

Evolution des précipitations extrêmes en France en contexte de changement climatique

Jean-Michel SOUBEYROUX¹, Luc NEPPEL², Jean-Michel VEYSSEIRE¹, Yves TRAMBLAY²,
Julie CARREAU², Viviane GOUGET¹

¹ Météo-France, Direction de la Climatologie, 42 avenue Coriolis, 31057 Toulouse Cedex

² HydroSciences Montpellier, cc MSEM, place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 5

RÉSUMÉ. – Cette communication présente une synthèse des travaux menés dans le cadre du projet ANR/Extraflo sur l'évolution des extrêmes pluviométriques en France au pas de temps journalier et infra-quotidien s'appuyant sur un jeu de données étendu de plus de 900 séries. Il a été montré qu'une majorité de séries présentait une tendance à la hausse non significative notamment en région Méditerranéenne, liée à l'occurrence de plusieurs années récentes présentant des événements extrêmes exceptionnels par rapport au reste de l'échantillon. Une piste intéressante pour caractériser ces évolutions consiste à identifier des co-variables climatiques (types de temps associés aux pluies intenses, températures moyennes, flux d'humidité) et les prendre en compte avec un modèle POT non stationnaire en climat présent ou futur. L'application de cette méthode avec des projections climatiques sous scénario A2 du GIEC laisse envisager une hausse possible des différents quantiles à l'horizon 2070.

Mots-clés : pluies extrêmes, tendances, variabilité climatique, changement climatique

Evolution of extreme rainfall in France with a changing climate

ABSTRACT. – This paper focuses a synthesis of the works led within the framework of the French project ANR/Extraflo on the evolution of the daily (and infra daily) extreme rainfall in France. An important dataset of more than 900 series was used. It was shown that a majority of series presented a not significant upward trend in particular in Mediterranean area, in relation with various recent exceptional extreme events. An interesting way to characterize this evolution consists in identifying climatic co-variables associated to heavy rainfall events (weather patterns, average temperatures, flow of humidity) and in taking into account them with a non stationary POT model. The application of this method with climatic projections under scenario A2 from IPCC could lead to a possible increase on extreme precipitation quantiles on the horizon 2070.

Key-words: extreme rainfall, trends, climate variability, climate change

I. INTRODUCTION

Dès son rapport de 2001, le GIEC soulignait qu'un climat plus chaud conduirait très probablement à un accroissement de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes. Il rajoutait en 2007 qu'une augmentation du risque de précipitations extrêmes au cours du XXI^{ème} siècle était probable. La caractérisation des tendances climatiques observées ou prévues sur les pluies intenses à l'échelle d'un territoire est un enjeu primordial pour la prévention des risques hydrologiques mais s'avère particulièrement difficile du fait de leur forte variabilité spatiale et du nombre limité de données de qualité suffisante permettant d'en rendre compte, qu'il s'agisse de séries observées ou issues de modélisation.

A l'échelle planétaire, les modèles de climat simulent une intensification du cycle hydrologique avec la hausse des températures mais son impact sur les événements extrêmes de précipitation reste difficile à évaluer tant les résultats dépendent des méthodologies employées (descente d'échelle) mais surtout des modèles eux-mêmes [Planton, 2005].

Les travaux fondés sur l'analyse des données observées n'ont considéré généralement qu'un nombre limité de séries

et se sont plus souvent focalisés sur les températures [Parey *et al.*, 2007]. On peut noter toutefois à l'échelle planétaire que le nombre de jours où les pluies ont dépassé 10 mm, a augmenté significativement depuis les années 1950 (source Met Office Hadley Centre). Cette évolution a été mise en rapport avec l'augmentation du CO₂ [Min *et al.*, 2011].

Mais les études menées à l'échelle locale ont plus de mal à confirmer ou préciser ce diagnostic qui s'avère sensible aux méthodologies mises en œuvre. En France, l'évolution des extrêmes climatiques sur le XX^{ème} siècle a été particulièrement étudiée dans le cadre du projet IMFREX du programme « Gestion et Impact du Changement Climatique » : l'analyse de près de 100 séries quotidiennes de référence (SQR) issues des travaux d'homogénéisation sur la période 1951-2000 a montré une augmentation du nombre de jours de fortes précipitations avec plus de 10 mm sur les deux tiers nord du pays [Dubuisson et Moisselin, 2006] sans trouver de tendance significative sur le maximum de précipitation journalier.

Plus récemment, l'analyse de l'évolution des extrêmes pluviométriques sur la Suisse à partir de la loi de Gumbel a montré une tendance significative à la hausse des pluies centennales [Fallot, 2011].

