

MODÈLES AUTORÉGRESSIFS À CHANGEMENT DE RÉGIMES MARKOVIENS NON-HOMOGÈNES POUR LE VENT

Julie Bessac ¹ & Pierre Ailliot ² & Valérie Monbet ³

^{1,3} IRMAR - Université de Rennes,
263 avenue du Général Leclerc CS 74205,
35042 Rennes Cedex

¹ julie.bessac@univ-rennes1.fr ³ valerie.monbet@univ-rennes1.fr

² Laboratoire de Mathématiques - Université de Brest,
6 Avenue Victor Le Gorgeu, B.P. 809,
29285 BREST Cedex
pierre.ailliot@univ-brest.fr

Résumé. Nous proposons un modèle stochastique pour les composantes (u, v) du vent en Atlantique Nord-Est. L'objectif est de construire un générateur aléatoire de conditions de vent réalistes pouvant être utilisées pour estimer des risques liés au climat (érosion côtière, énergies renouvelables,...). Nous utiliserons un modèle autorégressif à changements de régimes afin de reproduire l'alternance de périodes où le vent est stable temporellement en intensité et direction (situation anticyclonique) avec des périodes où les conditions de vent sont plus instables (situation dépressionnaire). Nous mettrons en évidence la complexité de la distribution jointe du couple (u, v) et l'apport de transitions non-homogènes entre les régimes à la modélisation de celle-ci. Nous commencerons par modéliser le processus bivarié (u, v) en un point fixé et discuterons ensuite l'extension de ce modèle en espace.

Mots-clés. Générateurs stochastiques de conditions météorologiques, modèles à changements de régimes markoviens, données de vent.

Abstract. We propose a stochastic model for (u, v) wind components in the North-East Atlantic. This work aims at developing stochastic models which can generate realistic wind conditions and be used to estimate various related risks (renewable energy, coastal erosion,...). A Markov-Switching AutoRegressive model is used in order to capture the alternation of periods with stable winds (anticyclonic conditions) and periods with a lot of instability (low pressure conditions). We will highlight the complexity of the joint distribution of (u, v) and introduce non-homogeneous transitions between regimes to improve the modeling of this distribution. We will first model the bivariate process (u, v) at a fixed location and then discuss its extension in space.

Keywords. Stochastic weather generators, wind data, Markov-Switching AutoRegressive models.

1 Introduction

Ces dernières décennies, la construction de générateurs aléatoires de conditions météorologiques s'est considérablement développée. Un des principaux objectifs de ces derniers est de pallier le manque de disponibilité des données réelles, dans le but de conduire des études de risques par exemple. Des modèles avec changements de régimes se sont également développés pour les données de météorologiques. Ceux-ci se sont avérés très flexibles et performants, en effet ils permettent de reproduire l'alternance de périodes dans lesquelles le processus évolue de manières différentes (périodes anticycloniques et dépressionnaires par exemple). Il existe deux types de modèles à changements de régimes : des modèles avec régimes a priori et des modèles à régimes latents (modèles à Chaîne de Markov Caché par exemple). Les modèles à changements de régimes ont été largement utilisés pour les données de pluie mais se sont aussi montrés performants pour les données de vent : ceux-ci permettent de mieux restituer la dynamique temporelle des processus que des modèles sans régime (voir Ailliot et Monbet (2012)).

Beaucoup de modèles pour les vitesses de vent sont basés sur des modèles de type AutoRegressive Moving Average : Haslett et Raftery (1984) ont proposé un modèle ARMA multisite pour le vent en Irlande. Il existe peu de modèles sur les composantes est-ouest et nord-sud (u, v) du vent, Hering et Genton (2010) proposent un modèle spatio-temporel de prédiction pour u et v basé sur une régression linéaire avec un bruit suivant une loi Skew-t. Dans Ailliot, Monbet et Prevosto (2006) un modèle autorégressif à changements de régimes est proposé pour décrire l'évolution spatio-temporelle des champs (u, v) .

