

# EVOLUTION PASSÉE ET FUTURE DES VAGUES DE CHALEUR EN FRANCE

Michel SCHNEIDER <sup>1</sup>, Lola CORRE <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Météo-France, Direction de la Climatologie et des Services Climatiques, 42 avenue Coriolis, Toulouse France ([michel.schneider@meteo.fr](mailto:michel.schneider@meteo.fr))

<sup>2</sup> Météo-France, Direction de la Climatologie et des Services Climatiques, 42 avenue Coriolis, Toulouse France ([lola.corre@meteo.fr](mailto:lola.corre@meteo.fr))

**Résumé:** Une méthode d'identification et de caractérisation des vagues de chaleur sur la base des températures moyennes quotidiennes observées a été progressivement développée et enrichie depuis 2006. Elle permet aujourd'hui de comparer les caractéristiques des épisodes historiques (date d'occurrence, durée, intensité maximale et sévérité) à différentes échelles spatiales (nationale, régionale, départementale et locale). Par ailleurs, cette méthode appliquée en climat futur aux simulations climatiques EURO-CORDEX permet d'estimer les évolutions des vagues de chaleur en fonction des horizons et scénarios considérés. L'étude montre à quel point la fréquence, la durée, l'intensité, la sévérité et la période calendaire de survenue des épisodes augmentent de manière extrêmement préoccupante.

**Mots-Clés :** Vague de chaleur, Simulation climatique

## Introduction

L'Europe a toujours en mémoire la vague de chaleur exceptionnelle l'ayant touchée en août 2003, occasionnant sur la seule France près de 15000 décès supplémentaires. Une nouvelle vague de chaleur est survenue dans le pays en juillet 2006. S'est alors posée la question de savoir comment se situait 2006 par rapport à 2003. Quelle avait été la plus longue des deux ? Quelle avait été la plus sévère des deux ? Il n'existe pas de définition universelle des vagues de chaleur. De ce fait et des questions précédentes est née la définition d'une méthode d'identification et de caractérisation des vagues de chaleur, méthode s'appuyant sur la température moyenne quotidienne et sur la distribution de ce paramètre sur une période de référence. L'approche permet alors de comparer les événements et leurs nombres annuels d'occurrences à différentes échelles spatiales : nationale, régionale, départementale et locale.

Dans le contexte de changement climatique, la méthode a été mise en œuvre sur des simulations climatiques, permettant d'analyser les évolutions de ces vagues de chaleur en fonction des différents scénarios et pour différents horizons futurs. Tout cela dans une approche multi-modèles qui fournit les éléments indispensables pour appréhender l'incertitude des diagnostics.

## 1. Identifications des vagues de chaleur

### 1.1. Données utilisées pour l'analyse historique

Une caractéristique commune à toutes les vagues de chaleur est d'observer des températures extrêmement chaudes en journée, mais aussi particulièrement chaudes la nuit. Le choix a donc été fait d'utiliser comme variable la température moyenne quotidienne calculée à partir des températures minimales et maximales :  $TM=(TN+TX)/2$ . Selon l'échelle spatiale étudiée, cette température moyenne quotidienne peut être issue d'une station d'observation, mais il est généralement plus intéressant d'élaborer les diagnostics à des échelles plus étendues et d'utiliser pour ce besoin des « indicateurs thermiques ». On entend ici par indicateur thermique une température moyenne quotidienne « agrégée » sur un domaine, l'agrégation pouvant se faire en moyennant diverses stations d'observation ou en moyennant les points de grille d'une spatialisation préalable. A l'échelle de la France, la température agrégée s'appuie sur trente stations d'observation réparties le plus équitablement possible sur le territoire, disponibles sans fortes ruptures d'homogénéité depuis 1947. Aux échelles régionales et départementales,

la température agrégée est construite à partir d'une spatialisation préalable des températures minimales et maximales quotidiennes observées puis en moyennant tous les points de grille du domaine traité.

