

# THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 641

*Mathématiques et Sciences et Technologies du numérique,  
de l'Information et de la Communication*

Spécialité : *Génie Electrique*

Par

**Fitsum Salehu KEBEDE**

**« Improving the Reliability of the Electrical Supply by the Development  
of a Multi-source Solution on a Weak Electrical Network**

Thèse présentée et soutenue à Saint-Nazaire, le 19 Janvier 2023

Unité de recherche : Institut de Recherche en Energie Electrique de Nantes Atlantique (IREENA)

## Rapporteurs avant soutenance :

M. Philippe DESSANTE

M. Dhaker ABBES

Professeur des Universités, Université Paris Saclay, CentraleSupélec

Professeur Junia (EESPIG), Junia Grande Ecole d'Ingénieurs de Lille

## Composition du Jury :

Président : Mme. Delphine RIU

Membre: M. Mohamed MACHMOUM

Dir. de thèse : M. Salvy BOURGUET

Co-dir. de thèse : M. Jean-Christophe OLIVIER

Professeur des Universités, Université Grenoble Alpes, G2ELab

Professeur des Universités, Nantes Université, IREENA

Maître de conférences HDR, Nantes Université, IREENA

Maître de conférences HDR, Nantes Université, IREENA

**Titre :** Amélioration de la fiabilité de l'alimentation électrique par le développement d'une solution multi-sources sur un réseau électrique faible

**Mots clés :** production distribuée, panne de réseau, modélisation, optimisation de dimensionnement multiobjectif, système hybride, énergie renouvelable, photovoltaïque-batterie, gestion de l'énergie.

**Résumé :** Les pannes de réseau stochastiques, fréquentes et de longue durée, sont très courantes dans les pays en développement, ce qui pose un problème insupportable de fiabilité de l'alimentation électrique. Les clients sont souvent obligés d'utiliser des générateurs diesel pour surmonter ces pannes imprévisibles et récurrentes. Cette thèse propose un système multi-source solaire photovoltaïque et batterie intégré à un réseau faible basé sur des données de pannes stochastiques enregistrées et un profil de charge. L'objectif de dimensionnement est de trouver le meilleur compromis entre les contraintes technico-économiques, d'assurer la continuité de l'approvisionnement (réduction des pannes) et la minimisation du coût de l'énergie, ce qui met en œuvre une optimisation de dimensionnement multi-objectifs pour obtenir un ensemble de solutions Pareto optimales.

Ce travail porte également sur la modélisation et la simulation stochastiques des pannes de réseau. Deux modèles présentant les avantages d'une mise en œuvre minimale sans nécessiter de données détaillées sur les pannes et la capacité de prendre en compte les événements extrêmes dans les pannes sont développés. Le modèle de Markov (matrice de transition de Markov) est capable de capturer les répartitions jour-nuit démontrées dans le test de périodicité. Le modèle de Weibull est capable de prendre en compte de manière précise les événements extrêmes des pannes tels que les durées de pannes longues mais moins fréquentes. Les résultats nous permettent également de tester l'efficacité et la performance du système multi-source (PV-batterie) conçu sur un grand nombre de profils de pannes de scénarios potentiels réalisables pendant la durée de vie du système renouvelable.

**Title :** Improving the Reliability of the Electrical Supply by the Development of a Multi-source Solution on a Weak Electrical Network

**Keywords :** distributed generation, grid outage, modeling, multiobjective sizing optimization, hybrid system, renewable energy, photovoltaic-battery, energy management.

**Abstract :** Frequent and long-duration stochastic grid outages are very common in developing countries, thus posing unbearable power supply reliability problem. Customers are often forced to use diesel generators to overcome these unpredictable and recurrent outages. This thesis proposes a solar photovoltaic and battery multi-source system integrated to a weak grid based on a real recorded stochastic outage data and load profile. The sizing objective is to find the best trade-off between the techno-economic constraints of ensuring the continuity of supply (outage reduction) and minimization of the cost of energy which implements a multi-objective sizing optimization to obtain a set of Pareto optimal solutions.

This work also deals with stochastic grid outage modeling and simulation, at which two models with advantages of minimal implementation without requiring a detailed outage data and ability to take into account extreme events in outages are developed. The Markov model (Markov Transition Matrix) is able to capture the day-night repartitions demonstrated in the periodicity test. The Weibull model is able to accurately take into account extreme outage events such as long but less frequent outage durations. The results also allow us to test the effectiveness and performance of the designed multi-source (PV-battery) system on a large number of outage profiles of potential feasible scenarios over the life span of the renewable system.