

DÉVELOPPEMENT D'UN MODÈLE RÉGIONAL DE PLUIES EXTRÊMES BASÉ SUR UN SOUS-ÉCHANTILLONNAGE EN TYPES DE TEMPS

Guillaume Evin ¹ & Juliette Blanchet ¹ & Emmanuel Paquet ² & Federico Garavaglia ²
& David Penot ²

¹ *Univ. Grenoble Alpes, LTHE, 38000 Grenoble, France*

guillaume.evin@ujf-grenoble.fr, juliette.blanchet@ujf-grenoble.fr

² *EDF - DTG, 21 Avenue de l'Europe, BP 41, 38040 Grenoble Cedex 9, France*

emmanuel.paquet@edf.fr, federico.garavaglia@edf.fr, david.penot@edf.fr

Résumé. De nombreux modèles stochastiques reposent sur l'hypothèse que les propriétés statistiques des pluies observées peuvent être reliées aux processus physiques qui génèrent les champs pluvieux à l'aide de types de temps. Le modèle MEWP (*Multi-Exponential Weather Pattern*) fait partie de cette catégorie. Dans ce modèle de pluies à pas de temps journalier, pour chaque saison et type de circulation atmosphérique, les pluies extrêmes dépassant un seuil sont distribuées selon une loi exponentielle. De récentes analyses ont montré que MEWP tend à sous-estimer les pluies les plus extrêmes dans le sud-est de la France. Malheureusement, remplacer la loi exponentielle par des lois à queues plus lourdes conduit à un manque de robustesse et des problèmes de sur-ajustements. Afin de répondre à ce problème, une version régionale du modèle MEWP est proposée. Nous comparons les performances du modèle MEWP local avec différentes versions régionales sur de longues séries de pluies journalières couvrant la moitié sud de la France.

Mots-clés. Analyse fréquentielle régionale, pluies extrêmes, type de temps

Abstract. Many rainfall generators rely on the assumption that statistical properties of rainfall observations can be related to physical processes via weather patterns. The MEWP (Multi-Exponential Weather Pattern) model belongs to this class. In this daily rainfall model, extremes above a threshold are distributed exponentially, for each season and atmospheric circulation pattern. Recent investigations showed that MEWP tends to underestimate the most extreme rainfall events in specific regions (e.g. the South-East of France). Unfortunately, replacing the exponential distribution by distributions with a heavier tail reveals a lack of robustness and overfitting issues. To solve this issue, a regional version of the MEWP model is proposed. We compare the performances of local and regional models on long daily rainfall series covering the southern half of France.

Keywords. Regional frequency analysis, extreme rainfall, weather pattern

1 Introduction

La méthode SCHADEx est depuis fin 2007 la méthode de référence à EDF pour l'estimation des crues extrêmes et pour le dimensionnement des barrages. Cette méthode intègre un modèle probabiliste de pluies extrêmes : le modèle MEWP (*Multi-Exponential Weather Pattern*, voir Garavaglia *et al.*, 2010, 2011). MEWP s'appuie sur une classification des journées pluvieuses correspondant à huit types de circulation atmosphérique identifiés à une large échelle (Europe de l'ouest). Pour chaque sous-population et saison, une distribution exponentielle est ajustée sur l'échantillon POT (*Peak-Over-Threshold*) composé des pluies les plus importantes, c'est-à-dire dépassant un quantile fixé (par exemple le quantile 0.7 à une échelle journalière). La distribution MEWP globale est la somme pondérée de ces distributions exponentielles.

(Neppel *et al.*, 2014) montrent que MEWP donne souvent de meilleures performances que les modèles "classiques" de pluies extrêmes (e.g. distributions Gumbel, GPD et GEV) en terme de justesse et de robustesse. Cependant, l'hypothèse selon laquelle les pluies extrêmes suivent une loi exponentielle mérite d'être élargie, particulièrement dans les régions du pourtour méditerranéen exposées à de fortes précipitations à l'origine de crues soudaines dites "éclair". Afin de résoudre les problèmes d'estimation du paramètre de forme lorsque des distributions à queue plus lourde telle que la GPD sont ajustées (Seriali et Kilsby, 2014), nous développons une méthode de régionalisation (ou RFA pour *Regional Frequency Analysis*, voir Hosking et Wallis, 2005) adaptée au modèle MEWP. Cette méthodologie RFA permet d'agréger l'information autour des stations à l'étude pour chaque type de temps (TT), et ainsi augmenter la robustesse des ajustements de lois plus flexibles.