## 1.2. Méthode mise en œuvre

Il n'existe pas de définition universelle d'une vague de chaleur. Dans le cas présent, les vagues de chaleur ont été considérées comme des températures remarquablement chaudes durant une période donnée. Les vagues de chaleur ont donc été vues comme des « objets » possédant certaines caractéristiques que l'on peut comparer entre elles:

- un début, une fin et donc une durée et une position calendaire ;
- une température atteinte au plus fort de l'événement, dite intensité maximale;
- un cumul de chaleur perçue sur la durée de l'épisode, dit sévérité.

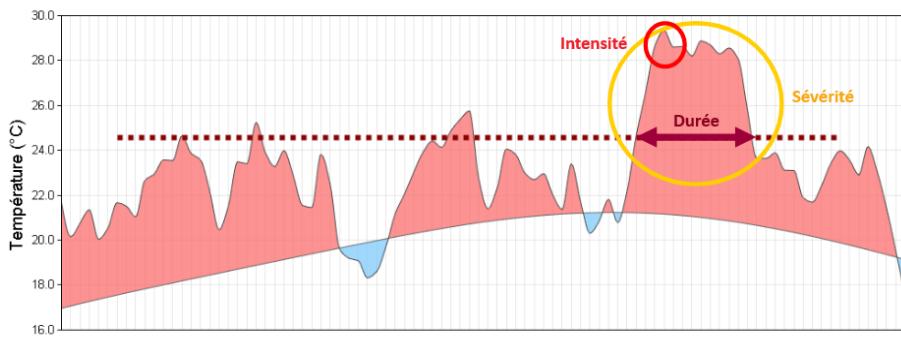


Figure 1. Caractéristiques d'une vague de chaleur : début, fin et donc durée, intensité et sévérité.

Pour identifier une vague de chaleur dans une série de températures, trois seuils déduits de la distribution sur une période de référence des températures quotidiennes sont utilisés:

- le percentile 99.5 (Spic) permettant de détecter l'existence d'une vague de chaleur dès lors qu'il est franchi ;
- les percentiles 97.5 (Sdeb) et 95.0 (Sint) permettant d'identifier le début et la fin de l'épisode, période durant laquelle la température ne descend pas deux jours consécutifs en dessous du percentile 97.5 ou ne descend pas une journée sous le percentile 95.0.

