

Habilitation à Diriger les Recherches

NOM DU CANDIDAT : Rudy CALIF

JURY :

RAPPORTEURS	- M Bruno FRANCOIS - M Georges KARINIOTAKIS - M Jean Bernard SAULNIER
MEMBRES	- M Grégory GERMAIN - M Daniel SCHERTZER - M François SCHMITT

RESUME:

Mes travaux de recherche concernent la caractérisation de l'intermittence de la ressource éolienne et solaire en milieu insulaire tropical. L'intermittence des énergies éolienne et solaire pose de nouveaux challenges pour leur intégration massive au sein d'un réseau électrique insulaire ne bénéficiant pas d'interconnexion avec des réseaux continentaux. Dans le contexte actuel, une bonne connaissance de l'intermittence de ces ressources s'avère nécessaire, par exemple, pour le dimensionnement d'un système de stockage et pour l'élaboration d'un modèle de prévision pour une gestion du réseau électrique en temps réel.

Dans la communauté scientifique de l'énergie éolienne et solaire, la notion d'intermittence peut être parfois définie comme étant un synonyme de la variabilité. En turbulence, cette notion d'intermittence a été observée expérimentalement pour la première fois par Batchelor et Townsend (1949) et formalisée dans un cadre multifractal, suite aux travaux préliminaires de A. N. Kolmogorov (1941,1962). Sa définition peut varier suivant l'auteur. En somme, les comportements dynamiques que recouvrent le terme d'intermittence caractérisent l'alternance aléatoire de phases de repos plus ou moins longues qualifiées aussi "phases laminaires", et de brèves phases d'activité intense et irrégulière. Une caractéristique de cette intermittence est l'existence de lois d'échelle temporelles décrivant la durée des phases de repos.

De fait, les travaux présentés dans ce manuscrit ont essentiellement, pour fil directeur la mise en évidence de l'invariance d'échelle et la caractérisation de l'intermittence des données de vitesse de vent, de flux solaire global et de puissance électrique d'origine éolienne. Pour ce faire, une analyse multi-échelle des données a été effectuée dans le cadre de turbulence développée. Ceci doit fournir une meilleure quantification du degré de variabilité et d'intermittence de la vitesse du vent, du flux solaire et de la production éolienne. Les résultats issus de l'analyse ont permis de proposer une modélisation stochastique des signaux considérés dans ces travaux.

Le document est conçu pour constituer un ensemble autour de l'analyse et la modélisation multi-échelle de la ressource éolienne, solaire et de la puissance électrique d'origine éolienne.

Après la présentation de mon parcours général, de mes activités d'enseignement et d'administration, un rapide panorama des notions d'auto-similarité et d'invariance d'échelle, du formalisme multifractal et des lois d'échelles empiriques établies par A. N. Kolmogorov, est décrit. Mon travail de thèse m'avait amené à analyser les fluctuations de la vitesse du vent à l'aide des trois fonctions mathématiques suivantes: la fonction densité de probabilité, la fonction d'autocorrélation et la densité spectrale de puissance de Fourier. Une première partie est consacrée à la présentation des recherches en turbulence atmosphérique. Deux stratégies sont abordées pour la caractérisation de la dynamique des fluctuations de la vitesse du vent. La première stratégie consiste à effectuer une classification des régimes de fluctuation de la vitesse du vent à l'aide de la distribution de Dirichlet. Cette

étude statistique qui est un prolongement de mon travail de thèse, s'est réalisée en collaboration avec le professeur Richard Emilion (UMR CNRS 6628 MAPMO Orléans), rencontré en 2008. Ceci a permis l'élaboration de modèles stochastiques des fluctuations de la vitesse du vent, basées sur la résolution d'équations de Langevin modifiées. La deuxième stratégie concerne l'analyse de la vitesse du vent dans le cadre de la turbulence développée. Une modélisation stochastique est proposée pour la vitesse du vent. Ce travail résulte d'une collaboration avec le directeur de recherche CNRS François G. Schmitt (UMR CNRS 8187 LOG, Wimeureux) rencontré en 2011.

Une analyse des données de puissance électrique d'origine éolienne, est fournie. Nous observons des dépendances entre le degré de variabilité et le degré d'intermittence avec la puissance installée des fermes considérées. Une modélisation statistique est proposée pour les événements extrêmes et une modélisation dynamique pour les fluctuations de la production éolienne. Enfin, une analyse des données du flux solaire global est effectuée. Nous proposons une caractérisation de 367 journées de flux solaire en milieu tropical, à l'aide de trois paramètres du modèle Multifractal Universel.

Le cadre de la turbulence développée fournit un exemple générique pour l'étude de systèmes à grand nombre de degrés de liberté. Le développement des cascades multiplicatives pour la modélisation de la cascade de Richardson, a entraîné la naissance du formalisme multifractal. Ainsi, l'étude des fluctuations intermittentes de la turbulence, à l'aide des fonctions de structure, par exemple, pour la vitesse du vent, a pu être transposée dans d'autres domaines présentant des fluctuations intermittentes.

Comme l'a montré les analyses, la production éolienne et le flux solaire global renferment ce type de fluctuations. Si le formalisme des cascades multifractales est largement utilisé pour la description de l'intermittence de la vitesse du vent dans la zone inertielle, cependant dans le domaine de l'énergie éolienne, cette approche commence à apparaître. Dans le domaine de l'énergie solaire, cette approche est appliquée pour la première fois aux données infra-journalières du flux solaire global.

L'analyse spectrale des données, a mis en évidence une loi de puissance de la forme $E(f) \approx f^{-\beta}$ pour une large gamme fréquentielle. L'analyse multi-échelle a mis en évidence les propriétés intermittentes et multifractales de la vitesse du vent, de la production éolienne et du flux solaire global. Le modèle log-normal, caractérisé par les paramètres de Hurst H et d'intermittence μ , fournit une approximation convenable de l'intermittence pour les données de vitesse de vent et de la production éolienne. Une caractérisation de chacune des 367 journées du flux solaire global, est proposée à l'aide de trois paramètres, H , C_1 et α , du modèle Multifractal Universel.

Sur la base des résultats obtenus, nous avons généré des signaux synthétiques dont les caractéristiques statistique et dynamique sont représentatives de celle des signaux mesurés. Il semble que l'on puisse obtenir de cette manière, un outil efficace pour effectuer des tests d'impact sur le réseau électrique, de sources d'énergie à caractère intermittent. Ce travail de nature expérimental constitue une première étape dans l'élaboration d'un modèle de prévision. Dans cette perspective, la quantification du degré de variabilité et d'intermittence de ces signaux, pourrait constituer une information précieuse pour la construction d'un outil prédictif à court terme, par exemple, pour la production éolienne.

DATE DE SOUTENANCE : Le Mardi 08 Décembre 2015

LIEU : Salle de conférence de la Maison de la Recherche en Environnement Naturel
