

**Processus max-stables pour extrêmes climatiques.  
Application aux hauteurs de neige extrêmes en Suisse**

Juliette Blanchet

► **To cite this version:**

Juliette Blanchet. Processus max-stables pour extrêmes climatiques. Application aux hauteurs de neige extrêmes en Suisse. 42èmes Journées de Statistique, 2010, Marseille, France, France. 2010. <inria-00494693>

**HAL Id: inria-00494693**

**<https://hal.inria.fr/inria-00494693>**

Submitted on 24 Jun 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# PROCESSUS MAX-STABLES POUR EXTRÊMES CLIMATIQUES. APPLICATION AUX HAUTEURS DE NEIGE EXTRÊMES EN SUISSE

Juliette Blanchet  
blanchet@slf.ch

*WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF  
Davos, Switzerland*

**Résumé étendu :** Le climat se définit non simplement comme des températures et précipitations moyennes, mais également en fonction du type, de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques. Les changements climatiques induits par l'homme peuvent potentiellement influencer les extrêmes tels que les fortes vagues de chaleur ou de froid, tempêtes, inondations et sécheresses. Une meilleure compréhension des extrêmes climatiques est un point crucial pour l'estimation des futurs impacts du changement climatique sur la société et l'environnement.

Les événements neigeux extrêmes sont parmi les risques naturels les plus importants dans les régions montagneuses. Chaque année, de tels événements entravent la mobilité pour cause de ralentissements du transport ferroviaire, routier et aérien. Ils peuvent en outre causer l'effondrement de bâtiments dû à une surcharge du toit, des inondations lors de la fonte des neiges ou la formation d'avalanches. Plus généralement, l'analyse des événements neigeux extrêmes est important pour une gestion adéquate des risques naturels en régions montagneuses.

Comparé à d'autres événements climatiques tels que les précipitations, le vent ou la température, la statistique des événements extrêmes de neige a rarement été étudiée. Citons l'article de [Bocchiola et al., 2006] analysant les chutes de neige cumulées sur trois jours dans une petite région des Alpes italiennes centrales, ou plus récemment l'article de [Blanchet et al., 2009] analysant les chutes de neige extrêmes en Suisse. Ces deux articles ont même objectif, à savoir de dériver des caractéristiques spatiales des extrêmes neigeux. Ils reposent néanmoins sur la théorie statistique des extrêmes univariés dont l'essence même est de modéliser des événements ponctuels et non des processus spatiaux, i.e. des processus stochastiques continus dans l'espace.

Les processus max-stable peuvent être vus comme une extension en dimension infinie de la théorie des extrêmes multivariés. Ils généralisent de manière naturelle les structures de dépendance extrêmes aux espaces continus. Un problème clé dans l'étude des processus max-stables est le manque de modèle générique. Contrairement au cas univarié avec la distribution GEV (GEV pour "Generalized Extreme Value"), il n'existe pas d'expression fermée pour la distribution des extrêmes multivariés -et *a fortiori* des extrêmes spatiaux. Trois représentations de processus max-stables ont été suggérées dans [de Haan, 1984], [Schlather, 2002] et plus récemment [Kabluchko et al., 2009]. Des applications récentes de ces modèles à des données de précipitation peuvent être trouvés

dans [Smith and Stephenson, 2009] et [Padoan et al., 2010]. Ces deux articles utilisent néanmoins un nombre très limité de stations (5 dans [Smith and Stephenson, 2009], 46 sur une surface équivalente à la France métropolitaine dans [Padoan et al., 2010]). De plus, aucun de ces articles ne tient explicitement compte du fait que les données analysées sont des extrêmes *climatiques*. Ils utilisent probablement des modèles trop simples au regard de la complexité des extrêmes climatiques en réalité.

Cette présentation vise à proposer des modèles plus complexes construits explicitement pour les extrêmes climatiques mais néanmoins issus des processus max-stables de [Schlather, 2002] et [Smith, 1991]. Le modèle est basé sur une transformation climatique de l'espace euclidien, espace climatique dans lequel les modèles isotropiques de Smith et Schlather peuvent être appliqués. Cette transformation climatique permet de tenir compte de la présence éventuelle de régions climatiques et des effets directionnels induits par les principaux mouvements météorologiques. La vraisemblance complète n'étant pas disponible pour les processus max-stables, nous discutons comment celle-ci peut être remplacée par une vraisemblance composite pour l'estimation du modèle. La présentation est illustrée sur l'analyse de données de hauteurs de neige maximales en Suisse.