Les régions Méditerranéennes, particulièrement visées par l'aléa « pluies extrêmes », justifient une attention particulière des chercheurs et des organismes opérationnels. L'analyse des tendances sur les séries pluviométriques du sud de la France a montré une hausse faible sur les 40 dernières années [Pujol *et al.*, 2007] surtout sur les reliefs du pourtour méditerranéen dans le Languedoc-Roussillon. Cependant, l'indicateur sur l'évolution du nombre annuel de jours où des pluies diluviennes se produisent sur le sud-est méditerranéen de la France, mis à disposition par Météo-France sur le site de l'Observatoire National des Effets du Réchauffement Climatique (ONERC), ne montre aucune tendance sur la période 1958-2012. (<http://onerc.developpement-durable.gouv.fr/fr/indicateur/pluies-diluviennes-dans-le-sud-est-mediterraneen-de-la-france>). L'évolution des précipitations extrêmes a aussi été analysée par l'IRSTEA à partir du générateur stochastique SHYPRE [Cantet, 2009] basé sur les caractéristiques climatiques moyennes et non les valeurs extrêmes plus sensibles aux effets d'échantillonnage. L'analyse de 139 séries sur la période 1960-2003 a montré des tendances à la hausse de la fréquence des événements extrêmes sur l'ensemble de la France principalement en hiver sauf sur les régions Méditerranéennes. En Espagne, l'analyse de 64 séries journalières en Catalogne à partir d'un modèle sur les valeurs extrêmes non stationnaire [Begueria *et al.*, 2010] a mis en évidence des tendances significatives sur la période 1930-2006 limitées au pas saisonnier (baisse en hiver, hausse au printemps).

Plusieurs projets récents ont permis de constituer de nouvelles bases de données denses et de qualité de longues séries pluviométriques indispensables à l'amélioration du diagnostic sur l'évolution des extrêmes. Dans le cadre du projet ANR/Extraflo, un jeu de données de plusieurs centaines de longues séries journalières de plus de 50 ans, répondant à des critères de qualité (taux de valeurs manquantes, contrôles temporels et spatiaux) a été constitué pour l'inter-comparaison des méthodes d'estimation des pluies extrêmes [Lang *et al.*, 2013]. Par ailleurs, Météo-France a engagé une action systématique d'homogénéisation de l'ensemble des longues séries de précipitation mensuelle disponibles en France sur la période 1950-2010, permettant de sélectionner les meilleures séries quotidiennes sans données manquantes ni ruptures importantes. La prise en compte du pas de temps infra quotidien est aussi un enjeu majeur pour les décideurs mais l'information numérique disponible en France reste rare à ce jour et nécessite des actions spécifiques de digitalisation [Soubeyroux *et al.*, 2011].

Le cadre méthodologique présente aussi des évolutions récentes où l'application de la théorie des valeurs extrêmes a été élargie à des approches régionales [Pujol *et al.*, 2007] et des distributions non stationnaires [Renard *et al.*, 2006].

Cet article qui intègre des travaux menés dans le cadre du projet ANR/Extraflo dans les équipes de la Direction de la Climatologie de Météo-France et au sein du Laboratoire Hydrosociétés de Montpellier (HSM) se décompose en trois parties. La première partie décrira les nouveaux jeux de données disponibles et les exploitera pour mettre en évidence d'éventuelles tendances à partir d'une modélisation statistique classique basée sur la loi généralisée des valeurs extrêmes (GEV). La seconde partie s'appuiera sur une représentation des lois extrêmes en contexte non stationnaire et visera à rechercher des co-variables climatiques explicatives des précipitations extrêmes. La discussion finale visera à élargir la compréhension de la variabilité temporelle régionale des précipitations extrêmes en climat présent et à aborder la question de leur évolution en climat futur.

II. ANALYSE DE DONNÉES EN CONTEXTE STATIONNAIRE

II.1. Jeux de données

Dans le cadre du projet Extraflo, un jeu de données de 693 séries pluviométriques journalières sur la période 1950-2005 (Figure 1 à gauche) a été constitué à partir du regroupement de différentes séries issues d'études précédentes afin d'obtenir une base de données de longues séries de qualité la plus dense possible, notamment sur le Sud Est de la France avec :

- des SQR de Météo-France de 1951 à 2010 (séries sélectionnées satisfaisant à des critères sur le nombre de valeurs manquantes et l'absence de ruptures importantes en test d'homogénéisation)
- des séries d'EDF/DTG utilisées pour la réanalyse des précipitations en montagne [Gottardi *et al.*, 2008].
- Un complément de séries climatologiques sur l'Arc Méditerranéen issues de la base climatologique gérée par Météo-France disposant d'un minimum de valeurs manquantes et ayant subi les contrôles pour une production opérationnelle.