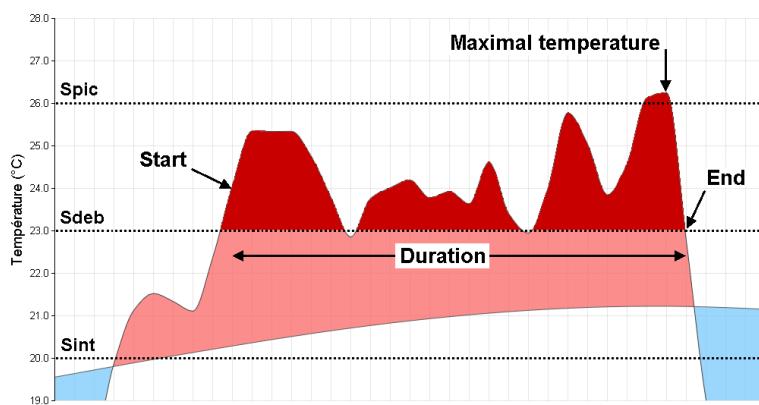
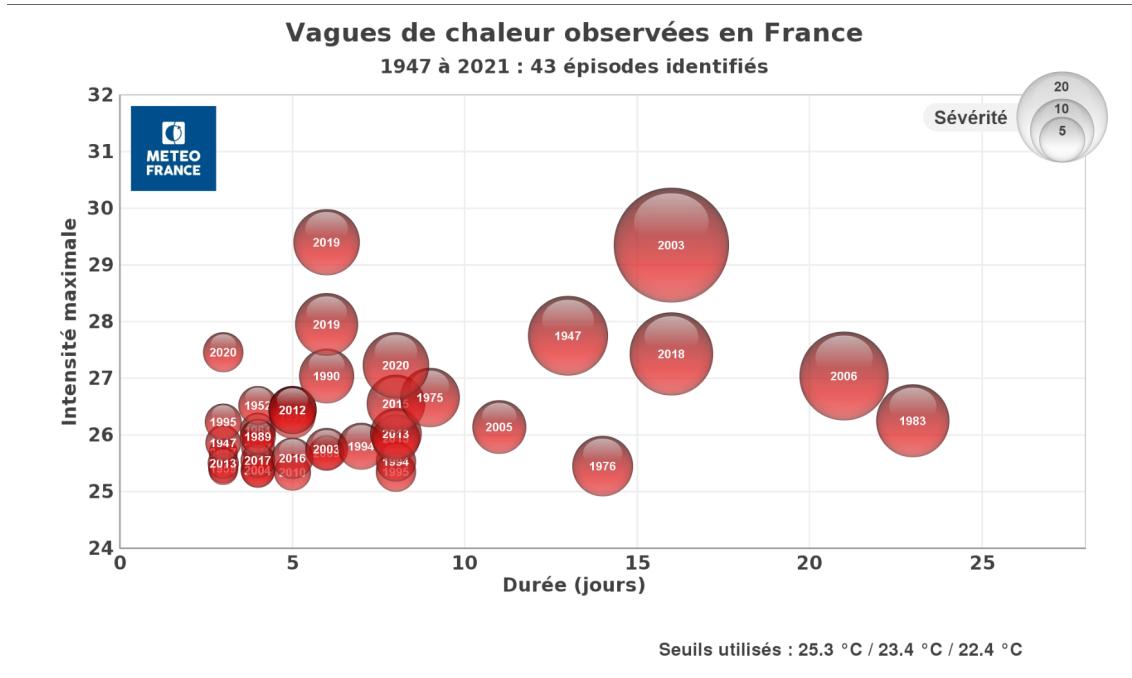


Figure 2. Exemple d'utilisation des seuils pour l'identification et la caractérisation d'une vague de chaleur. La sévérité est le cumul des degrés au dessus de Sdeb sur la durée de l'épisode.

### 1.3. Diagnostic en climat passé

La méthode, appliquée à l'indicateur thermique France, température moyenne quotidienne de 30 stations métropolitaines, permet d'identifier quarante-trois vagues de chaleur de 1947 à 2021. A noter que ne sont retenus ici que les épisodes d'au moins trois jours. Il est intéressant de noter que ne sont recensés que dix épisodes sur la première demie période, les trente-sept années de 1947 et 1983 tandis que trente-trois épisodes sont identifiés sur la demie période plus récente, les trente-huit années de 1984 à 2021. La fréquence des vagues de chaleur s'est donc multipliée par trois entre ces deux périodes, traduisant déjà des effets du changement climatique.



**Figure 3.** Vagues de chaleur recensées sur la France de 1947 à 2021. La surface d'une sphère est proportionnelle à la sévérité de l'épisode. On utilise ici une sévérité dite «normalisée» car divisée par la différence entre les percentiles 99.5 et 97.5.

