

## RECENSEMENT DES VAGUES DE CHALEUR EN FRANCE À DIFFÉRENTES ÉCHELLES SPATIALES ET ÉVOLUTION EN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE

SOUBEYROUX J.-M.<sup>1</sup>, SCHNEIDER M.<sup>1</sup>, OUZEAU G.<sup>1</sup>

(1) Météo-France, Direction de la Climatologie, 42 avenue Coriolis, Toulouse France [jean-michel.soubeyroux@meteo.fr]

**Résumé** – Une nouvelle méthode d'analyse des vagues de chaleur a été mise au point en France pour les besoins du suivi climatique national. Elle permet un recensement des événements passés aux échelles nationales, régionales et locales et peut être appliquée en climat futur à partir des projections climatiques. Le diagnostic de l'augmentation observée et prévue des vagues de chaleur en France est sans équivoque.

**Mots-clés** : Événements extrêmes, Vagues de chaleur, Indicateur thermique, Changement climatique.

**Abstract** – *Inventory of heat waves in France at different spatial scales and evolution in context of climate change*: A new method of analysis of the heat waves has been defined in France for climate monitoring needs. It allows an inventory of past national, regional and local events and can be applied in future climate with the climatic projections. The diagnose of the increase observed and predicted of heat waves in France is unequivocal.

**Keywords**: *Extrem events, heat waves, thermal indice, climate change.*

### Introduction

Les vagues de chaleur font partie des extrêmes climatiques les plus préoccupants au regard de la vulnérabilité de nos sociétés et de l'évolution attendue de leur fréquence et leur intensité au XXI<sup>ème</sup> siècle (rapport GIEC, 2013). La France a été particulièrement éprouvée par la canicule de l'été 2003 qui a provoqué un excès de près de 15 000 décès entre le 4 et le 18 août directement attribuable à la chaleur (Poumadère *et al.*, 2005). Au cours des dernières années, ces événements se sont multipliés dans les différentes régions du monde (Russie en 2010, Texas en 2011, Australie en 2012) et leur lien avec le réchauffement climatique global a été démontré (Stott *et al.*, 2004 ; Otto *et al.*, 2012). Ces événements extrêmes dont la probabilité d'occurrence a fortement augmenté avec la hausse des températures estivales, pourront devenir communs en Europe à partir de 2040 (Christidis *et al.*, 2014). En France, la hausse observée des températures moyennes sur les 50 dernières années a été particulièrement forte en été (Gibelin *et al.*, 2014) et le 4<sup>e</sup> rapport sur le climat de la France au XXI<sup>e</sup> siècle (Ouzeau *et al.*, 2014) annonce un doublement possible du nombre de vagues de chaleur estivales en milieu de siècle et une augmentation encore plus importante en fin de siècle.

Ce consensus scientifique cache cependant une difficulté pour la caractérisation détaillée de ces événements et leurs évolutions: il n'existe pas de définition universelle des vagues de chaleur. Habituellement identifiées comme des températures anormalement chaudes observées pendant plusieurs jours consécutifs, les références utilisées sont en fait assez variables. Les températures peuvent être considérées à partir des données quotidiennes moyennes mais aussi maximales ou minimales. Le caractère thermique exceptionnel est estimé à partir d'un écart à la normale (de 5° pour l'indicateur utilisé dans le projet Européen STARDEX ou 6°C pour la base CLIMDEX) ou d'un seuil absolu adapté aux températures extrêmes à l'échelle régionale. La durée minimale d'un événement varie aussi selon les indices, de 3 à 6 jours généralement. La finalité de l'indicateur a aussi son importance. De nouveaux indicateurs agrégés tels le Heat Wave Magnitude Index (Russo *et al.*, 2014) ont été proposés pour analyser les effets du réchauffement climatique en comparant les vagues de chaleur dans le temps et l'espace.

