

Projet 1.03

Développement des usages productifs de l'électricité dans les mini-réseaux solaires ruraux pour le développement de l'entrepreneuriat

Point des recherches doctorales

Scherif SOSSOU

12/2025

Directeurs de thèse

Pr. Sylvain QUOILIN (ULiège)

Pr. Guy Clarence SEMASSOU (UAC)

Cadre du projet

- Projet soumis par 1PWR à WBI
- Financement obtenu pour diverses activités incluant 2 thèses de doctorat
- Divers partenaires impliqués

Objectif:

Optimiser le dimensionnement des MR et promouvoir l'entrepreneuriat en zone rurale par les UPE



Thèse 1: Optimisation robuste des MR avec PUE

Sites de recherche

Mis en œuvre par **1PWR Benin**

- o Portefeuille projet de 63 MR
- o 2 MR déjà en **exploitation**
- o 4 MR en cours de **construction**

GBOWELE

- 22,45 kWc / 40 kWh
- 30 kVA Onduleur
- 20 kVA GE
- En service depuis 10/24

SAMIONTA

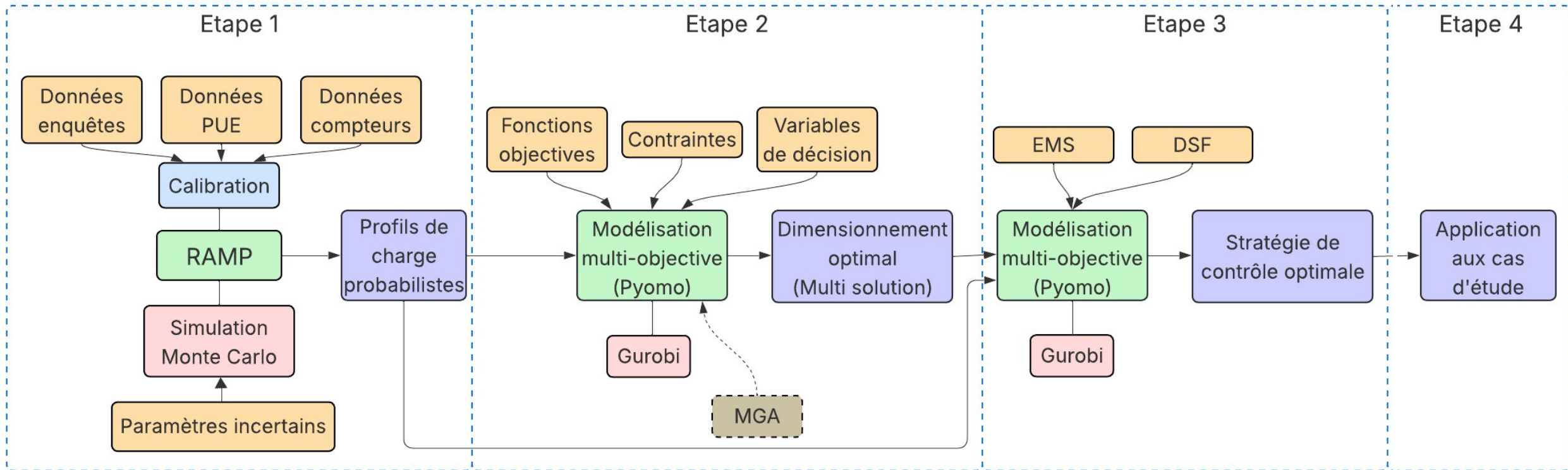
- 25,86 kWc / 55 kWh
- 48 kVA Onduleur
- 20 kVA GE
- En service depuis 02/24



Thèse 1: Optimisation robuste des MR avec PUE

Objectif: Développer un outil intégré d'optimisation robuste du dimensionnement et de contrôle des MR afin de minimiser les coûts d'installation (CAPEX) et opérationnels (OPEX)

Approche méthodologique



Mais, c'est quoi RAMP ?