**Tableau 1.** Exemple des caractéristiques calculées pour trois vagues de chaleurs parmi celles identifiées en France

Début	Fin	Durée (jours)	Intensité (°C)	Sévérité (°C)	Sévérité «normalisée»
2003/08/02	2003/08/17	16	29.352	59,374	31.973
2006/07/10	2006/07/30	21	27.043	35.382	19.053
2019/07/21	2019/07/26	6	29.402	19.554	10.530

### 2. Evolution des vagues de chaleur en climat futur

#### 2.1. Données utilisées pour le climat futur et mise en œuvre de la méthode

La méthode précédemment décrite a été mise en œuvre en utilisant comme données d'entrée les températures quotidiennes émanant de simulations climatiques. Les simulations climatiques utilisées correspondent à dix couplages de modèles climatiques globaux (GCM) avec des modèles climatiques

régionaux (RCM), bénéficiant d'une correction des biais (Verfaillie D. et al., 2017). Pour chaque trio simulation-scénario-horizon, les températures quotidiennes en points de grille on ensuite été agrégées en moyennant les points de grille du domaine traité, afin de disposer d'un indicateur de température moyenne quotidienne par domaine.

**Tableau 2.** Liste des simulations climatiques utilisées.

Institution	GCM	RCM
CNRM	CNRM-CM5	Aladin63
CLMcom	MPI-ESM	CCLM4-8-17
SMHI	EC-EARTH	RC4A
IPSL	IPSL-CM5A	WRF381P
CSC	MPI-ESM	REMO2009
CLMcom	HadGEM2	CCLM4-8-17
KNMI	EC-EARTH	RACMO22E
SMHI	IPSL-CM5A	RC4A
KNMI	CNRM-CM5	RACMO22E
DMI	Nor-ESM1	HIRHAM5 v3

Pour chaque couple GCM-RCM, les percentiles 99.5, 97.5 et 95.0 de température moyenne quotidienne ont été préalablement calculés sur la période de référence 1976-2005. A partir de là ont pu être recensées les vagues de chaleur vues par chaque simulation climatique sur cette même période de référence, mais aussi sur chacun des horizons (périodes de 30 ans futures) proche (2021-2050), moyen (2041-2070) et lointain (2071-2100) et pour chacunes des trajectoires RCP4.5 et RCP8.5. Les évolutions ont été ensuite étudiées sous divers angles :

- pour une simulation donnée et un scénario RCP donné, comparaison des vagues de chaleur simulées sur la période de référence et les différents horizons.

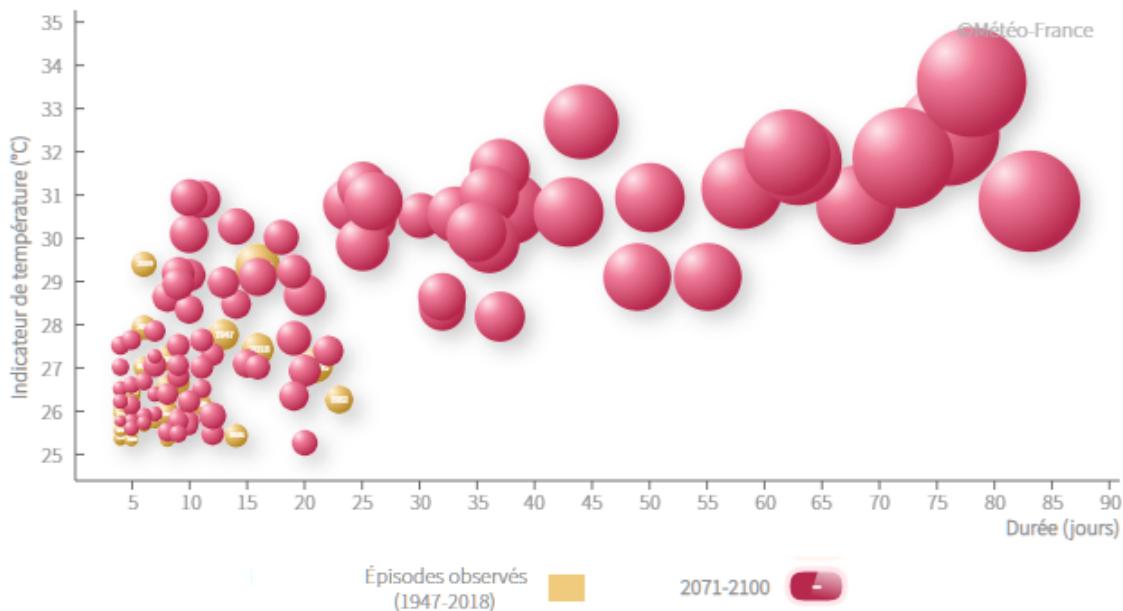
- pour une simulation donnée et un horizon donné, comparaison des vagues de chaleur simulées sur la période de référence et l'horizon donné pour différents RCP.