L'indicateur national de vague de chaleur mis en place par Météo France en 2006 visait en priorité à répondre aux exigences du suivi climatique, c'est-à-dire de qualification en temps réel des événements. Un indicateur équivalent existe aussi pour les vagues de froid (Schneider

et al., 2012). Il s'appuie sur la température moyenne et des seuils absolus. Les températures prises en compte sont celles de l'indicateur thermique national (moyenne de 30 stations de référence régulièrement réparties sur le territoire) au pas de temps quotidien permettant un recensement des événements depuis 1947. Dans le cadre du projet Extremoscope<sup>1</sup>, soutenu par le Ministère de l'Ecologie, visant à la mise en perspective des événements extrêmes avec le changement climatique, cette méthode a été consolidée pour être applicable à toutes les échelles spatiales, tant en climat présent qu'en climat futur.

La première partie de cette contribution présente la nouvelle méthode et sa validation sur différentes séries. La deuxième partie est consacrée à la caractérisation spatio-temporelle des vagues de chaleur en France depuis 1947. L'évolution attendue en climat futur est abordée dans la 3<sup>e</sup> partie à partir des premiers résultats issus des projections régionalisées du modèle Aladin Climat sur la France pour deux scénarios RCP (4.5 et 8.5). L'apport de ces nouveaux résultats sur la compréhension de l'évolution des vagues de chaleur est discuté en conclusion.

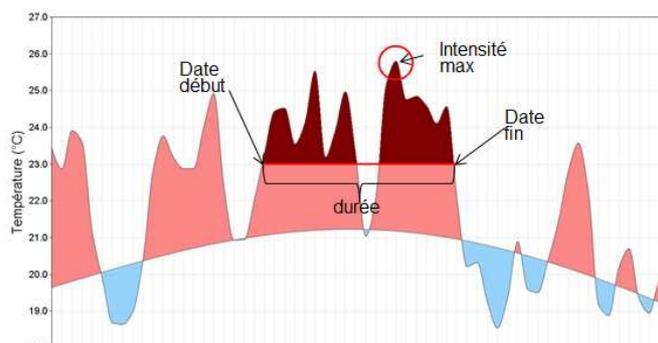
## 1. Identification des vagues de chaleur

### 1.1. Présentation de la méthode

La méthode opérationnelle d'identification d'une vague de chaleur comporte 3 paramètres: *Spic*, seuil de pic de chaleur servant à détecter un événement (ici 25°C), *Sdeb*, seuil de démarrage et de fin de la vague de la chaleur (ici 23°C) et *Sint*, seuil d'interruption (ici 20°C) qui permet notamment de coller deux épisodes successifs sans baisse significative des températures (Figure 1) Cependant l'utilisation de seuils absolus limite l'application de la méthode à cette seule série.

La méthode a été ainsi modifiée pour s'appuyer sur les centiles des distributions annuelles pour une période de référence définie (ici 1976-2005).

Différents tests ont été menés avec différents seuils (*Spic*, *Sdeb* et *Sint*) issus des centiles extrêmes de la distribution. Un filtrage post-traitement est appliqué de façon à ne retenir que les vagues de chaleur durant au moins 5 jours. Le tableau 1 indique les centiles permettant d'obtenir sur la période 1976-2005 un recensement des vagues de chaleur le plus proche de la méthode opérationnelle.



**Figure 1.** Caractérisation d'une vague de chaleur à partir de l'indicateur thermique quotidien sur la France en durée (date de début et de fin), sévérité (intensité max) et magnitude ou intensité globale (partie marron de la courbe de température). Les données représentées sont celles de la période du 1<sup>er</sup> juillet au 31 août 2006