Thèse 1: Optimisation robuste des MR avec PUE

Modélisation de profils de charges

2 Outils **OpenSource** de Prédiction de la demande électrique

Développé par 1PWR
8760

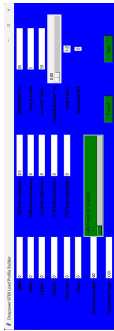
Approche **Top-Down**
(Statistique)

Génération de profils de charges synthétiques pour une année (8760 heures) à partir de **fonctions de distribution de probabilité (PDF)** de demandes historiques.

Développé par Uliège
RAMP

Approche **Bottom-Up**
(Comportementale)

Génération de profils de charges synthétiques pour horizons temporels variables basé sur le **comportement des appareils et des utilisateurs.**



Capacité de modélisation

	8760	RAMP
Algorithme principal	Simulation stochastique Monte Carlo basée sur échantillonnage par transformation inverse à partir de CDF désagrégées	Déterministe pour les cycles de fonctionnement + Stochastique distribution gaussienne pour les probabilités de coïncidence d'allumage
Résolution temporelle	Horaire: 8760 pas de temps par an	Minute: 1440 pas de temps par jour
Gestion des incertitudes	Intégrée (variabilité de la demande): répétition des simulation Monte Carlo pour chaque utilisateur	Intégrée (variabilité du pic): Distribution gaussienne des allumages des appareils
Variables Exogènes	Intégrée: Gestion de l'élasticité-prix pour ajuster la demande en fonction du changement de tarif	Limitée ou indirecte: Modification de la logique de déclenchement ou des paramètres des appareils

Capacité de modélisation

	8760	RAMP
Adaptabilité au contexte local	Faible: Nécessite des données historiques locales et de modifier le code pour adaptation au contexte local	Elevé: Utilise les données collectées localement
Gestion des saisonnalités	Intrinsèque: modélise par mois, jour et heure et donc capture automatiquement les saisonnalités dans les PDF	Non intégrée: nécessite de prédéfinir et simuler manuellement les saisons avec les paramètres techniques et comportementaux des appareils y afférant

Complexité d'utilisation

	8760	RAMP
Données d'entrée	Nbre de consommateurs par type (ménage, PME, hôpital, école, église, autre), élasticité-prix par type de consommateur, tarif cible, ratio HH NRS/IO, etc. Profils de charge historiques (prédéfinis ou modifiable avec ajustement du code)	Catégories d'utilisateur (consommateur) Paramètres techniques des appareils et comportementaux des utilisateurs: nom, nombre, puissance, durée et fenêtre(s) d'utilisation par jour, type de jour d'utilisation, cycle de fonctionnement
Prise en main	Ne nécessite pas de connaissance en programmation python (sauf si l'on veut l'adapter au contexte local). Dispose d'une interface graphique où insérer les données d'entrée. Résultats fournis en fichier Excel et images	Nécessite des connaissances en programmation python mais documentation disponible. Interface graphique non directement disponible (à programmer soi-même ou utiliser le webtool limité). Beaucoup de manipulation pour le calibrage

