

THÈSE

Présentée à

L'Université de Lorraine – METZ

UFR Mathématiques, Informatique, Mécanique

Pour obtenir le titre de

DOCTEUR

en

Automatique, Traitement du Signal et des Images, Génie Informatique

Par

Abderrahmane FAKER

Développement de nouvelles stratégies de maintenance intégrée à la gestion des pièces de rechange Application :  
Chaîne d'approvisionnement du système des énergies renouvelables

**Rapporteurs**

Abderrahman EL MHAMED	Professeur, Université Paris 8, Paris, France
Nadia HAMANI	Maître de conférences (HDR), Université de Picardie Verne, Amiens, France

**Examineurs**

Ali SIADAT	Professeur, Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Metz, France.
Anis CHELBI	Professeur, Ecole Nationale Supérieure d'ingénieurs de Tunis (ENSIT), Tunis, Tunisie

**Directeur de thèse**

Zied HAJEJ	Maître de conférences (HDR), Université de Lorraine, Metz, France
------------	---

**Co-Directeur**

Sofiène DELLAGI	Maître de conférences (HDR), Université de Lorraine, Metz, France
-----------------	---

Co-Encadrant Salim Bouslikhane	Professeur, Université internationale d'Agadir (Universiapolis), Agadir, Maroc
-----------------------------------	--

# Résumé

À l'échelle mondiale, le développement des parcs éoliens connaît une croissance sans précédent, manifestée par l'augmentation annuelle de la puissance éolienne installée et de la production éolienne mondiale. L'année 2020 a marqué un jalon historique pour l'industrie éolienne mondiale, et il est prévu que l'installation de nouvelles éoliennes soit trois fois plus rapide au cours de la prochaine décennie.

Tout système de production d'énergie est vulnérable aux pannes aléatoires, perturbant ainsi les plans de production. Le vieillissement, les pannes et les intervalles de maintenance sont autant d'exemples de phénomènes aléatoires fréquemment observés dans ces systèmes. Dans le cas spécifique des éoliennes, la nature hautement volatile et imprévisible du vent implique que la durée des opérations de maintenance doit être réduite au minimum afin de maximiser la disponibilité de chaque éolienne et, par conséquent, sa production énergétique.

Les risques associés à la maintenance font de celle-ci la principale cause des accidents dans le secteur éolien. En outre, le manque de formation des techniciens de maintenance et l'absence de plan de prévention viennent aggraver la situation. Il est donc impératif d'élaborer un plan de maintenance afin d'optimiser le nombre et la durée des interventions, réduisant ainsi de manière significative les conséquences techniques, économiques et humaines de ces opérations.

La maintenance, la production et la gestion des pièces de rechange sont trois fonctions essentielles pour toute activité de production. Dans la pratique, ces fonctions sont souvent gérées de manière distincte, bien qu'elles soient intrinsèquement liées. En effet, l'intégration de ces politiques permet d'améliorer la productivité et de réduire considérablement les coûts.

Dans le cadre de cette recherche, l'objectif principal de cette thèse est de développer de nouvelles politiques de maintenance intégrées à la production d'énergie et à la gestion des pièces de rechange pour les parcs éoliens. Trois stratégies de maintenance, intégrées à la gestion des pièces de rechange, ont été examinées : une stratégie de maintenance parfaite, une stratégie de maintenance imparfaite, ainsi qu'une approche mixte combinant à la fois des opérations parfaites et imparfaites. De plus, une autre stratégie de maintenance mixte, impliquant l'utilisation de l'apprentissage automatique avec une adaptation à la production d'énergie, a été évaluée afin de garantir un niveau de service optimal tout en tenant compte des contraintes opérationnelles.

Pour chacune de ces stratégies développées, l'objectif est de déterminer simultanément un plan de production d'énergie économique et un plan de maintenance optimal, visant à minimiser le coût total de production d'énergie et de maintenance, intégrant la gestion des pièces de rechange. Une caractéristique importante de cette étude est la prise en compte de l'impact de la variation de la production d'énergie sur la dégradation des éoliennes.

Le problème a été formalisé par le développement et l'optimisation de modèles analytiques, qui ont ensuite été validés à l'aide d'exemples numériques et d'études de sensibilité, démontrant ainsi la robustesse des modèles analytiques développés.

**Mot-clés** : production, maintenance, éolienne, énergie renouvelable, production d'énergie, maintenance intégrée, apprentissage automatique, pièces de rechange.