensibilité des paramètres** des micro-réseaux en particulier les consommations, l'apparition de charges communales, des contraintes géographiques/topologiques, les coûts des matériels, les tarifs proposés aux clients...

## Localisation & durée

La mission se déroulera entre Ambanja (Madagascar) et Grenoble, à partir de février 2025 et pour une durée de 6 mois. La structure envisagée est la suivante :

- 3 mois dans les bureaux de Nanoé à Ambanja, pour la collecte et l'analyse de données ainsi que la construction du modèle économique du micro-réseau.
- 3 mois au G2Elab à Grenoble pour la conception de l'outil informatique d'ACB, l'analyse de sensibilité, la rédaction du rapport et la soutenance.

Ce stage vient en anticipation d'une thèse sur la planification et l'optimisation de l'interconnexion de micro-réseaux dans le cadre du projet européen IDEAL4GREEN (Building decentralised, distributed and local micro-grids for decarbonisation electrification challenge), comprenant 15 thèses industrielles sur des problématiques micro-réseaux, énergies renouvelables et accès à l'énergie, dont 2 thèses G2Elab/Nanoé.

## Compétences souhaitées

- Fonctionnement des réseaux électriques
- Notions de base en optimisation et analyse économique
- Maîtrise de la langue française (C1) et anglaise (B2)
- Connaissance en QGIS et Python serait un plus

## Encadrants

Encadrants G2Elab : Rémy Rigo-Mariani et Marie-Cécile Alvarez-Hérault

Encadrants Nanoé : Lucas Richard

## Contacts

[lucas.richard@nanoe.net](mailto:lucas.richard@nanoe.net)

[remy.rigo-mariani@g2elab.grenoble-inp.fr](mailto:remy.rigo-mariani@g2elab.grenoble-inp.fr)

[marie-cecile.alvarez@g2elab.grenoble-inp.fr](mailto:marie-cecile.alvarez@g2elab.grenoble-inp.fr)

[1] Richard, Lucas. *Micro-réseaux solaires à courant continu avec moyens de production et stockage décentralisés pour l'Électrification Latérale de l'Afrique rurale*, thèse de doctorat, Université Grenoble Alpes, 2023. Disponible en ligne : <https://theses.hal.science/tel-04465319>