2 Modèle MEWP local

Le modèle MEWP modélise les pluies extrêmes selon une classification de circulations atmosphériques qui associe chaque jour de la période 1948-2013 à un type de situation synoptique (Garavaglia *et al.*, 2010), appelé plus simplement type de temps (TT). (Garavaglia *et al.*, 2010) montrent également que les variations saisonnières des pluies extrêmes sont importantes et doivent être prises en compte. Dans ce document, une saison à risque est fixée aux mois de septembre, octobre et novembre, les maxima de pluies annuels apparaissant généralement pendant cette période dans le sud-est de la France. Deux saisons sont ainsi définies : la saison à risque (S2) et son complément (S1). Chaque journée est donc associée à un des huit types de temps et une des deux saisons, formant ainsi 16 sous-classes. Cette classification forme la base du modèle MEWP.

Soient X les pluies centrales (observations maximales des périodes pluvieuses de trois jours avec un seuil minimum à 1mm) pour une station et $F(x) = \Pr(X \leq x)$ la fonction de répartition des pluies centrales. MEWP peut être exprimée comme un modèle de mélange :

$$F(x) = \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K p_{s,k} F_{s,k}(x), \quad (1)$$

où $S = 2$ est le nombre de saisons et s l'indice correspondant. $K = 8$ est le nombre de types de temps et k l'indice correspondant. Une distribution $F_{s,k}$ est associée à chacune des $S \times K$ sous-classes, pondérée par une probabilité $p_{s,k}$.

Soit α le niveau de probabilité au-delà duquel les pluies centrales peuvent être considérées comme des valeurs extrêmes. Dans cette étude, nous fixons $\alpha = 0.7$ (Garavaglia *et al.*, 2010) et un α -quantile $q_{s,k}$ est associé à chaque sous-classe. La fonction de répartition $F_{s,k}(x)$ est définie par l'expression suivante :

$$F_{s,k}(x) = \begin{cases} F_{s,k}^{emp}(x) & \text{si } x \leq q_{s,k}, \\ \alpha + (1 - \alpha)G(x; q_{s,k}, \boldsymbol{\theta}_{s,k}), & \text{si } x > q_{s,k}, \end{cases} \quad (2)$$

où $F_{s,k}^{emp}(x)$ est la fonction de répartition empirique pour la sous-classe s, k et $G(x; q_{s,k}, \boldsymbol{\theta}_{s,k})$ est la fonction de répartition qui décrit la queue supérieure de $F_{s,k}(x)$, pour un vecteur de paramètres $\boldsymbol{\theta}_{s,k}$.

Dans MEWP, $G(x; q_{s,k}, \boldsymbol{\theta}_{s,k})$ est une distribution exponentielle et $\theta_{s,k} = \sigma_{s,k}$ est un paramètre d'échelle. Ici, nous testons deux alternatives à la distribution exponentielle : la Pareto Généralisée (GPD) et la Weibull (WEI). Ces deux distributions sont intrinsèquement liées à la distribution exponentielle puisqu'elles l'incluent toutes deux comme un cas particulier (lorsque leur paramètre de forme est égal à 0 et 1, respectivement).

3 Modèle MEWP régional

Un des fondements des méthodes RFA est la procédure *index-flood* qui consiste à supposer que les observations d'une région suivent la même distribution régionale après avoir été mises à l'échelle :

$$\frac{\mathbf{x}_{s,k,i}}{m_{s,k,i}} \quad (3)$$

où $\mathbf{x}_{s,k,i}$ sont les pluies dépassant le seuil $q_{s,k}$ (les excès) pour la stations i , la sous-classe s, k , et $m_{s,k,i}$ est le facteur de mise à l'échelle estimé localement. Suivant Burn (1990), des voisinages sont définis autour de chaque station, les limites de ces voisinages étant déterminées après application de tests d'homogénéité. Les voisinages sont ensuite sélectionnés avec un algorithme *bottom/up*. Plus précisément, pour chaque station, saison et type de temps, un voisinage est obtenu selon les étapes suivantes :

1. Un premier voisinage est délimité par un cercle autour de la station, le rayon étant initialisé à 5km, selon la distance du promeneur qui pénalise la présence de reliefs entre deux stations.

2. Plusieurs tests d'homogénéité sont appliqués afin de vérifier l'homogénéité des séries adimensionnalisées. Si l'homogénéité est rejetée, aucun voisinage n'est obtenu pour cette saison et ce type de temps, et une distribution exponentielle locale est appliquée pour cette sous-classe. Dans le cas contraire, on augmente le rayon de 5km.
3. Tant que les voisinages sont considérés homogènes, le rayon est augmenté et le plus grand voisinage homogène est retenu.