On note que ce jeu comprend en particulier 87 séries sur les départements côtiers de l'Arc Méditerranéen à une altitude inférieure à 500 m que l'on appellera « séries Méditerranéennes » par la suite.

Ce jeu de données a été complété par 278 nouvelles séries SQR de Météo-France (Figure 1 au centre), issues d'une action en cours d'homogénéisation sur l'ensemble du territoire. Ces séries couvrent les façades est et ouest du pays ainsi que le Nord et une partie du Centre.

Enfin, 18 séries infra quotidiennes de plus de 50 ans ont été rajoutées (Figure 1 à droite), permettant d'aborder la variabilité des précipitations extrêmes au pas de temps horaire.

II.2. Analyse fréquentielle

II.2.1. Analyse des tendances temporelles

Dans un premier temps, nous avons examiné pour nos différents jeux de données, l'évolution des maxima pluviométriques journaliers annuels avec une significativité des tendances selon le test de Mann Kendall (confiance à 95 %).

Pour le jeu SQR, les tendances à la hausse et à la baisse sont réparties de manière équilibrée et sont rarement significatives : hausse significative pour seulement 5 % des séries.

Pour le jeu Extraflo, les tendances à la hausse sont très majoritaires dans la zone d'étude (75 %) mais ne sont significatives que dans 11 % des cas. Ce sont les séries Méditerranéennes qui concentrent le maximum de séries à tendance positive (84 %) même si le taux de tendance significative reste constant autour de 10 %.

La comparaison des résultats entre jeux de données SQR et Extraflo sur une zone commune Méditerranéenne (Tableau 1 pour la région Provence-Alpes Cote d'Azur) ne permet pas de confirmer la tendance majoritaire à la hausse observée sur les séries Extraflo : la non significativité des tendances reste l'information prédominante.

Le diagnostic sur les séries au pas horaire est du même ordre que celui du jeu Extraflo : la tendance à la hausse est majoritaire (12 séries sur 18) mais rarement significative (1 seule série).

II.2.2. Evolution des quantiles issus d'une loi GEV

Le modèle GEV a été appliqué sur les maxima annuels des différentes séries SQR et Extraflo selon la formulation

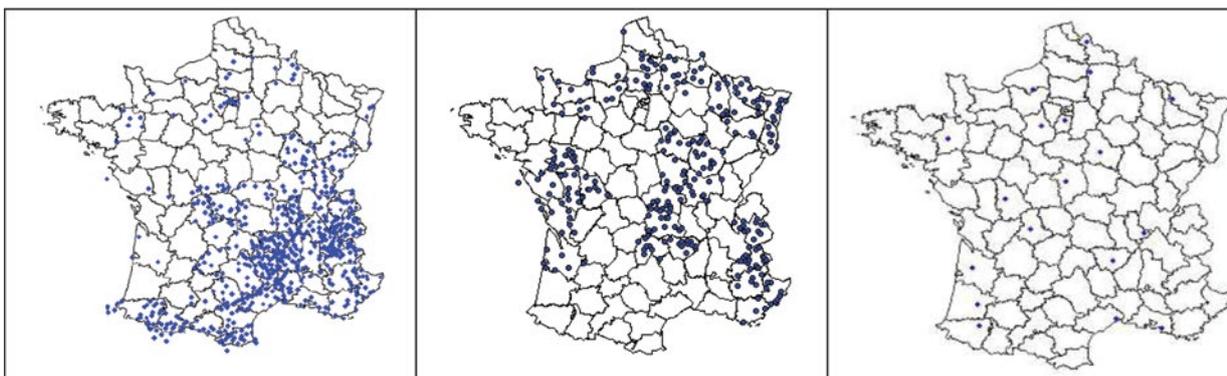


Figure 1 : Localisation des longues séries de données de précipitations utilisées dans l'étude : 693 séries journalières sur la période 1950-2005 issues du projet Extraflo (à gauche), 278 nouvelles séries SQR journalières de Météo-France sur la période 1950-2010 (au centre), 18 longues séries horaires (à droite).