Complémentarité

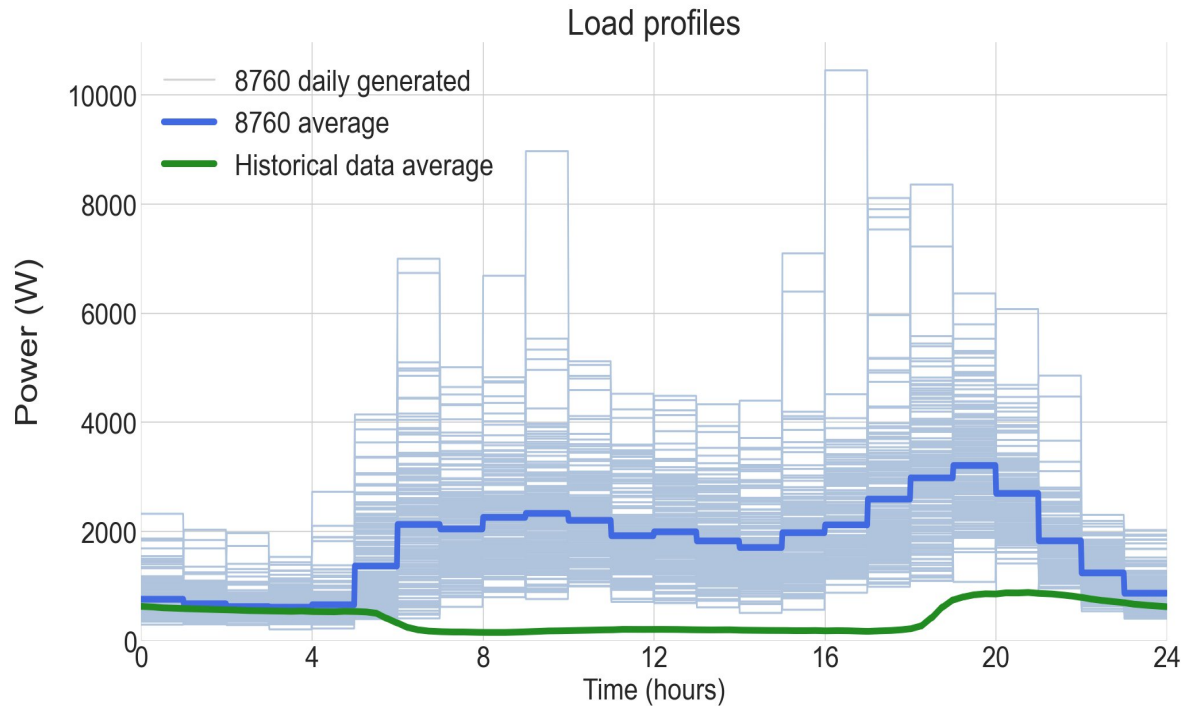
Objectif de l'Ingénieur	Outil Recommandé	Justification
Dimensionner l'onduleur (Puissance de Pointe kW)	RAMP	Haute résolution (minute) et modélisation stochastique des pics de demande.
Évaluer la capacité et l'autonomie de la batterie (Bilan Énergétique kWh)	8760	Modélisation horaire de la consommation d'énergie basée sur des tendances historiques
Analyser l'Impact Comportemental (Sensibilité aux usages)	RAMP	Permet de changer les fenêtres d'utilisation ou les cycles d'un appareil spécifique.
Intégrer la gestion de la demande	8760	Fonctionnalité intégrée pour les ajustements basés sur le prix de l'énergie.