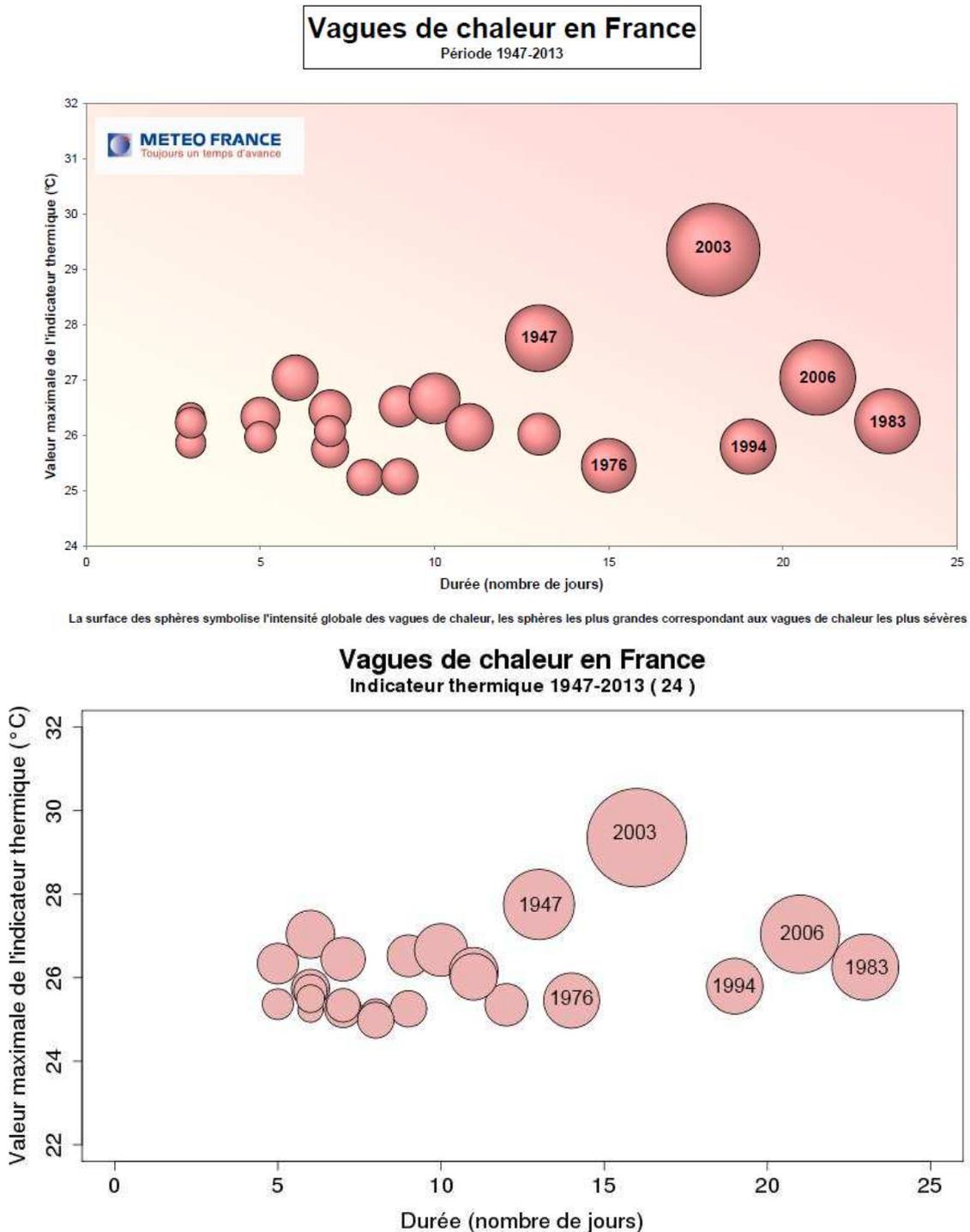
**Tableau 1.** Comparaison des seuils *Spic*, *Sdeb* et *Sint* pour la méthode opérationnelle et la nouvelle méthode statistique basée sur les centiles (période 1976-2005).

	<i>Spic</i>	<i>Sdeb</i>	<i>Sint</i>
Méthode opérationnelle (T°C)	<b>25°C</b>	<b>23°C</b>	<b>20°C</b>
Méthode statistique (centile)	<b>99,5</b>	<b>97,5</b>	<b>90</b>
Méthode statistique (T °C)	<b>24.98 °C</b>	<b>23.20 °C</b>	<b>20.66 °C</b>

<sup>1</sup> Projet Extremoscope : <http://www.cnrm.meteo.fr/spip.php?article909>

### 1.2. Evaluation de la nouvelle méthode

On vérifie d'abord que le recensement de vagues proposé par la nouvelle méthode est proche de celui de la méthode opérationnelle. La Figure 2 confirme la bonne similitude des deux méthodes, tant en nombre terme de nombre d'épisodes que de répartition en durée, sévérité (intensité maximale) et magnitude (intensité globale). On vérifie aussi que le classement de nos 5 évènements les plus forts en intensité globale reste inchangé : il s'agit dans l'ordre d'août 2003, juillet 2006, juillet 1947, juillet 1983 et juillet 1994.