Une fois qu'un voisinage est obtenu pour la station i , pour une sous-classe s/k , les paramètres régionaux $\theta_{s,k,i}^{reg}$ sont estimés (Eq. 2) par maximum de vraisemblance, en supposant les observations du voisinages indépendantes.

4 Résultats

Nous appliquons les modèles MEWP locaux et régionaux à des observations de pluies journalières provenant de $N = 773$ pluviomètres appartenant à EdF, Météo-France et le service de météorologie italien. Ces stations sont principalement situées dans le Sud-Est de la France et près des frontières.

Une caractéristique intéressante du modèle MEWP régional est la cohérence spatiale qu'il apporte, comme illustré par la Figure 1, qui montre la variabilité spatiale du paramètre de forme ξ , pour les applications locales et régionales de MEWP avec la distribution Weibull pour la sous-classe S2/TT4. Pour les applications locales, il est difficile de distinguer une tendance spatiale particulière. En particulier, on obtient souvent des estimations élevées de ξ , ce qui correspond à des lois à queue légère. A l'opposé, les applications régionales font apparaître des zones où les estimations de ξ sont assez homogènes, ce qui montre bien que l'approche RFA apporte une cohérence spatiale.

La Figure 2 présente les cartes des paramètres de forme ξ estimés avec les applications régionales du modèle MEWP avec la distribution Weibull, pour la saison-à-risque. Les tendances spatiales observées ont des interprétations climatologiques intéressantes. Par exemple, pour le principal type de temps méditerranéen (TT4), qui apporte le plus d'évènements pluvieux dans le sud-est de la France, ces distributions de pluies journalières montrent un comportement "exponentiel" (paramètre de forme ξ proche de 1) autour des Cévennes. A l'inverse, des distributions à queues plus lourdes sont identifiées dans le piedmont et la plaine situés à l'ouest la vallée du Rhône. Ce contraste entre des distributions exponentielles (dans les montagnes) et à queue lourde (dans le piedmont et la plaine plus bas) s'observe également pour les autres types de temps méditerranéens (3, 6 et 7) mais dans des régions différentes. Ces résultats sont une illustration statistique des interactions complexes qui existent entre le relief et les flux météorologiques à l'origine des pluies les plus extrêmes dans cette région.

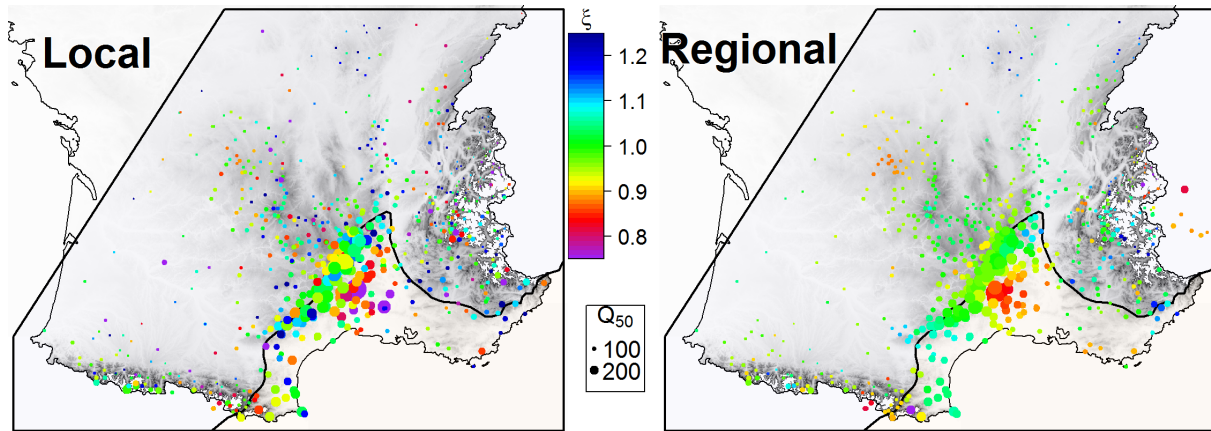


FIGURE 1 – Carte du paramètre de forme ξ obtenu pour les applications locales et régionales de MEWP avec la distribution Weibull : Saison à risque (Sep-Nov) et TT4.