Performance

Simulation pour **Samionta**

8760

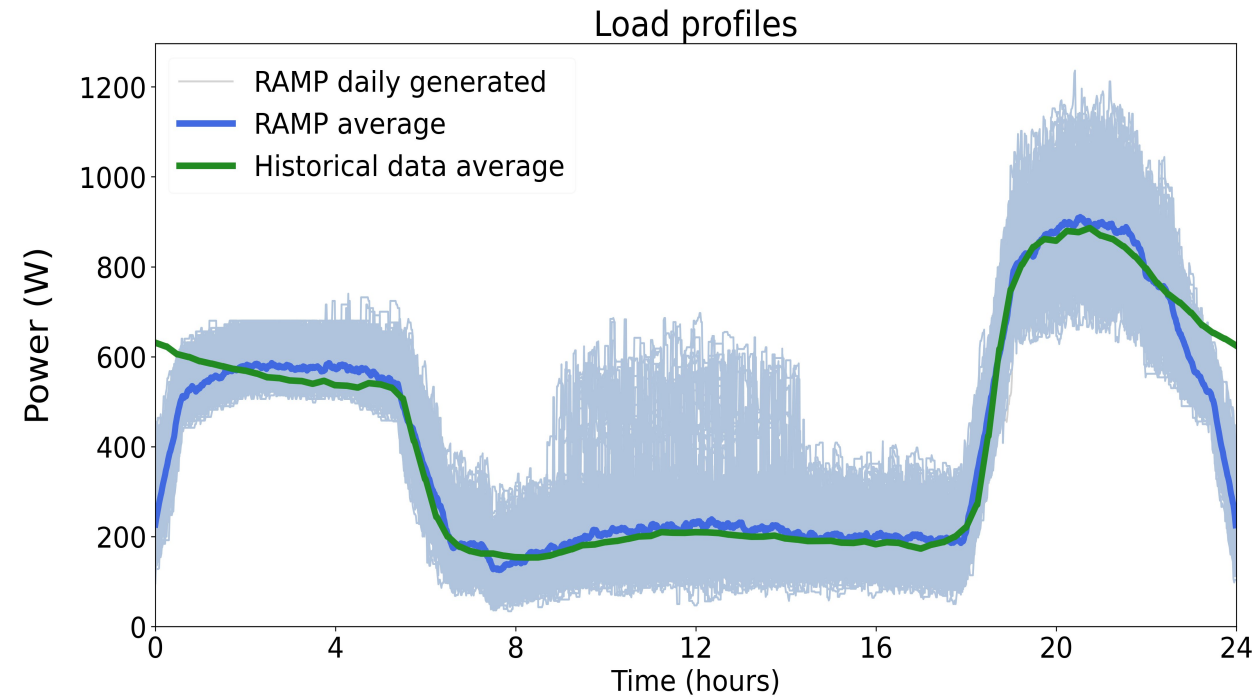
26 ménages + 2 TPE + 2 Eglises



Durée de simulation: 04 min 08s

NRMSE 403.94%

RAMP



Durée de simulation: 43 secondes

NRMSE 8.1%

d'où le choix de RAMP

Présentations de résultats RAMP

Conférence ECOS – Paris, juin 2025