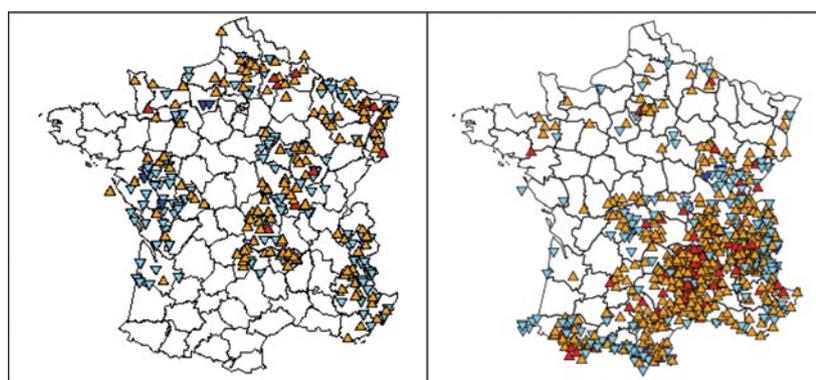


Figure 2 : Significativité des tendances (test de Mann Kendall avec une confiance à 95%) sur les maxima annuels avec les séries SQR (à gauche) et Extraflo (à droite) : rouge (hausse significative), jaune (hausse non significative), bleu clair (baisse non significative), bleu foncé (baisse significative).

Tableau 1 : Comparaison des résultats sur les tendances observées sur les maxima annuels entre les jeux de données Extraflo et SQR pour la zone Provence Alpes Côte d'Azur.

Zone Provence-Alpes du Sud	Nombre de séries	Séries en hausse (%)	Significative (test MK)
Jeu SQR	38	47,4	0 série
Jeu Extraflo	58	65,5	4 séries

classique suivante [1] et une estimation des paramètres à partir de la méthode du maximum de vraisemblance :

$$G(s) = P(X < s) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{s - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}, \text{ pour } \xi \neq 0 \quad [1]$$

$$G(s) = P(X < s) = \exp \left\{ - \left[\exp \left(\frac{s - \mu}{\sigma} \right) \right] \right\}, \text{ pour } \xi = 0$$

Avec μ paramètre de position, σ paramètre d'échelle et ξ paramètre de forme, s le quantile de durée de retour fixé.

Chacune de nos séries a été divisée en 2 échantillons de durée égale (1950-1980 et 1980-2010) sur lesquels a été

ajustée une loi GEV. La taille de l'échantillon (30 ans) permet de considérer les quantiles 10, 50 et 100 ans, conformément aux recommandations pour l'utilisation de ces lois [Lang, 2013].

On compare alors les quantiles obtenus sur les 2 échantillons de la même série, avant ou après 1980. Les résultats s'avèrent peu sensibles au quantile considéré. Pour la durée de retour centennale (voir Figure 3), les quantiles sont majoritairement plus forts sur l'échantillon postérieur à 1980, tant sur le jeu SQR que le jeu Extraflo (55 % à 60 % des séries). Des hausses importantes de plus de 20 % sont observées pour un quart des séries. La hausse du quantile centennal est légèrement plus fréquente pour les séries Méditerranéennes avec 62 % de séries à la hausse mais surtout plus marquée avec 38 % de série présentant une hausse de plus de 20 %

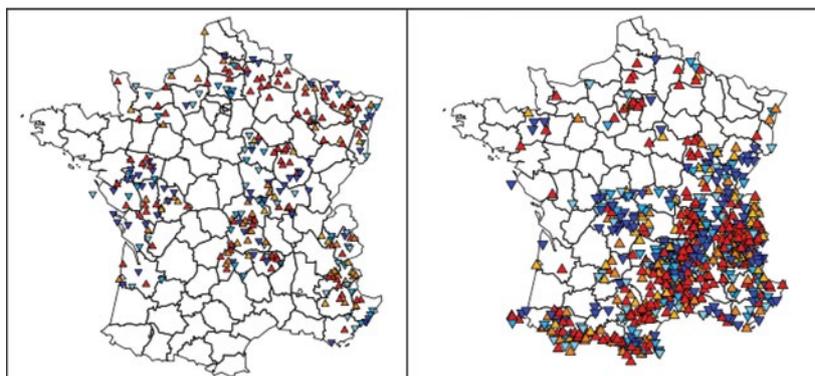


Figure 3 : Différences entre les valeurs du quantile 100 ans (Q_{100}) sur la période 1958-1983 et 1984-2010 avec les séries SQR (à gauche) et Extraflo (à droite): rouge (sup à 20 %), jaune (entre 10 et 20 %), bleu clair (entre -10 et -20 %), bleu foncé (inf à -20 %).

entre les deux échantillons. Sur les séries horaires, le ratio de tendance à la hausse pour le quantile centennal est comparable au résultat des séries journalières (10 séries à la hausse sur un total de 18).

II.2.3. Evolution des paramètres de la loi GEV

L'analyse de l'évolution des différents paramètres de la loi GEV ne montre pas de différence notable de leur distribution entre nos deux échantillons pour les séries SQR.

