

Etude des températures extrêmes dans les villes de Paris et Toulouse

Raphaël PINAULT, Eric TADANDJOA KOLANI

1 Introduction

L'évolution des températures extrêmes constitue un sujet d'intérêt majeur dans le contexte actuel du changement climatique. Dans cette optique, notre étude se concentre sur l'analyse des pics de chaleur dans deux grandes métropoles françaises, Paris et Toulouse. L'objectif principal est d'évaluer si ces pics de chaleur ont connu une augmentation significative au cours du dernier siècle, ce qui pourrait avoir des implications importantes dans divers domaines.

2 Description de la base de données

Les données de l'étude proviennent du site de l'ECAD et sont de nature journalière. Nous récupérons les pics de chaleur annuels, avec des données disponibles pour Toulouse de 1947 à 2024 et pour Paris de 1921 à 2024. Les années où les données sont manquantes sont exclues de l'analyse. Pour une comparaison des résultats entre les deux villes, nous avons restreint l'étude à la même période, du 1er janvier 1949 au 31 décembre 2020, où les données étaient disponibles pour les deux villes.

3 Méthodologie

Notre approche se concentre sur l'analyse des températures extrêmes, incluant à la fois les valeurs chaudes et froides. Nous appliquons différentes techniques de modélisation des valeurs extrêmes, notamment le modèle FGEV (Generalized Extreme Value Distribution), le modèle FPOT (Peak Over Threshold). Dans un premier temps, nous avons choisi d'analyser les données sur des périodes annuelles. Par la suite, nous prévoyons de comparer ces résultats avec une analyse basée sur des périodes mensuelles, notamment dans le cas du modèle FGEV. Pour le modèle FPOT, nous déterminons un seuil à partir de graphiques tels que le Mean Residual Life Plot et celui basé sur la stabilité des paramètres. Nous retenons un intervalle restreint de valeurs seuil, puis estimons plusieurs modèles. Ensuite, nous vérifions l'adéquation des modèles à l'aide de graphiques de quantiles (qq-plot) et retenons le meilleur modèle. Les tests de rapport de vraisemblance et la comparaison d'IAC sont réalisés entre différents modèles emboîtés. Nous analysons également l'effet de la tendance dans les variations des températures extrêmes au fil du temps.

4 Analyse exploratoire

Le tableau suivant présente les informations sur la distribution de la variable température sur nos deux villes sur la période d'étude.

TABLE 1 – Statistiques des températures

	Min	Max	Moyenne
Paris	-10,8	41,9	15,5
Toulouse	-9,6	40,7	18,2

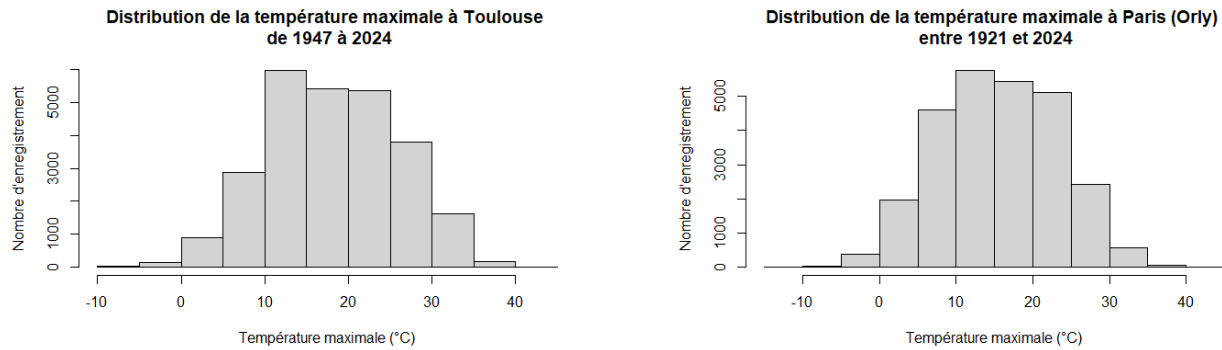


FIGURE 1 – Histogramme des températures dans les villes de Toulouse et Paris

La distribution de la température semble être normale. Les résultats du test de Wilcoxon confirment la significativité statistique de la différence de distribution entre ces deux séries annuelles au seuil de 1%. L'analyse descriptive montre que sur la ville de Paris, la température moyenne est de 15,5 degrés, avec une température maximale enregistrée de 41,9 degrés et une température minimale de -10,8 degrés. Concernant la ville de Toulouse, la température moyenne est de 18,2 degrés, avec une température maximale de 40,7 degrés et une température minimale de -9,6 degrés.