Equipe de développement RAMP – Genk, mai 2025



Travaux en cours

Modélisation de profils de charge dans (RAMP)

- **Collecte de données:**

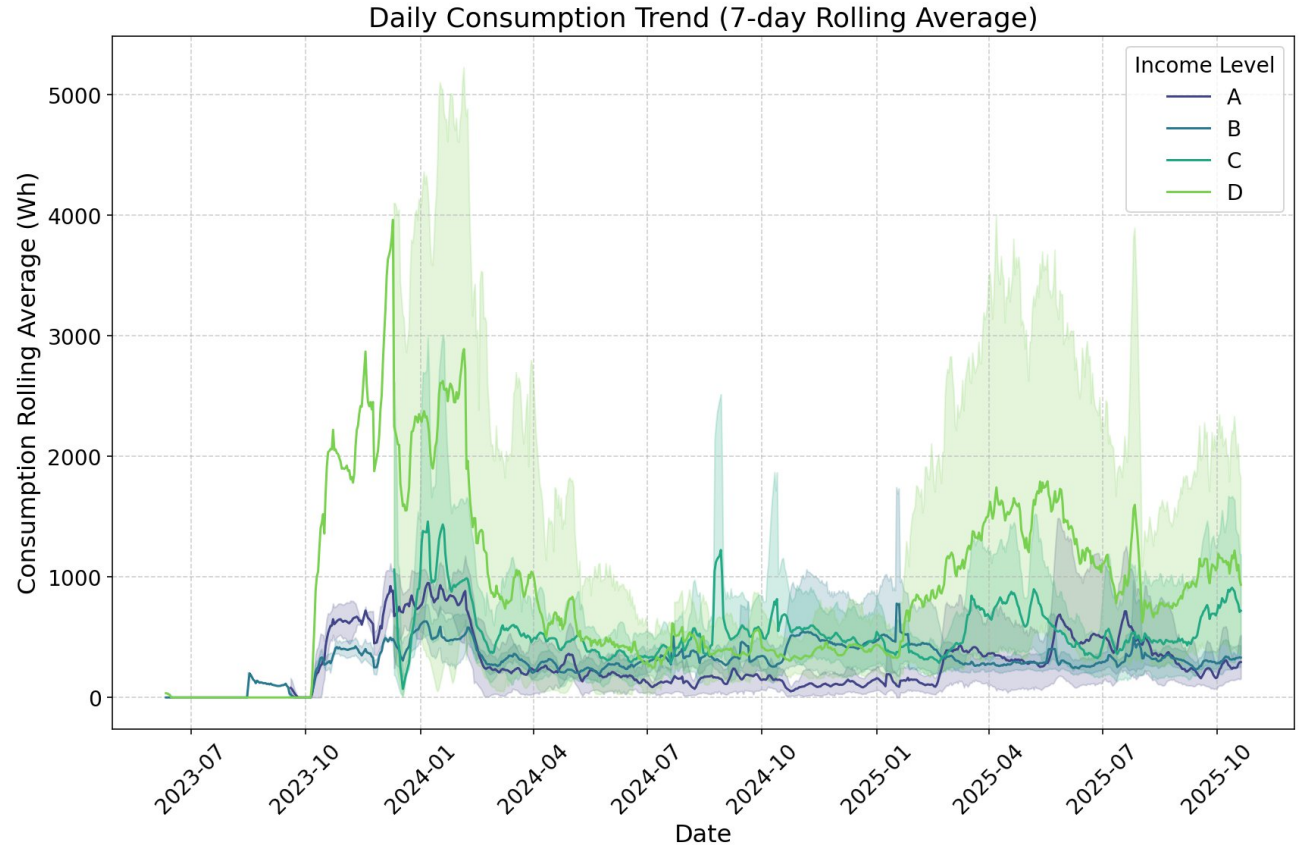
Données compteurs (15-minute résolution), Enquête socio-économique (possession d'équipements, habitude d'utilisation)