Pour les séries Extraflo, on note par contre une hausse de l'ordre de 10 % de la médiane du paramètre d'échelle pour la période récente. Pour les séries Méditerranéennes du jeu Extraflo, cette hausse du paramètre d'échelle est également observée et s'accompagne aussi d'une légère hausse du paramètre de localisation mais surtout du paramètre de forme.

Cette augmentation simultanée des paramètres d'échelle et de forme est aussi constatée sur les séries horaires.

III. APPROCHES ET DIAGNOSTIC EN CONTEXTE NON STATIONNAIRE

III.1. Prise en compte d'une dépendance temporelle dans la loi GEV

Ayant mis en évidence un nombre important de séries présentant des tendances dans le jeu Extraflo, nous avons testé

l'apport d'une dépendance temporelle dans les paramètres de la loi GEV.

Cette évolution a été appliquée sur les paramètres de position et d'échelle où μ devient $\mu(t) = \mu_0 + \beta_0 * t$ et σ devient $\sigma(t) = \exp(\sigma_0) * \exp(\beta_0 * t)$ avec β sont les coefficients de la régression et t la variable année centrée réduite pour laquelle nous voulons connaître le quantile associée à la durée de retour.

Pour chacune de nos séries, nous comparons le modèle stationnaire par rapport à trois modèles non-stationnaires : une dépendance temporelle de μ uniquement, une dépendance temporelle uniquement de σ , une dépendance temporelle de μ et σ . Le meilleur modèle est identifié à partir du test sur la déviance [Coles, 2001].

Le modèle stationnaire reste le modèle le plus satisfaisant pour les trois quarts des séries (voir Figure 4). Le paramètre de position μ apparaît le plus stable pour la prise en compte d'une dépendance temporelle mais ne présente de meilleure performance que le modèle stationnaire que dans 15 % des séries.

Au final, l'utilisation d'une dépendance temporelle dans les paramètres d'une loi GEV s'avère peu efficace.

III.2. Détermination de co-variables climatiques

Une autre piste classique pour expliquer la variabilité des extrêmes pluviométriques est de rechercher des co-variables climatiques [Tramblay *et al.*, 2011].

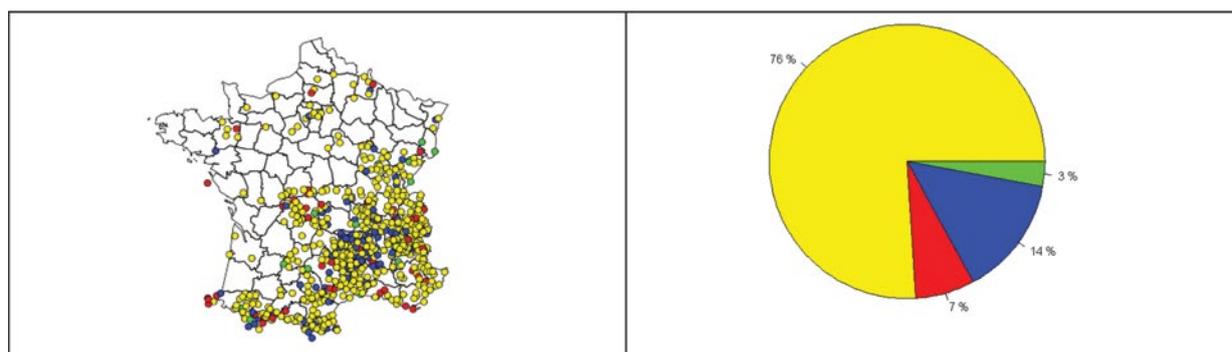


Figure 4 : Identification pour chaque série du jeu Extraflo du meilleur modèle : en jaune, le modèle stationnaire, en rouge $\sigma = \sigma(t)$, en bleu $\mu = \mu(t)$, en vert $\sigma = \sigma(t)$ et $\mu = \mu(t)$.

Dans le cadre du jeu Extraflo, 44 séries journalières du sud de la région Cévennes-Vivarais ont été sélectionnées pour constituer une région homogène en regard des précipitations extrêmes comme proposé par Pujol *et al.* [2007]. Un modèle d'ajustement des valeurs extrêmes de type Sup Seuil (POT) est utilisé pour analyser en même temps la fréquence de dépassement d'un seuil (loi de Poisson) et l'intensité des pluies extrêmes (loi de Pareto Généralisé) [Coles, 2001]. Les expressions des lois sont rapportées dans le tableau ci-dessous.

Pour les distributions GP : α est le paramètre d'échelle, κ est le paramètre de forme et q_0 le seuil fixé ici à 100 mm.