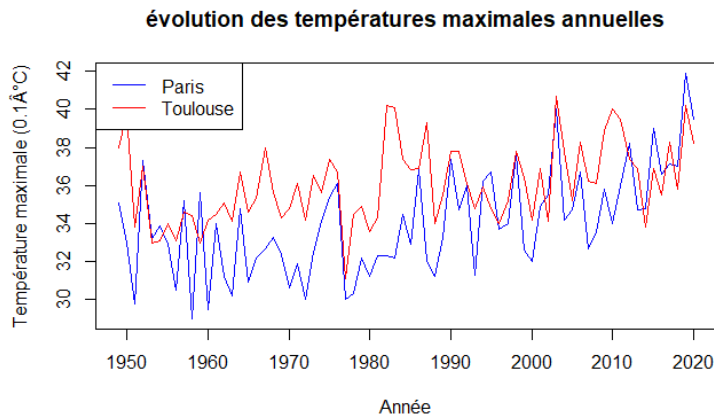


FIGURE 2 – Courbe des températures entre les villes de Toulouse et Paris

Une première approche visuelle, nous laisserait penser que les pics de températures sont en hausse dans ces deux grandes villes sur ces 70 dernières années. Nous remarquons des températures chaudes plus élevées et des températures froides moins négatives.

5 Modélisation des températures maximales

Nous avons réalisé l'estimation des modèles GEV, où nous estimons par maximum de vraisemblance les paramètres d'une distribution généralisée des valeurs extrêmes et POT, où nous estimons les paramètres d'une distribution pareto généralisé permettant de modéliser les valeurs excédant un seuil défini. Ces deux approches seront

comparées l'une à l'autre. Plusieurs modèles emboîtés ont été testés pour chaque type de modèle. En ce qui concerne le modèle GEV nous avons estimé le modèle de base. Suite à une inspection visuelle des intervalles de confiance profilés des paramètres, si l'un des paramètres semble être proche de 0, nous réalisons un second modèle en imposant la restriction que ce dernier soit nul. Enfin nous avons regardé si ces maximaux dépendent du temps en incorporant une composante temporelle. Nous avons sélectionné le modèle final parcimonieux en nous basant sur le test du rapport de vraisemblance ainsi que sur le critère de l'AIC (Critère d'Information d'Akaike). La significativité des paramètres a été évaluée à l'aide du test de Wald pour chaque paramètre, avec les valeurs entre parenthèses représentant les écarts types estimés des paramètres.

TABLE 2 – Paramètres pour les modèles de Toulouse

	Modèle GEV	Modèle POT
Localisation	-41.64 (20.60)	
Tendance	3.88** (1.04)	
Echelle	1.75** (0.16)	1.91*** (0.27)
Forme	-0.16 (0.076)	-0.31** (0.11)

TABLE 3 – Paramètres pour les modèles de Paris

	Modèle GEV	Modèle POT
Localisation	-109.1*** (25.2)	
Tendance	7.16*** (1.27)	
Echelle	1.89*** (0.20)	2.15*** (0.34)
Forme	-0.07 (0.12)	-0.20 (0.11)

Concernant le modèle POT, nous avons fixé le seuil à 34.8 °C pour la ville de Paris et à 36 °C pour la ville de Toulouse. Ces seuils ont été choisis à la suite d'une analyse visuelle des graphiques du "Mean Residual Life Plot" ainsi que de ceux basés sur la stabilité des paramètres. Nous avons sélectionné la température maximale assurant une stabilité dans les paramètres.