La distribution jointe et la dynamique temporelle jointe de ce couple sont particulièrement complexes. Un de nos objectifs est de reproduire la distribution marginale et la dynamique temporelle du couple (u, v) . Nous proposerons ici un modèle autorégressif à changements de régimes (MS-AR) pour (u, v) avec transitions non-homogènes entre les régimes (voir Hughes, Guttorp et Charles (1996)). Un modèle unisite sera ici proposé et nous discuterons l'extension de celui-ci à plusieurs sites.

2 Description des données de vent

Pour construire le générateur aléatoire nous utilisons des données de vent de réanalyse ERA Interim provenant de ECMWF (European Center of Medium-range Weather Forecast). La zone étudiée (une grille entre les latitudes 48°N et 49.5°N et les longitudes 6.25°O et 9°O) est au-dessus de la mer et sans obstacles géographiques. Les conditions de vent de réanalyse y sont une bonne approximation des données réelles. Ces dernières étant rarement disponibles sur des zones étendues et en temps long. On étudiera des blocs de type décembre-janvier en négligeant les composantes journalières et variations inter-annuelles des séries temporelles, ainsi chaque bloc sera considéré comme une réalisation indépendante d'un même processus stationnaire. La distribution jointe de (u, v) présente plusieurs modes et fait apparaître des transitions privilégiées entre ceux-ci

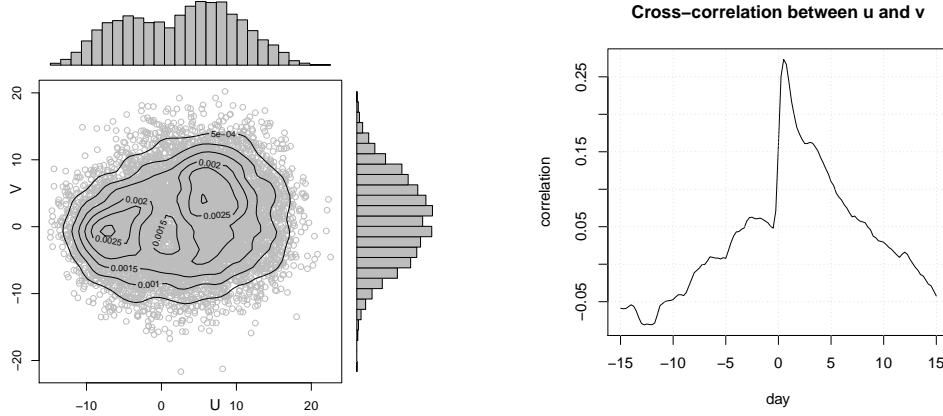


Figure 1: Distributions jointe et marginales de (u, v) en un site (gauche) et fonction de corrélation croisée entre u et v

(pas d'annulation du champs pour passer d'un mode à l'autre mais une rotation de celui-ci), voir Figure 1. Nous proposons une transformation du couple (u, v) afin de faciliter sa modélisation par un MS-AR. Chaque composante présente une dynamique temporelle propre, de plus la dynamique temporelle jointe de u et v s'avère complexe, la fonction de corrélation croisée entre u et v est présentée Figure 1.

3 Un modèle Markov-Switching AutoRegressive pour (u, v)

Les modèles autorégressifs à changements de régimes ont été initialement introduits pour les séries temporelles en économie dans Hamilton (1989). Ces modèles apparaissent comme une généralisation des modèles à Chaîne de Markov Cachées et des modèles autorégressifs. Dans Ailliot et Monbet (2012) un MS-AR est utilisé pour simuler les vitesses de vent en un site au large de la Bretagne.