Par ailleurs une approche multi-modèles a été mise en œuvre afin d'appréhender les incertitudes liées aux différentes simulations climatiques.

## 2.2. Diagnostic en climat futur et comparaison avec le climat récent

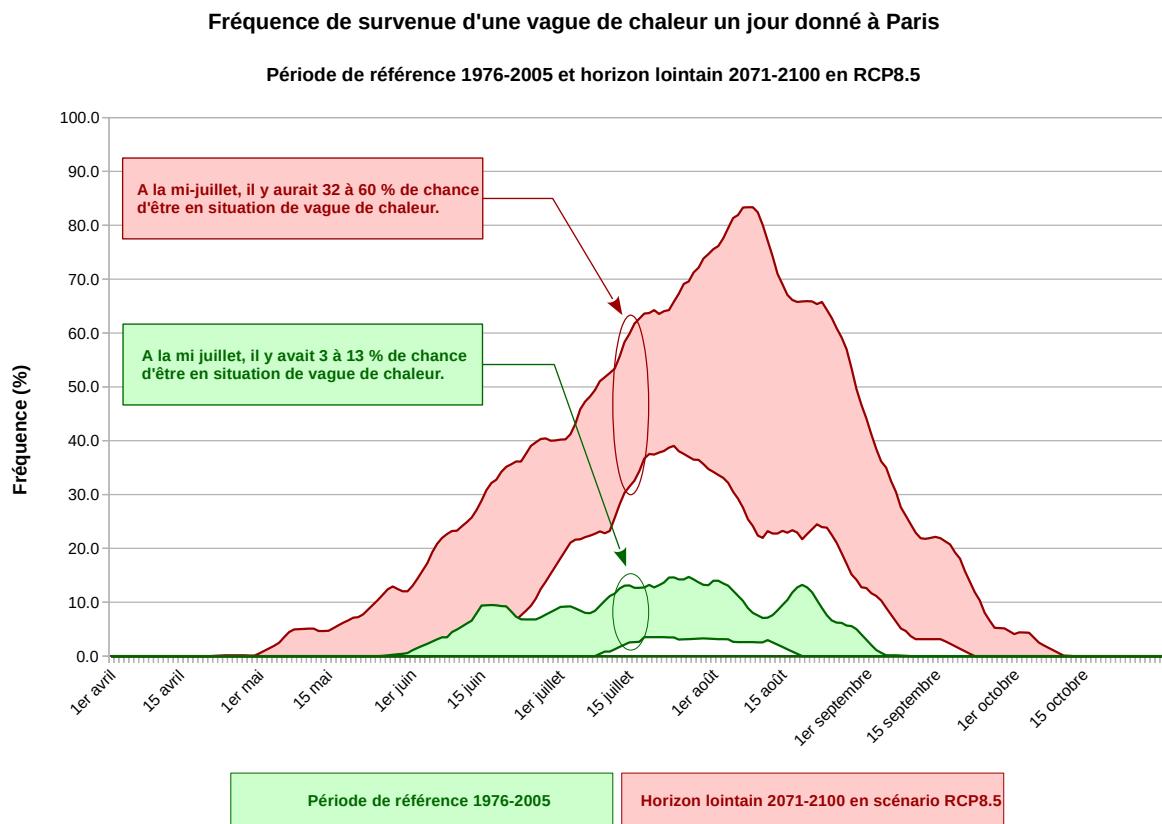
La comparaison des vagues de chaleur simulées durant la période de référence 1976-2005 à celles simulées en climat futur met en évidence de claires évolutions, tout particulièrement en RCP8.5. Pour chacune des simulations, le nombre de vagues de chaleur et toutes les caractéristiques associées sont en forte augmentation. Certains modèles simulent ainsi des vagues de chaleur se prolongeant plus de deux mois, alors même que celles simulées en période de référence ne dépassent guère trois semaines, durée très proche de l'observation elle-même. D'une manière générale, les vagues de chaleur les plus sévères observées par le passé seront vues dans le climat futur comme des événements mineurs.