6 Qualité de la modélisation

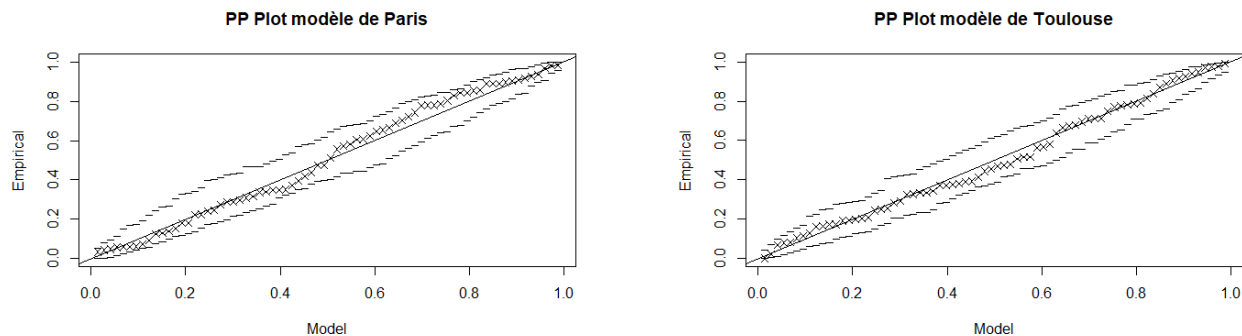


FIGURE 3 – PP plot pour les deux modèles GEV retenus

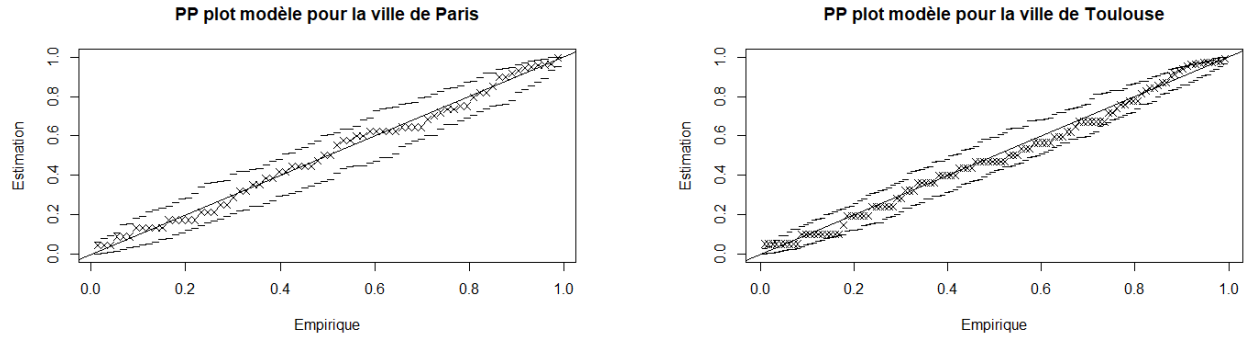


FIGURE 4 – PP plot pour les deux modèles POT retenus

Pour évaluer la qualité du modèle, nous examinons le PP plot. Les quantiles empiriques sont représentés sur l’axe des ordonnées, tandis que ceux du modèle sont sur l’axe des abscisses. Nous constatons que les paires de points ordonnés formées par ces quantiles semblent alignées le long de la bissectrice, suggérant une bonne concordance entre les distributions. De plus, tous ces points semblent être inclus dans leurs intervalles de confiance respectifs. Sur la base de ces observations, nous retenons ces modèles pour la poursuite de notre analyse.

7 Analyse comparative des résultats

Paramètre de centralité : à Paris, le paramètre de localisation pour le modèle GEV est estimé à -109.1 pour la partie fixe et 7.16 pour la partie mobile, tandis qu’à Toulouse, il est estimé à -41.64 et 3.88 pour la partie mobile. Cela suggère que les températures maximales annuelles sont généralement plus élevées à Paris qu’à Toulouse. Les écarts types indiquent une variabilité similaire dans la distribution des valeurs extrêmes entre les deux villes. Le paramètre de tendance étant positif cela suggère une augmentation des températures extrêmes au fil du temps dans les deux villes avec une augmentation plus marquée des températures extrêmes à Paris.

Paramètre d’échelle : le paramètre d’échelle indique une dispersion similaire des températures extrêmes dans les deux villes ($1,75$ pour Toulouse et $1,85$ pour Paris). Avec le modèle POT, ce paramètre reste sensiblement identique, bien qu’il soit légèrement plus élevé.

Paramètre de forme : on peut observer que pour le modèle GEV de Paris, le paramètre de forme n’est pas significatif, devenant significatif uniquement au seuil de 10% pour le modèle POT. En revanche, pour la ville de Toulouse, le paramètre de forme est significatif pour les deux modèles. Lorsqu’il est significatif, la valeur négative du paramètre de forme suggère une queue de distribution plus légère que la distribution normale, ce qui implique que les événements extrêmes restent rares et les valeurs sont bornées.