3.1 Le modèle

Le modèle considéré est composé d'une chaîne de Markov S et d'un processus Y . $(S_t)_{t \geq 0}$ est une chaîne de Markov à valeurs dans $\{1, 2, \dots, M\}$ qui représente le régime météo. Cette variable est supposée non-observée en effet en général on ne dispose pas d'informations directes sur cette variable. Le processus observé Y_t s'écrit :

$$Y_t = B^{(S_t)} + A_1^{(S_t)} Y_{t-1} + A_2^{(S_t)} Y_{t-2} \dots + A_p^{(S_t)} Y_{t-p} + (\Sigma^{(S_t)})^{-1/2} \epsilon_t.$$

Conditionnellement au régime, Y est modélisé par un processus vecteur autoregressif d'ordre p avec bruit gaussien. Ici Y représente le couple (u, v) en le site étudié. La variable S_t représente le régime dans lequel se trouve l'observation Y au temps t .

3.2 Transitions non-homogènes entre les régimes

Différentes covariables et fonctions de transition peuvent être utilisées pour modéliser les transitions entre les régimes S_{t-1} et S_t . En effet dans le modèle précédent la chaîne de Markov est indépendante des observations passées, or par exemple les transitions d'un régime dépressionnaire vers un régime anticyclonique se font en général lorsque la direction est associée à un vent venant du nord et sont très peu probables lorsque la direction est associée à un vent venant du sud. Ceci nous incite à considérer un modèle dans lequel les transitions entre les régimes dépendent des observations passées. Nous comparerons ici deux types de paramétrisation : une paramétrisation gaussienne entre S_{t-1} et S_t avec comme covariables $(u, v)_{t-1}$ et une paramétrisation de type Von Mises avec pour covariable la direction du vent au temps $t - 1$.

4 Validation et discussion

Afin d'évaluer la capacité du modèle à reproduire les propriétés statistiques du jeu de données, une première validation par simulation est effectuée : des statistiques d'intérêt (histogrammes, fonction d'autocorrélation et de corrélation croisée, durées de persistance au dessus d'un seuil) sont estimées sur les données et sur des réalisations artificielles du modèle puis sont comparées. Dans l'exposé, nous mettrons en évidence la capacité du modèle à reproduire la loi jointe du couple (u, v) ainsi que les dynamiques temporelles des composantes u et v et la dynamique jointe entre u et v . Nous illustrerons l'apport des transitions non-homogènes entre les régimes par rapport à un modèle homogène. Les perspectives de ce travail sont l'extension de ce modèle unisite en un modèle multisite. Un ajustement du modèle en chaque site de la zone étudiée indique une homogénéité spatiale des régimes. Ceci suggère l'utilisation d'un régime régional et commun à tous les sites comme dans Ailliot, Thompson et Thomson (2009).

Bibliographie

- [1] Ailliot, P. et Monbet, V. (2012), *Markov-Switching autoregressive models for wind time series*, Environmental modelling and software.
- [2] Haslett, J. et Raftery, A.E. (1989), *Space-time modelling with long-memory dependence: Assesing ireland's wind power ressource*, Applied Statistics.
- [3] Hering, A. S. et Genton, M. G. (2010), *Powering up with space-time wind forecasting*, Journal of the American Statistical Association.

- [4] Ailliot, P., Monbet V. et Prevosto M. (2006), *An autoregressive model with time-varying coefficients for wind fields*, Environmetrics.
- [5] Hamilton, J. D. (1989), *A new approach to the economic analysis of nonstationary time series and the business cycle*, Econometrica: Journal of the Econometric Society.
- [6] Hughes, J. P., Guttorp, P. et Charles, S. P. (1999), *A non-homogeneous hidden Markov model for precipitation occurrence*, Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics).
- [7] Ailliot, P., Thompson, C. et Thomson, P. (2009), *Space-time modelling of precipitation by using a hidden Markov model and censored Gaussian distributions*, Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics).
- [8] Cappé, O., Moulines, E. et Rydén, T. (2005), *Inference in hidden Markov models*, Springer, New York.