#### Vagues de chaleur : observations et simulation en RCP8.5 à l'horizon 2071-2100



**Figure 4.** Vagues de chaleur simulées par un modèle (modèle Aladin-Climat de Météo-France) à l'horizon 2071-2100 en RCP8.5 comparées à celles observées entre 1947 et 2018. Le nombre d'événements, leurs durées, intensités et sévérités sont en très forte augmentation.

Mais comme évoqué précédemment, l'approche multi-modèles est à privilégier pour intégrer les différences et estimer les plages d'incertitudes. La comparaison des valeurs médianes et de divers percentiles, calculés sur l'ensemble des simulations pour les différentes caractéristiques des vagues de chaleur est une manière d'implémenter l'approche multi-modèles. A Paris ainsi, le nombre annuel de vagues de chaleur pourrait être multiplié par 4,5. Le nombre annuel de jours en situation de vague de chaleur pourrait être multiplié par 8. Et chose toute aussi préoccupante, le calendrier de survenue des vagues de chaleur s'élargit sensiblement. Dans le climat récent, les simulations traduisent assez bien la réalité observée avec des vagues de chaleur susceptibles de se produire à partir de début juin et jusqu'à fin août. A l'horizon 2071-2100 en RCP8.5, ces événements pourraient commencer à se produire un mois plus tôt, début mai, et survenir jusqu'à un mois et demi plus tard, mi-octobre. Par ailleurs, ils pourraient devenir près de six fois plus fréquents au cœur de l'été. En conséquence, la société devra faire face à de nombreux problèmes liés à l'élargissement sensible de la période de survenue des vagues de chaleur et à la très nette augmentation de survenue en milieu d'été.



**Figure 5.** Approche multi-modèles de la fréquence (en %) de survenue pour un jour donné d'une vague de chaleur à Paris. En vert figure la période de référence et en rouge l'horizon lointain en RCP8.5. Le panache représente les centiles 10 et 90, calculés sur l'ensemble des dix simulations utilisées.

## Conclusion

Cette méthode permettant d'identifier et de caractériser les vagues de chaleur à partir d'une série de températures moyennes quotidiennes présente de multiples intérêts. Appliquée aux observations, elle permet de connaître l'historique des vagues de chaleur. Il est à noter qu'appliquée à des prévisions à courte ou moyenne échéance, cette approche permet aussi de prévoir les caractéristiques d'un épisode en cours ou prévu et de le comparer aux événements historiques. Mais dans le contexte du changement climatique, la méthode appliquée aux simulations climatiques enrichit largement nos connaissances, aussi bien celles concernant les caractéristiques des vagues de chaleur en climat futur que celles concernant leur fréquence et leur calendrier de survenue.

Un intérêt de l'approche est aussi, bien évidemment, de pouvoir s'appliquer à différentes échelles spatiales et dans des environnements climatiques très différents.

## Références bibliographiques

Verfaillie D., M. Déqué, S. Morin, et M. Lafaysse, 2017. The method Adamont v1.0 for statistical adjustment of climate projections applicable to energy balance land surface models. *Geosci. Model Dev.*, 10, 4257-4283

Soubeyroux J.-M. et al., 2020. Les nouvelles projections climatiques de référence DRIAS-2020 pour la Métropole. Météo-France