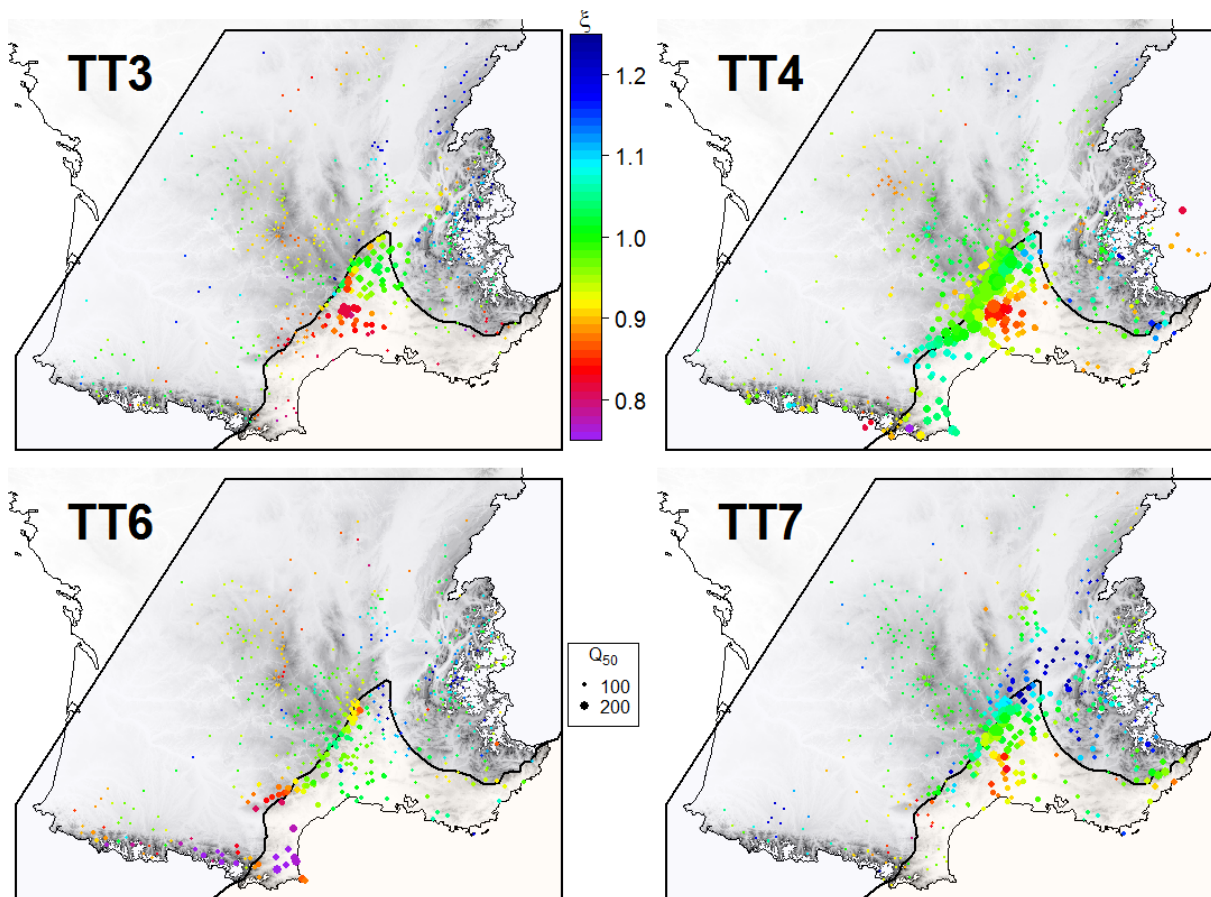


FIGURE 2 – Carte des ξ obtenus pour les applications régionales de MEWP avec la distribution Weibull : Saison à risque (Sep-Nov) et TTs 3, 4, 6 et 7.

Références

- BURN, D. H. (1990). Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach. *Water Resources Research*, 26(10):2257–2265.
- GARAVAGLIA, F., GAILHARD, J., PAQUET, E., LANG, M., GARÇON, R. et BERNARDARA, P. (2010). Introducing a rainfall compound distribution model based on weather patterns sub-sampling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(6):951–964.
- GARAVAGLIA, F., LANG, M., PAQUET, E., GAILHARD, J., GARÇON, R. et RENARD, B. (2011). Reliability and robustness of rainfall compound distribution model based on weather pattern sub-sampling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(2):519–532.
- HOSKING, J. et WALLIS, J. (2005). *Regional Frequency Analysis : An Approach Based on L-Moments*. Cambridge University Press.
- NEPPEL, L., ARNAUD, P., BORCHI, F., CARREAU, J., GARAVAGLIA, F., LANG, M., PAQUET, E., RENARD, B., SOUBEYROUX, J. et VEYSSEIRE, J. (2014). Résultats du projet Extraflo sur la comparaison des méthodes d’estimation des pluies extrêmes en France. *La Houille Blanche*, 2:14–19.
- SERINALDI, F. et KILSBY, C. G. (2014). Rainfall extremes : Toward reconciliation after the battle of distributions. *Water Resources Research*, 50(1):336–352.