**Mots clés :** Événements extrêmes, Processus max-stable, Vraisemblance composite, Climat, Neige.

**Extended abstract :** Climate is defined not simply as average temperature and precipitation but also by the type, frequency and intensity of weather events. Human-induced climate change may influence extremes such as heat waves, cold waves, storms, floods and droughts. A better understanding of climate extremes is a critical part of estimating future climate change impacts on human health, society and the environment.

Heavy snow events are among the most severe natural hazards in alpine and high-elevation countries. Every year, such extreme events hinder mobility due to impediments in rail, road and air traffic. They can also cause the collapse of buildings due to overload, or flooding due to subsequent melting. Extreme snow depths, combined with strong winds and unstable snowpack, contribute to the formation of snow avalanches. More generally, the analysis of extreme snow events is important for adequate integral risk management.

Compared to other climate events such as rain, wind or temperature, extreme-value statistics of snow events have been rarely studied. One can mention [Bocchiola et al., 2006] analysing the 3-days snowfall depth in a small region in central Italian Alps, or more recently [Blanchet et al., 2009] analysing extreme snowfall in Switzerland. Both articles have same purpose, namely to derive spatial characteristics of extreme snow events. Nevertheless, they both rely upon univariate extreme-value distribution which aims in essence at modelling single events and not spatial processes, i.e. stochastic processes continuous in space.

Max-stable processes can be seen as an infinite dimensional extension of multivariate extreme value theory. They provide a natural generalisation of extremal dependence structures in continuous spaces. One key issue in studying max-stable processes is the lack of generic models. Unlike in the univariate case with the GEV (Generalized Extreme Value) distribution, no closed form expression has indeed been found for multivariate, -and *a fortiori* spatial- extremes. Three representations of max-stable processes were suggested in [de Haan, 1984], [Schlather, 2002] and more recently [Kabluchko et al., 2009]. Recent applications to rainfall data can be found in [Smith and Stephenson, 2009] and [Padoan et al., 2010]. The two above papers use nevertheless a very restricted number of stations (5 in [Smith and Stephenson, 2009], 46 over a surface equivalent to 10 times Switzerland in [Padoan et al., 2010]). Furthermore, none of them explicitly account for the fact that they deal with *climate* extremes. They probably use too simplistic model in regards the complexity of climate extremes in reality.

The present talks aims at proposing more complex models designed for climate extremes but still based on max-stable processes of [Schlather, 2002] and [Smith, 1991]. The model is based on a climate transformation of the euclidean space -climate space in which the isotropic Smith's and Schlather's models can still be applied. This climate transformation allows to account for the presence of climate regions and directional weather movement effects. As full likelihood inference is impossible for such models, we will discuss how composite likelihood inference may be used for model estimation and comparison. The talk will be illustrated by analysing annual maximum snow depth distributions in Switzerland.

**Key words :** Extreme events, Max-stable process, Composite likelihood, Climate, Snow.

## Références

- [Blanchet et al., 2009] Blanchet, J., Marty, C., and Lehning, M. (2009). Extreme value statistics of snowfall in the swiss alpine region. *Water Resour. Res.*, 45(W05424).
- [Bocchiola et al., 2006] Bocchiola, D., Medagliani, M., and Rosso, R. (2006). Regional snow depth frequency curves for avalanche hazard mapping in central italian alps. *Cold Regions Sci. Tech.*, 46(3) :204–221.
- [de Haan, 1984] de Haan, L. (1984). A spectral representation for max-stable processes. *The Annals of Probability*, 12(4) :1194–1204.
- [Kabluchko et al., 2009] Kabluchko, Z., Schlather, M., and de Haan, L. (2009). Stationary max-stable fields associated to negative definite functions. *Annals of probability*, 37(5) :2042–2065.

- [Padoan et al., 2010] Padoan, S. A., Ribatet, M., and Sisson, S. A. (2010). Likelihood-based inference for max-stable processes. *Journal of the American Statistical Association (Theory and Methods)*, To appear.
- [Schlather, 2002] Schlather, M. (2002). Models for stationary max-stable random fields. *Extremes*, 5(1) :33–44.
- [Smith and Stephenson, 2009] Smith, E. L. and Stephenson, A. G. (2009). An extended gaussian max-stable process model for spatial extremes. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 139(4) :1266–1275.
- [Smith, 1991] Smith, R. L. (1991). Max-stable processes and spatial extremes. *Unpublished*.