**Figure 2.** Comparaison du recensement de vagues de chaleur sur la période 1947-2014 avec la méthode opérationnelle en haut et la nouvelle méthode en bas (référence 1976-2005) ; les 6 vagues de chaleur les plus intenses sont repérées sur les graphes.

Le calcul des centiles utilisé par la nouvelle méthode tient compte également de la période de référence choisie. En période de réchauffement climatique, le choix de la période de référence influe fortement sur le nombre d'évènements identifiés. On constate aussi sur le tableau 2 que le seuil Spic (centile 99,5 de la distribution) augmente plus vite que la moyenne de la distribution (1,22°C contre 0,87°C soit un ratio de 1,4).

**Tableau 2.** Nombre de vagues de chaleur identifiées selon la période de référence utilisée pour la sélection des paramètres de la méthode (centiles).

Référence	1951-1980	1961-1990	1971-2000	1976-2005	1981-2010
<b>Moyenne</b>	11,68°C	11,83°C	12,16°C	12,37°C	12,55°C
<b>Seuil Spic</b>	24,06°C	24,39°C	24,76°C	24,98°C	25,28°C
<b>Nombre de vagues</b>	56	50	41	24	18

## 2. Evolution observée des vagues de chaleur en France depuis 1947

Le recensement des vagues de chaleur en France depuis 1947 permet de caractériser les effets du réchauffement climatique sur ce type d'évènement extrême. Par période trentenaire, le nombre de vagues de chaleur (avec la référence 1976-2005) varie de 4 pour 1951-1980 et 1961-1990 à 8 pour la période 1971-2000 et atteint 15 pour la période 1981-2010 (soit une probabilité d'occurrence plus que 3 fois supérieure).

Cette méthode est également applicable sur les séries régionales de l'indicateur thermique, disponibles depuis 1947 sur 6 zones climatiques en France : Sud-Ouest, Ouest, Nord, Centre, Nord-Est et Sud-Est. Le tableau 3 présente les résultats du recensement des vagues de chaleur sur ces 6 zones en termes de nombre d'évènements, durée moyenne, sévérité et magnitude moyenne : les seuils utilisés sont relatifs à la distribution des températures extrêmes de la zone (plus bas dans l'Ouest et le Nord de la France, plus élevés dans le Sud Est et le Sud Ouest). En termes de nombre de vagues de chaleur, le Centre, le Nord et le Nord Est sont les zones du territoire les plus fréquemment. Les durées des épisodes sont équivalentes en toute zone (entre 8 et 9 jours en moyenne) sauf sur le Sud Est où elle dépasse 13 jours en moyenne. La sévérité est moindre dans l'Ouest et culmine dans le Sud-Ouest et le Sud Est. La magnitude des vagues de chaleur est faible dans l'Ouest et maximum dans le Nord Est et le Sud Est. L'évènement de 2003 a ainsi atteint une magnitude maximum dans le Sud Est (51,3) devant le Nord Est (32) et le Centre (29,7).