L'évaluation de l'apport de chaque co-variable climatique suivante est appliquée sur les variables λ et α à partir de modèle de dépendance log-linéaire. Le test sur la déviance détermine le meilleur modèle :

- la classification par types de temps [Paquet *et al.*, 2006] développée par EDF. Deux situations WP7 (« dépression centrale ») et WP4 (« circulation de sud ») associées aux événements pluvieux intenses, ont été prises en compte en termes d'anomalie saisonnière de fréquence sur la période 1958-2008.

- Différents paramètres de surface (température, pression mer) et de basse couche (humidité) issus de la réanalyse NCEP/NCAR en résolution 2,5° ont été extraits sur la zone Méditerranéenne. Le flux d'humidité (FHUM) au-dessus de la mer a été identifié dans des études précédentes comme le meilleur prédicteur. Il est calculé comme le produit de la composante sud ouest du vent avec l'humidité spécifique à 850 hPa et 925 hPa.

- L'indice de l'Oscillation Méditerranéenne MO [Conte *et al.*, 1989], différence normalisée de pression mer entre Alger et Le Caire, est considérée comme le mode régional de grande échelle influençant le plus les fortes précipitations méditerranéennes.

- La température de la mer issue de la réanalyse NOAA-NCDC à résolution 2,5° étendue (ERSST) a été prise en compte pour les points de grille correspondant au Golfe du Lion. Des études ont montré l'importance des anomalies chaudes dans l'occurrence des événements pluvieux intenses [Funatsu *et al.*, 2009].

Au final, le meilleur modèle s'avère être le modèle non stationnaire où λ dépend de la fréquence du type de temps représentant un flux de sud à est (WP4) et α dépend de la température de l'air mensuelle.

III.3. Application en climat futur

L'utilisation d'un modèle fréquentiel non stationnaire basé sur des co-variables climatiques est particulièrement adapté en climat futur avec les projections climatiques du GIEC, sur la simple hypothèse de la persistance de la relation entre les co-variables et les événements de pluie extrême [Tramblay *et al.*, 2013].

Il a été montré qu'une augmentation possible de +16 % des situations synoptiques favorables aux événements de pluies intenses prévisibles à l'horizon 2070-2099 selon le scénario A2 [Ricard *et al.*, 2009] pouvait être associée à une hausse des températures de l'air et de la mer entre +2 et +3,5°C. La prise en compte de cette évolution dans le modèle POT précédent non stationnaire (Figure 5) conduit

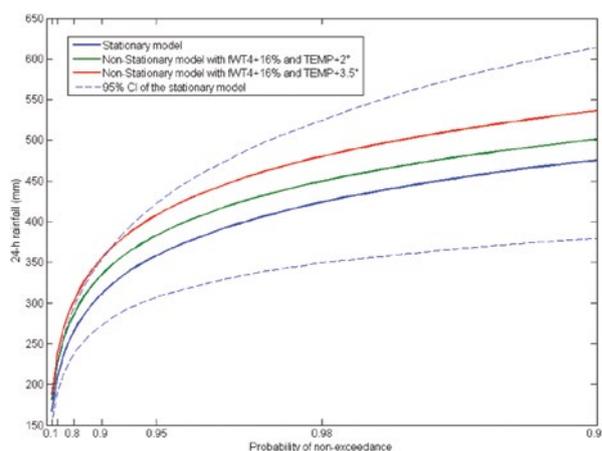


Figure 5 : Quantiles correspondant à la probabilité de non-dépassement de 0,1 à 0,99 obtenus avec un modèle POT stationnaire et 2 modèles non stationnaires selon différentes hypothèses d'évolution de la fréquence des flux de sud à est en Méditerranée et de hausse des températures moyennes [Tramblay *et al.*, 2013].

à une hausse des quantiles par rapport à un modèle stationnaire entre 9 % (hypothèse hausse de +2°C) et 16 % (hypothèse hausse de +3,5°C). Cette augmentation reste cependant comprise dans la gamme d'incertitude du modèle fréquentiel sur la période actuelle et rend ces projections non significatives.

IV. DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Une analyse des tendances observées sur les précipitations extrêmes en France a été conduite sur un jeu de données remarquable tant en termes de quantité (plus de 900 stations) que de qualité (séries expertisées de plus de 50 ans, nombreuses SQR). Il en ressort d'abord qu'aucune tendance significative du point de vue statistique ne se dégage au sens du test de Mann Kendall.

Le jeu de données Extraflo, concernant majoritairement le quart Sud Est du pays (période 1948-2009) présente une forte proportion de séries ayant une tendance à la hausse, avec des conséquences induites sur le calcul des quantiles par une loi GEV selon la période prise en compte. Mais ce résultat n'est pas confirmé avec les nouvelles séries SQR de Météo-France (période 1955-2010).

