



جامعة محمد الخامس بالرباط  
Université Mohammed V de Rabat

École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes  
Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

## AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT

**Madame Ihssane CHTOUKI**

soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat  
en Sciences de l'ingénieur

***Le Mardi 14 Septembre 2021 à 10h00 au Grand amphi  
à l'ENSAM de Rabat***

**Intitulé de la thèse**

### **CONTRIBUTION A L'OPTIMISATION D'ÉNERGIE EXTRAITE D'UNE CHAÎNE DE CONVERSION SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE A BASE DE COMMANDES ADAPTATIVE NEURO-EVOLUTIONNAIRES**

**Devant le Jury composé de :**

**Président :**

Pr. Jamal EL MHAMDI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Directeur de thèse :**

Pr. Malika ZAZI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Co-Encadrant de thèse :**

Pr. Patrice WIRA, Prof. des universités, Université de Haute Alsace, Mulhouse, France

**Rapporteurs :**

Pr. Aziz SOULHI, PES, ENSMR, Rabat

Pr. Ahmed ELAKKARY, PES, ESTS, Université Mohamed V de Rabat

Pr. Hassane MAHMOUDI, PES, EMI, Université Mohammed V de Rabat

**Examineurs :**

Pr. Fatima Zahra CHAOUI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Bouchta SAHRAOUI, Prof. des universités, Université d'Angers, France



# CONTRIBUTION A L'OPTIMISATION D'ENERGIE EXTRAITE D'UNE CHAINE DE CONVERSION SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE A BASE DE COMMANDES ADAPTATIVE NEURO-EVOLUTIONNAIRES

**Résumé :** L'énergie solaire est un excellent concurrent parmi les alternatives durables qui offrent un potentiel pratique pour remplacer les combustibles fossiles de plus en plus épuisés et répondre à la demande mondiale croissante en énergie. Toutefois, l'investissement initial important et la durée de vie limitée d'une installation photovoltaïque rendent la diffusion de son utilisation limitée en raison des coûts élevés résultant de son efficacité insuffisante. Avec ce défi comme motivation, l'objectif de la recherche présentée dans cette thèse était de contribuer à l'expansion de l'utilisation des systèmes photovoltaïques (PV). Pour atteindre cet objectif, le travail a été abordé en trois angles : 1) L'amélioration de l'efficacité des systèmes PV par le développement des nouvelles techniques de contrôle (MPPT) (Maximum power point tracking) afin d'extraire la puissance maximale et réduire les pertes de puissance, l'amélioration des modèles PV existants ainsi que l'amélioration des outils de simulation qui nécessitent un effort de calcul considérable. 2) l'implémentation réelle et la validation des différentes techniques proposées dans un banc d'essai en utilisant une carte DSpace 1104, des panneaux solaire PV et un émulateur solaire PV réalisés au sein de laboratoire IRIMAS. 3- Après avoir testé le bon fonctionnement de notre système autonome et validé en temps réel les différentes contributions de la commande MPPT suggérées, la dernière étape c'était l'injection de la puissance extraite de générateur photovoltaïque (GPV) dans le réseau électrique par le biais d'un système de filtrage actif parallèle en utilisant un onduleur DC-AC triphasé. En ce qui concerne la première partie de cette thèse, nous avons commencé par modéliser le système photovoltaïque en utilisant deux approches la première méthode utilise une approche numérique modélisée par des équations résolues selon la méthode de Newton Raphson sur Matlab / Simulink. Ce modèle consistait à créer un outil rapide avec un calcul réduit permettant de faciliter la mise en œuvre en temps réel en évitant la création de boucles algébriques sur la carte dSpace, de plus il offre une précision meilleure à celle des modèles existants qui nécessitent beaucoup de blocs pour modéliser les équations. Le deuxième, c'est un nouveau modèle de cellule photovoltaïque



mono-diode modélisé sur un simulateur électronique appelé (Qucs), Le modèle proposé imite l'exactitude des modèles existants sans dépendre d'une équation implicite transcendante, ce qui permet d'obtenir un temps de calcul plus court sans en sacrifier l'exactitude. Par conséquent, nous obtenons des caractéristiques dynamiques plus précises sous différents changements climatiques. Pour les applications PV autonomes, les méthodes MPPT (Maximum Power Point) varient généralement le rapport cyclique d'un convertisseur statique DC/DC. Ces variations sont recherchées dans la relation non linéaire entre la tension de sortie et le courant de sortie afin de déterminer en permanence la puissance maximale dans des conditions environnementales données. Puisque le suivi de Point de puissance maximal (PPM) représente un grand progrès dans l'amélioration de l'efficacité des systèmes PV, L'étude présentée dans cette thèse porte sur la recherche de la meilleure extraction d'énergie photovoltaïque pour un système PV autonome et un système PV connecté au réseau. Dans ce contexte, l'objectif principal de nos recherches est d'y contribuer en inventant de nouveaux algorithmes. Pour cela, diverses stratégies MPPT basées sur le Réseau de Neurone Artificiel (RNA), le Réseau de neurone Evolutionnaire (RNE), les algorithmes évolutionnaires ont été proposées ainsi que deux principaux types d'algorithmes d'apprentissage ont été développés : l'algorithme génétique auto-adaptatif (SAGA-NN) et l'optimisation adaptative des essais de particules (APSO-NN) appliquées pour améliorer les paramètres de RNA. Les algorithmes décrits sont proposés pour améliorer les performances de deux algorithmes conventionnels : la perturbation et observation (P&O) et la logique floue

(LF). L'efficacité des méthodes MPPT suggérées est testée de manière statique et dynamique sous différents changements soudains de rayonnement selon la norme européenne EN 50530. Les différentes Stratégies MPPT ont été simulées et vérifiées expérimentalement à l'aide d'un banc d'essai didactique basé sur un émulateur solaire photovoltaïque. Par la suite, après avoir testé la robustesse des algorithmes MPPT proposés pour un système PV hors réseau avec un convertisseur boost et une charge résistive, un système PV connectés au réseau avec un système de filtrage actif parallèle est introduit. Le schéma de commande de l'onduleur développé est basé sur le contrôle prédictif ainsi que l'identification des harmoniques est fait par le RNA. De plus, ce schéma a été confirmé théoriquement et par simulation. Les simulations présentées dans cette thèse sont réalisées avec l'environnement MATLAB / Simulink ®, et la mise en œuvre



pratique en temps réel des algorithmes MPPT a été réalisée via un système DSpace 1104.

**Mots-clés :** MPPT ; système PV ; P&O ; logique floue ; Réseau de neurone artificiels (RNA); Réseau neuronal évolutif (RNE) ; SAGA-NN ; APFO-NN; APFO-NNPOPI; APFO-NNFuzzy; PV autonome ; DC/DC boost; banc d'essai ; émulateur PV; DSpace DS1104 ; VSI triphasé; PV connecté au réseau; contrôle prédictif.