**Tableau 3.** Caractéristiques régionales des vagues de chaleur en France entre 1947 et 2014 (référence 1976-2005).

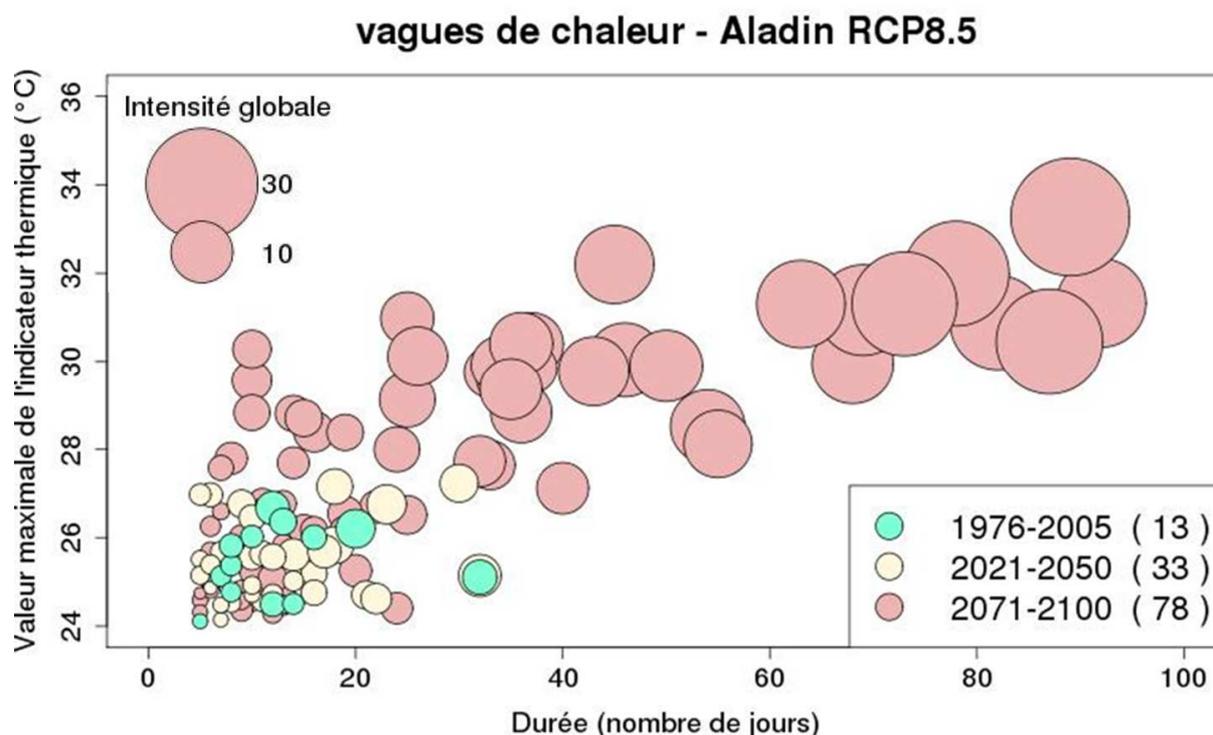
Zone	Sud-Ouest	Ouest	Centre	Nord	Nord-Est	Sud-Est
<b>Nombre</b>	18	18	26	26	27	22
<b>Durée</b>	8,5	8,8	8,4	8,6	9,3	13,5
<b>Sévérité</b>	28,4	25,4	27	26,8	26,6	28,3
<b>Magnitude</b>	7,1	3,9	6,6	7,2	8	9,6

## 3. Evolution prévue des vagues de chaleur en France au XXI<sup>e</sup> siècle

La méthode a été ensuite appliquée au modèle Aladin pour le run historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, sur les périodes 1976-2005, 2021-2050, 2071-2100 utilisées dans le 4<sup>e</sup> rapport sur le climat de la France au XXI<sup>e</sup> siècle (Ouzeau *et al.*, 2014) et disponibles sur le site DRIAS ([www.drias-climat.fr/](http://www.drias-climat.fr/)).

Sur la période de référence 1976-2005, la nouvelle méthode permet de détecter 13 vagues de chaleur. Pour le scénario RCP4.5, le nombre de vagues de chaleur augmente de façon continue sur les horizons 2021-2050 et 2071-2100, accompagné d'une augmentation en

durée et intensité. Pour le scénario RCP8.5 (voir Figure 3), le nombre de vagues de chaleur en milieu de siècle est comparable avec le scénario RCP4.5, mais avec des durées plus limitées. Cette augmentation est plus importante en fin de siècle, où l'on atteint 78 vagues de chaleur détectées, avec une augmentation associée de l'intensité mais surtout de la durée, certaines vagues approchant les 90 jours.



**Figure 3.** Evolution du nombre de vagues de chaleur en France de 1976 à 2100 avec le modèle Aladin Climat et le scénario RCP 8.5 : la taille des bulles est proportionnelle à l'intensité globale (°C).