Cette différence de diagnostic pourrait être liée à un effet d'échantillonnage sur des séries locales présentant une forte variabilité inter-annuelle. La caractérisation spatio-temporelle de cette variabilité apparaît comme un élément principal de compréhension de l'évolution des extrêmes pluviométriques. A cet effet, des séries régionales de pluies maximales journalières annuelles normalisées ont été construites (ratio pour chaque série du maximum journalier annuel et de la moyenne des cumuls annuels): une

$F(n) = \exp^{-\lambda} \frac{\lambda^n}{n!}$	$F(q) = 1 + \left(1 - k \frac{q - q_0}{\alpha}\right)^{-1/k} \quad k \neq 0$
Loi de Poisson	Loi Pareto Généralisé (GP)

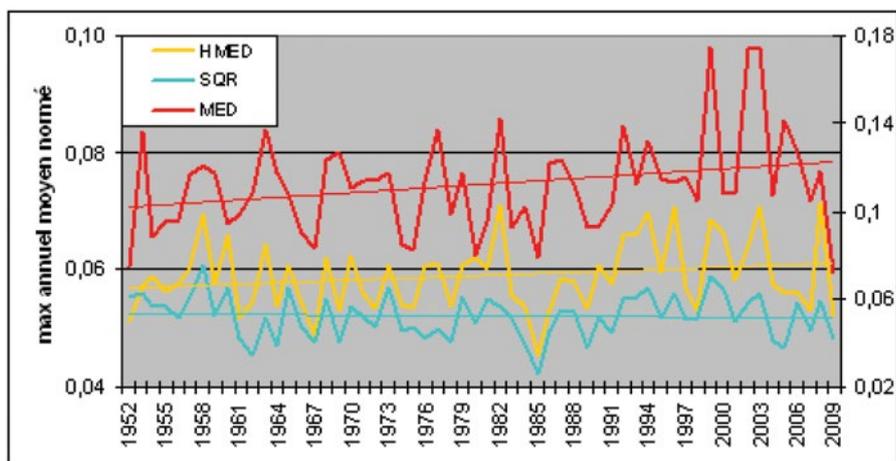


Figure 6 : Evolution temporelle de séries régionalisées de maximum annuel journalier normé sur la période 1952-2009 et tendance linéaire : Méditerranée (rouge), Hors Méditerranée (jaune), SQR (bleu).

série Méditerranée issue (MED) du jeu Extraflo (87 séries), une série Hors Méditerranée (HMED) avec le reste des séries Extraflo (606) et une série SQR (216). La Figure 6 illustre la variabilité temporelle de ces séries sur la période 1952-2009, avec une échelle adaptée entre la série MED et les deux autres. Sur la série MED, 3 années récentes (1999, 2002 et 2003) ont connu des valeurs exceptionnelles qui justifient la tendance observée. Sur la série HMED, on ne retrouve pas d'années hors normes mais sur les 9 années de valeur moyenne plus forte, 8 se situent après 1980. La série SQR, bien corrélée à la série HMED (0,74), ne présente pour sa part aucune tendance (année plus forte en 1958) mais plutôt une variabilité dans la gamme décennale. L'utilisation de la technique d'analyse spectrale SSA (Singular Spectrum Analysis) [Vautard *et al.*, 1992] confirme un signal périodique faible de fréquence comprise entre 10,5 et 11,8 ans sur la série SQR et HMED et légèrement inférieur à 5 ans pour la série MED.

Au final, le diagnostic sur une évolution à la hausse des précipitations extrêmes en France reste difficile à démontrer (en climat présent comme en climat futur) et reste dépendant des données et méthodes mises en œuvre. Parmi ces dernières, les approches régionales utilisant des co-variables climatiques paraissent particulièrement intéressantes car elles s'appuient sur la compréhension de la dynamique climatique. Ces résultats seront à approfondir dans les prochains mois avec d'une part la disponibilité d'un jeu complet de SQR sur la France et les nouvelles projections climatiques produites pour le 5^e rapport du GIEC.

