



Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques et Sciences Médicales

Avis de Soutenance

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Monsieur ALPHA ALHAJI BANGURA

Discipline : Sciences de l'Ingénieur

Spécialité : Génie électrique et Energies renouvelables

Sujet de la thèse

Analyse et commande des systèmes hybrides solaire-wind

Formation Doctorale " Sciences de l'Ingénieur, Sciences Physiques, Mathématiques et Informatique"

Thèse présentée et soutenue **le mardi 20 octobre 2026 à 15h** à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès, devant le jury composé de :

NOM ET PRÉNOM	TITRE	ÉTABLISSEMENT	
HASSANE MOUSTABCHIR	PES	Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès	Président
ABDELMAJID BEKKALI	PES	Faculté des Sciences de Meknès	Rapporteur
RACHID SAADANI	PES	Ecole Supérieure de Technologie de Meknès	Rapporteur
MHAMED SAYYOURI	PES	Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès	Rapporteur
GHIZLANE KHAISSIDI	PES	Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès	Examineur
MUSTAPHA ERROUHA	MC	Framatome Lyon France	Examineur
YASSINE CHAIBI	MC	Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès	Invité
HICHAM HIHI	PES	Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès	Co-Directeur de Thèse
ZAKARIA CHALH	PES	Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès	Directeur de Thèse

Laboratoire de recherche : laboratoire Ingénierie, Systèmes et Applications

Etablissement : Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès



Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques et Sciences Médicales

Résumé de la thèse

Contexte : La demande croissante d'une électricité fiable et durable, associée à l'urgence de réduire la pauvreté énergétique en Afrique subsaharienne, a favorisé le développement des systèmes hybrides d'énergie renouvelable hors réseau (HRES). Les systèmes autonomes combinant des panneaux photovoltaïques (PV), de petites éoliennes et des systèmes hybrides de stockage d'énergie (HESS), notamment les batteries et les technologies d'hydrogène vert, deviennent une alternative pratique pour gérer l'intermittence des énergies renouvelables sans dépendre des générateurs diesel. Ces micro-réseaux couplés en courant continu (DC) jouent un rôle important dans l'électrification rurale, mais leurs performances sont souvent affectées par des conditions environnementales difficiles, telles que les températures élevées et l'accumulation de poussière, ainsi que par les capacités limitées du matériel informatique utilisé dans les zones reculées. Les systèmes actuels de gestion de l'énergie (EMS) se divisent généralement en deux catégories. Certains reposent sur des approches simples basées sur des règles, ce qui peut entraîner une dégradation plus rapide des batteries, tandis que d'autres utilisent des méthodes computationnelles complexes telles que le contrôle prédictif par modèle (Model Predictive Control) ou l'apprentissage par renforcement profond (Deep Reinforcement Learning), qui sont souvent difficiles à mettre en œuvre dans les communautés isolées en raison des limitations matérielles et du manque de transparence opérationnelle. Cette recherche répond à cette problématique en étudiant la modélisation dynamique et le contrôle hiérarchique d'un micro-réseau autonome solaire-éolien-stockage. Au lieu de s'appuyer entièrement sur des méthodes basées sur l'intelligence artificielle nécessitant une forte puissance de calcul, cette étude propose une architecture de contrôle légère et déterministe basée sur Stateflow, fondée sur les principes des machines à états finis. La méthodologie consiste à développer des modèles mathématiques pour le système photovoltaïque, une éolienne à génératrice synchrone à aimants permanents (GSAP) utilisant une stratégie MPPT de couple optimal sans capteur, ainsi qu'un modèle dynamique de batterie lithium-ion basé sur un réseau à deux circuits RC. Les principaux objectifs de recherche comprennent : (i) le développement de modèles transitoires à circuits équivalents adaptés aux variations des conditions environnementales ; (ii) la conception de stratégies de contrôle PI en cascade pour des convertisseurs DC-DC bidirectionnels afin de réguler un bus continu de 48 V/200 V ; (iii) la mise en œuvre d'un algorithme adaptatif de gestion de puissance utilisant des seuils dynamiques de l'état de charge (SoC). Dans l'ensemble, cette



Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques et Sciences Médicales

thèse propose un cadre de gestion de l'énergie fiable et à faible coût computationnel, capable de soutenir l'électrification durable hors réseau et de contribuer à la transition énergétique plus large en Afrique. Mots-clés : Micro-réseau autonome, Système de gestion de l'énergie (SGE), Contrôle Stateflow, Système de stockage d'énergie hybride (SSEH), Générateur synchrone à aimants permanents (GSAP), Afrique subsaharienne