

DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **21 novembre 2023**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur COZIAN Bastien**

Titre de la thèse : « *Calcul des événements climatiques extrêmes et des extrêmes de production d'énergie renouvelable à l'aide d'algorithmes d'événements rares* »

Résumé



Pour atténuer le changement climatique, la part de la production renouvelable variable, principalement d'origine éolienne et solaire photovoltaïque (PV), devra fortement augmenter dans les prochaines décennies. Par conséquent, les futurs systèmes électriques, équilibrant l'offre et la demande, dépendront fortement des conditions météorologiques. Pour maîtriser ces systèmes, de nombreux défis devront être relevés, comme la gestion des événements météorologiques extrêmes. La prise en compte de ces événements est essentielle pour estimer les besoins de flexibilité, notamment en termes de stockage ou de production d'appoint, qui peuvent avoir un impact sur le coût du système électrique. Les événements les plus problématiques pourraient se produire en hiver, lorsque le faible rayonnement solaire s'accompagne d'une période sans vent avec des températures basses, entraînant une forte demande de chauffage et une faible production renouvelable. De tels événements peuvent entraîner un déséquilibre important entre l'offre et la demande. Si ce déséquilibre devait se produire à l'échelle européenne, les importations d'électricité en provenance d'autres pays seraient limitées. Dans cette thèse, nous étudions les événements extrêmes combinant une faible production d'énergie renouvelable et une forte demande en Europe, en mettant l'accent sur les événements persistants. Nous utilisons deux approches pour étudier ces événements extrêmes. Dans la première approche, basée sur une simulation climatique longue de 1000 ans, nous proposons des méthodes statistiques qui relient les événements moins extrêmes aux événements plus extrêmes. Ces méthodes, qui reposent sur des hypothèses statistiques, peuvent être utilisées pour faire des extrapolations lorsque peu de données sont disponibles, comme c'est le cas avec les données de réanalyse. Avec un processus stochastique gaussien, nous montrons que la probabilité de faible production éolienne peut être correctement estimée à l'échelle de la France pour des événements de deux semaines et à l'échelle de l'Europe pour des événements d'une durée allant d'une journée à la saison entière. Nous proposons également une hypothèse de distribution gaussienne conjointe entre les variables météorologiques et l'amplitude du déséquilibre offre-demande pour expliquer pourquoi nous observons des motifs similaires pour les événements modérément extrêmes et les plus extrêmes. Dans la seconde approche, nous utilisons un algorithme d'événements rares pour améliorer l'échantillonnage des événements extrêmes. Cet algorithme favorise l'occurrence d'événements rares en modifiant les statistiques d'échantillonnage d'un ensemble de trajectoires, chaque trajectoire étant une simulation climatique. Il nous permet d'étudier à la fois les statistiques et la dynamique des événements rares. En utilisant cet algorithme, nous échantillonnons un grand nombre d'événements extrêmes ayant une chance sur 100 ou 1000 de se produire chaque année, ce qui serait impossible à faire avec une simulation directe. Cela nous

permet d'étudier leurs conditions météorologiques, qui s'avèrent très similaires à celles d'événements moins rares, associés à des téléconnexions à l'échelle de l'hémisphère nord. Enfin, nous discutons brièvement d'un travail collaboratif sur la prévision des canicules extrêmes. En utilisant une simulation très longue de 8 000 ans avec un modèle climatique de complexité intermédiaire, nous développons un réseau de neurones capable de prédire les vagues de chaleur extrêmes en France. La principale contribution de ce travail est de montrer que, pour faire de la prévision en ayant peu de données, notamment avec des réanalyses, les réseaux neuronaux fonctionnent dans un régime de manque de données.