## Conclusion

La nouvelle méthode d'analyse des vagues de chaleur permet de caractériser les événements en temps réel et de les qualifier de manière homogène par rapport aux épisodes passés et ceux attendus dans les climats futurs. Elle est applicable sur tout indicateur thermique agrégé ou même toute série locale. Toutefois la pertinence du diagnostic dépend de la qualité de la série utilisée, notamment l'absence de ruptures importantes détectées dans le cadre de l'homogénéisation, ou pour un indicateur agrégé, de la disponibilité de l'ensemble des séries le composant. Un effort particulier a ainsi été engagé dans le cadre du projet Extremoscope pour développer de nouveaux indicateurs thermiques à l'échelle régionale basés sur une optimisation de la réanalyse SAFRAN pour les températures (Besson *et al.*, 2014).

Les résultats obtenus permettent d'établir une climatologie originale des vagues de chaleur à l'échelle régionale et de caractériser l'augmentation de la fréquence des vagues de chaleur en France sur les 60 dernières années ainsi que le caractère exceptionnel de l'évènement de 2003.

L'utilisation de la méthode en climat futur testée avec le modèle Aladin Climat et deux scénarios RCP sera prochainement étendue à l'ensemble des projections Euro-Cordex. Le diagnostic du climat futur est déjà très clair. En milieu de siècle, la multiplication des vagues de chaleur est annoncée de manière assez homogène avec les deux scénarios RCP étudiés (4.5 et 8.5) tout en restant dans des gammes de magnitude et de sévérité proches des événements

maximum des 30 dernières années. Tel n'est pas le cas des projections attendus sur la fin du XXI<sup>e</sup> siècle avec le scénario RCP8.5. Les évolutions des vagues de chaleur au cours du 21<sup>e</sup> siècle et les différences entre les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 sont cohérentes avec l'indicateur du nombre de jours de vagues de chaleur estivales disponible sur le portail DRIAS et le 4<sup>e</sup> rapport sur le climat de la France au XXI<sup>e</sup> siècle (Ouzeau *et al.*, 2014) mais apporte un éclairage bien différent de la gravité des événements possibles en fin de siècle en fonction des politiques climatiques qui seront décidées maintenant.

### Références bibliographiques

Poumadère M., Mays C., Le Mer S., Blong R., 2005 : The 2003 Heat Wave in France : dangerous climate change here and now. *Risk Analysis*, **25**(6), 1483-1494.

Stott, P. A., Stone D. A., M. R. Allen M. R., 2004 : Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature*, **432**, 610-614.

Otto F. E. L., Massey N., Van Oldenborgh G. J., Jones R.G., Allen M. R., 2012 : Reconciling two approaches to attribution of the 2010 Russian heat wave. *Geophys Res Lett*, **39**, L04702, doi:10.1029/2011GL050422.

Christidis N., Jones G. S., Stott P. A., 2014 : Dramatically increasing chance of extremely hot summers since the 2003 European heatwave. *Nature Climate Change*, doi: 10.1038/Nclimate2468.

Gibelin A.-L., Dubuisson B., Corre L., Deaux N., Jourdain S., Laval L., Piquemal J.M., Mestre O., Dennetière D., Desmidt S., Tamburini A., 2014 : Evolution de la température en France depuis les années 1950 : Constitution d'un nouveau jeu de séries homogénéisées de référence. *La Météorologie*, **87**, 45-53.

Ouzeau G., Déqué M., Jouini M., Planton S, Vautard R., 2014 : Le climat de la France au XXI<sup>e</sup> siècle. Rapport de la Direction Générale de l'Energie et du Climat, 64 p.

Russo S., Dosio A, Graversen R., Sillman J., Carao H., Dunbar M., Singleton A., Montagna P., Barbola P., Vogt J., 2014. Magnitude of extreme heatwaves in present climate and their projection in a warming world, *Journal of Geophysical Research*, doi 10.1002/2014JD022098.

Schneider M., Dandin P., 2012 : La vague de froid de Février 2012. *La Météorologie*, **76**, 7-8.

Besson F., Soubeyroux J.-M., Ouzeau G., Perrin M., Bazile E., Soci C., 2014 : Diurnal temperature cycle deduced from extreme daily temperatures and impact over a surface reanalysis system. *Advances in Science and Research*, Special Issue EMS2014 asr-2015-16, soumis.