8 Interprétation du modèle : le niveau de retour

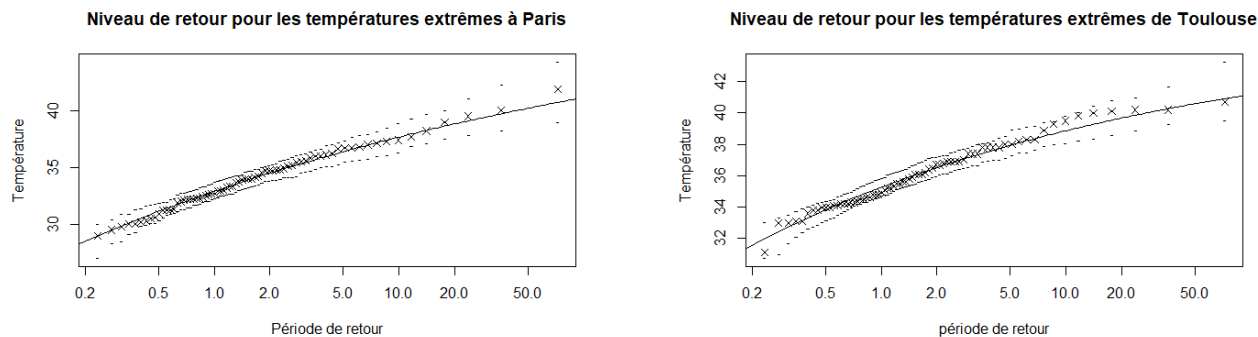


FIGURE 5 – Niveau de retour des températures extrêmes avec le modèle GEV

À Paris, les extrêmes de chaleur surviennent moins fréquemment, avec des pics de température de 35 degrés tous les cinq ans, 43.4 degrés tous les dix ans, et 43.6 degrés tous les vingt ans. En revanche, à Toulouse, les températures extrêmes sont plus régulières, atteignant 42.4 degrés tous les cinq ans, 42.5 degrés tous les dix ans et 42.6 degrés tous les vingt ans. Nous remarquons que Toulouse connaît des pics de chaleur moins accentués par rapport à sa moyenne. Alors qu'à Paris les pics sont beaucoup plus marqués.

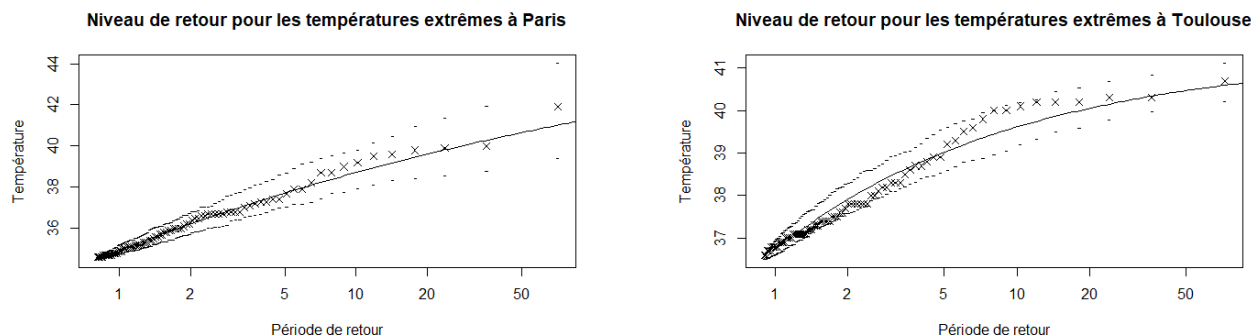


FIGURE 6 – Niveau de retour des températures extrêmes avec le modèle POT

Le modèle POT semble prédire des valeurs légèrement plus élevées. Toutefois, nous retrouvons les mêmes remarques : les pics sont plus sévères à Paris et moins fréquents, tandis qu'à Toulouse, nous observons des valeurs élevées plus souvent, mais les extrêmes ne sont pas aussi élevés qu'à Paris.

9 Conclusion

Notre étude sur l'évolution des températures extrêmes à Paris et Toulouse au cours du dernier siècle révèle des tendances significatives. Les analyses des modèles GEV et POT indiquent une augmentation des températures maximales annuelles, avec des pics de chaleur plus fréquents et plus intenses à Paris par rapport à Toulouse.