- **Catégorisation des utilisateurs:**

Ménages (faible, moyenne, haute consommation), TPEs (bars, ateliers, moulins), Service communautaires (églises, école)

- **Calibration du modèle:**

Modélisation et simulation dans RAMP à partir des données d'enquête. Validation avec les données compteurs

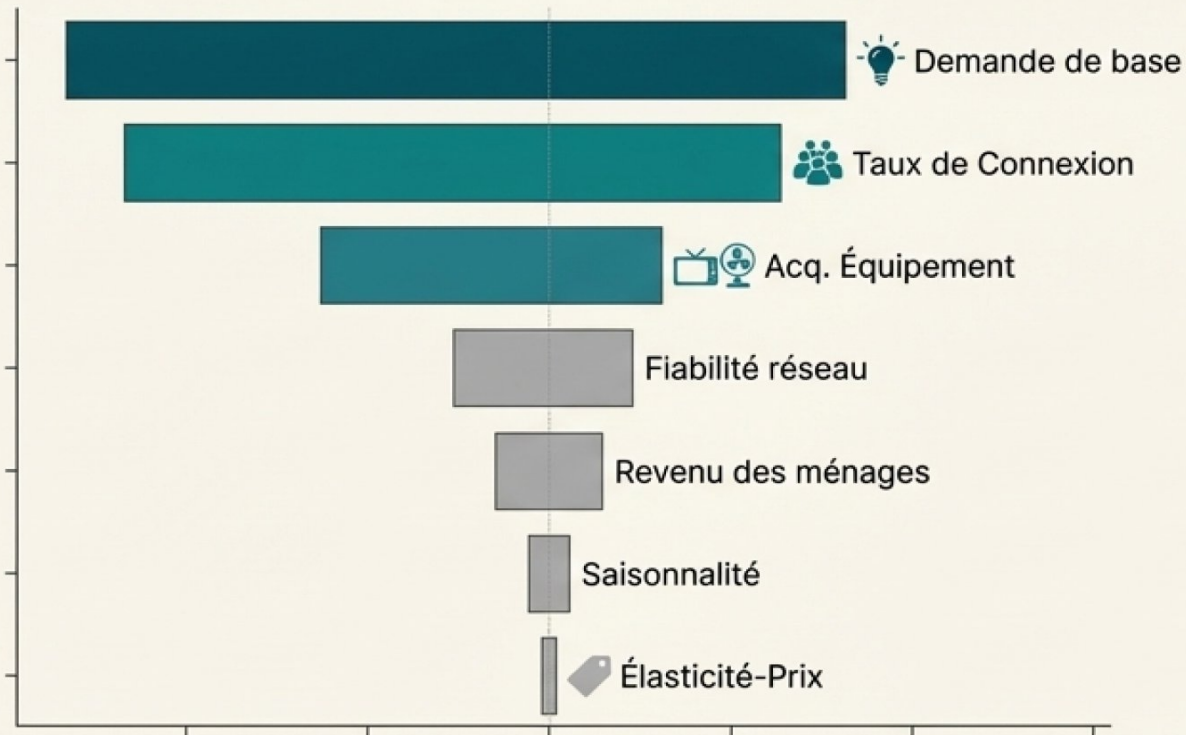


Comment arriver à modéliser cette évolution de la demande dans RAMP ?

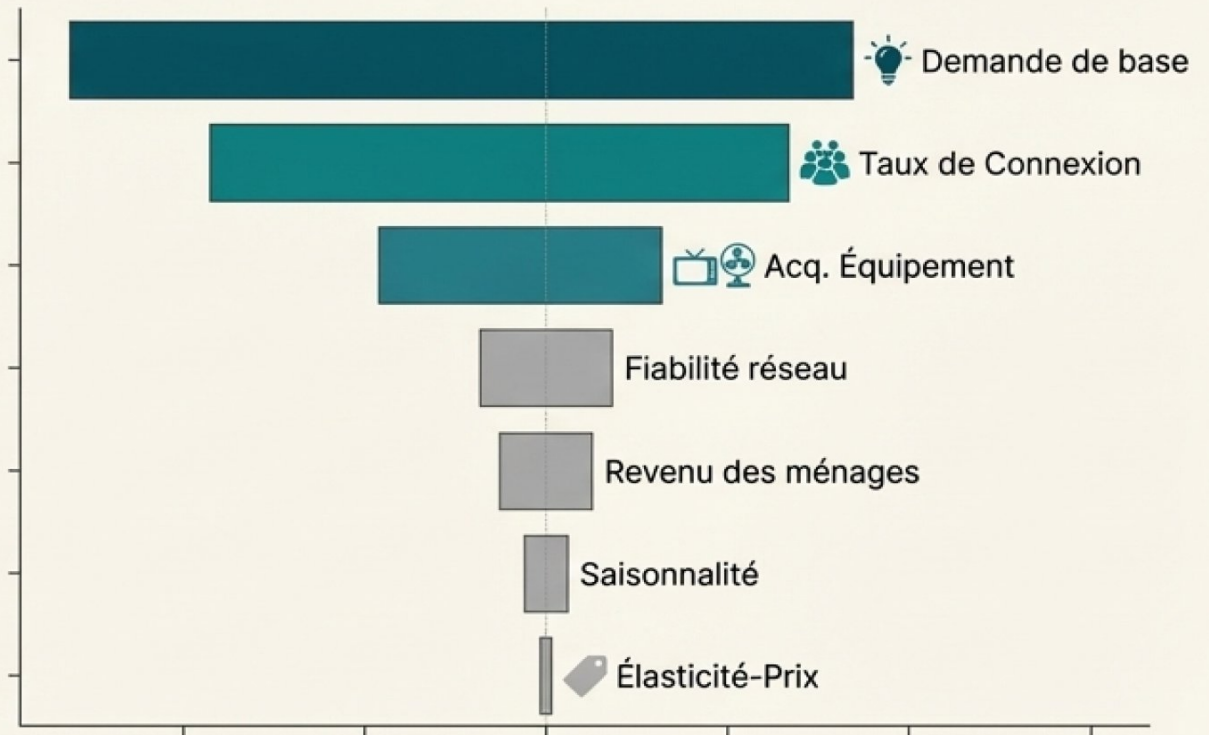
Travaux en cours

Détermination des paramètres influençant l'évolution de la demande: Analyse Sobol