V. REFERENCES

- BEGUERIA S., ANGULO-MARTINEZ M., VICENTE-SERRANO M., LOPEZ-MORENO J. I., AND EL-KENAWY H. (2010) — Assessing Trends In Extreme Precipitation Events Intensity And Magnitude Using Non-Stationary Peaks-Over-Threshold Analysis: A Case Study In Northeast Spain From 1930 to 2006., doi10.1002/joc.2218. *Int. J. Climatol*
- CANTET P. (2009) — *Impacts du changement climatique sur les pluies extrêmes par l'utilisation d'un générateur stochastique de pluies*, Thèse de Doctorat de l'université de Montpellier 2
- COLES G. S. (2001) — *An Introduction To Statistical Modeling Of Extreme Value*, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany
- CONTE M., GIUFFRIDA A., AND TEDESCO S. (1989) — The Mediterranean Oscillation. Impact On Precipitation And Hydrology In Italy Climate Water. *Publications of The Academy of Finland, Helsinki*
- DUBUISSON B., MOISSELIN J.-M. (2006) — Evolution des extrêmes climatiques en France à partir des séries observées. *La Houille Blanche*. **6** : 42-47
- FALLOT J.-M. (2011) — Efficacité des analyses de Gumbel pour déterminer les précipitations journalières extrêmes en Suisse. *Actes Du XXIV^e Colloque de l'AIC*, 2011. 243-248
- FUNATSU B.M., CLAUD C., AND CHABOUREAU J.P. (2009) — Comparison Between the Large-Scale Environments of Moderate and Intense Precipitating Systems in the Mediterranean Region, Doi:10.1175/2009mwr2922.1. *Mon. Weather Rev.* **137** : 3933-3959
- GOTTARDI F., OBLED C., GAILHARD J., PAQUET E. (2008) — Régionalisation des précipitations sur les massifs montagneux français à l'aide de régressions locales calées et par types de temps. *Climatologie*. **5** : 7-25
- LANG M., ARNAUD P., AUBERT Y., RENARD B., SAUQUET E., KOCHANEK K., CIPRIANI T., LATAPIE A., TERRIER B., PAQUIER A., SOUBEYROUX J.M., VEYSSEIRE J.M., BORCHI F., FANTIN R., PAQUET E., GARAVAGLIA F., BERNADARA P., NEPPEL L., CARREAU J., TRAMBLAY Y. (2013) — *ANR projet Extraflo, Rapport V « Domaines d'application des méthodes de prédétermination des pluies et crues extrêmes »*. 1-30
- MIN S.-K., ZHANG, X, ZWIERS F.W., HEGERI G.-C. (2011) — Human contribution to more intense Precipitation extremes, Doi10.1038/nature09763. *Nature*. **470** : 378-381
- PAQUET E., GAILHARD J., GARÇON R. (2006) — Evolution de la méthode du Gradex : approche par type de temps et modélisation hydrologique. *La Houille Blanche*. **5** : 80-90
- PAREY S., MALEK F., LAURENT C., DACUNHA-CASTELLE D. (2007) — Trends and climate evolution: statistical approach for very high temperatures in France. *Clim chang.* **81(3)** : 331-352
- PLANTON S., DEQUE M., DOUVILLE H., SPAGNOLI B. (2005) — Impact du réchauffement climatique sur le cycle hydrologique. *Cr Geoscience*. **337** : 193-202
- PUJOL N., NEPPEL L., SABATIER R. (2007) — Approche régionale pour la détection de tendance dans les séries de précipitation de la région méditerranéenne française. *Cr Geoscience*. **339** : 651-658
- RENARD B., LANG M., BOIS P. (2006) — Statistical analysis of extreme events in a nonstationary context via a Bayesian framework. Case study with peak-over-threshold data. *Stochastic environmental research and risk assessment*. **21** : 97-112

- RICARD D., BEULANT A.L., BOE J., DEQUE M., DUCROCQ V., JOLY A., JOLY B., MARTIN E., NUISSIER O., QUINTANA-SEGUI P., RIBES A., SEVAULT F., SOMOT S. (2009) — Projet Cyprim, partie II: Impact du changement climatique sur les événements de pluie intense du bassin méditerranéen. *La Météorologie*. **67** : 19-30
- SOUBEYROUX J.-M., BORCHI F., COLOMBON N., BAILLON M., VEYSSEIRE JM, JOURDAIN S., GIBELIN AL, AUFRAY A. (2011) — Valorisation de la digitalisation des séries pluviographiques anciennes : apport pour l'estimation des pluies extrêmes en France. *La Houille Blanche*. **5** : 12-19
- TRAMBLAY Y., NEPPEL L., CARREAU J. (2011) — Climatic covariates for the frequency analysis of heavy rainfall events in the Mediterranean region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. **11** : 2463-2468
- TRAMBLAY Y., NEPPEL L., CARREAU J., NAJIB K. (2013) — Non-stationary frequency analysis of heavy rainfall events in Southern France. *Hydrological Sciences Journal*. **58(2)** : 280-294
- VAUTARD R., YIOU P., GHIL M. (1992) — Singular Spectrum Analysis: A Toolkit For Short, Noisy Chaotic Signals. *Physica*. **D58** : 95-126