Graphique 1: Samionta



Graphique 2: Gbowele



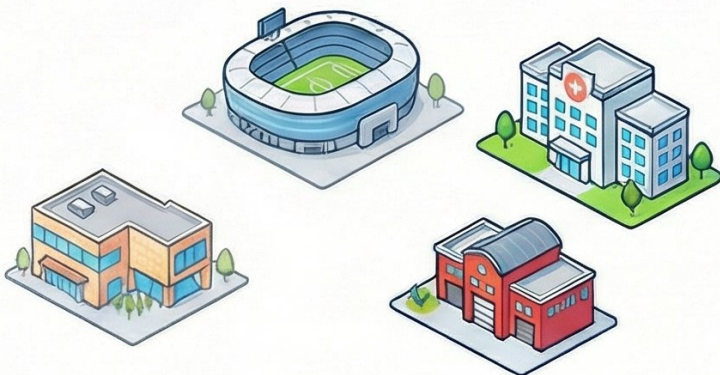
Le Message Immédiat : Dans les deux localités, la variance de la demande est massivement expliquée par les dynamiques d'adoption et de croissance, et non par la sensibilité au prix.

Perspectives

- o Refaire les analyses avec les données des enquêtes récentes et les séparer par catégorie pour une analyse plus fine
- o Finaliser le calibrage de RAMP pour les localités de SAM et GBO
- o Développer un module à intégrer dans RAMP qui intégrera ces facteurs pour simuler l'évolution de la demande
- o Démarrer la modélisation mathématique des mini-réseaux (génération + distribution)

Perspectives

Stratégie de gestion et de contrôle



Anticipe les Blackouts

Procède au délestage de clients non critiques pour prévenir les pannes généralisées.

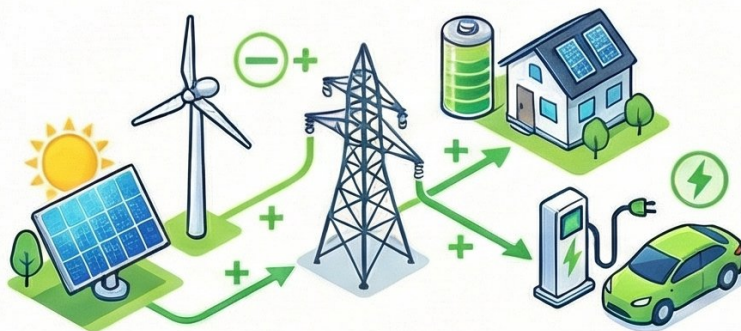


Système centralisé de gestion



Maintenance Prédictive

Planifie les interventions sur les équipements avant que la défaillance ne survienne.



Évite le Gaspillage d'Énergie (Curtailment)

Commande des charges flexibles pour utiliser l'énergie excédentaire et générer des revenus.



Maximise la Production Solaire

Évalue la nécessité de nettoyer les panneaux pour garantir un rendement optimal.

Perspectives

Stratégie de gestion et de contrôle

Ce système centralisé collecte et analyse en continu des données pour gérer de manière proactive un mini-réseau rural. Il anticipe les pannes, stabilise le réseau et optimise l'utilisation de l'énergie solaire pour assurer un service fiable et rentable.

Étape 1 : Collecte de Données en Continu



Centralisation des données multi-sources

Collecte des informations des compteurs, de la météo, de la production et des équipements

Étape 2 : Analyse Prédictive



Planification de la maintenance

Anticipe les défaillances des équipements pour intervenir avant la panne



Optimisation du nettoyage des panneaux

Compare la production réelle à la production potentielle pour déterminer le moment idéal pour nettoyer

Étape 3 : Actions Automatisées Intelligentes



Stabilisation préventive du réseau

Procède au délestage de clients non critiques pour éviter les blackouts.



Maximisation de la production solaire

Active une charge flexible pour consommer l'excédent d'énergie et générer des revenus

Thank you

Scherif SOSSOU

ssossou@uliege.be

+229 (01) 62 90 51 11

