



**HAL**  
open science

## Durée et fréquence des vagues de chaleur en Afrique tropicale septentrionale selon 5 indices de chaleur

Sandra Rome, Benjamin Pohl, Boutheina Oueslati, Vincent Moron, Florian Raymond, Serge Janicot, A. Diedhou

### ► To cite this version:

Sandra Rome, Benjamin Pohl, Boutheina Oueslati, Vincent Moron, Florian Raymond, et al.. Durée et fréquence des vagues de chaleur en Afrique tropicale septentrionale selon 5 indices de chaleur. Le Changement climatique, la variabilité et les risques climatiques Climatic Change, Variability and Climatic Risks, Tolika K; Maheras P, May 2019, Thessalonique, Grèce. pp.284-289. halshs-02151950

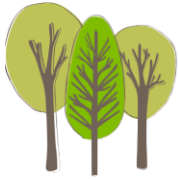
**HAL Id: halshs-02151950**

**<https://shs.hal.science/halshs-02151950v1>**

Submitted on 10 Jun 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**A I C 2019**  
Thessaloniki-Grèce

**XXXII<sup>ème</sup> Colloque International de l'AIC**

# **Le Changement Climatique, la variabilité et les risques climatiques**

## **Climatic Change, Variability and Climatic Risks**

**29 Mai -  
1 Juin** | **2019**

DEPARTMENT OF METEOROLOGY AND CLIMATOLOGY  
SCHOOL OF GEOLOGY  
ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI



ARISTOTLE  
UNIVERSITY  
OF THESSALONIKI



## COMPOSITION DU COMITÉ D' ORGANISATION

### **Comité d'organisation**

Konstantia TOLIKA (Président/Responsable du Colloque)

Panagiotis MAHERAS

Christina ANAGNOSTOPOULOU

Fotini KOLYVA-MACHERA

Kostas LAGOUVARDOS

Vassiliki KOTRONI

Nikolaos HATZIANASTASSIOU



## COMPOSITION DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

1. **ANAGNOSTOPOULOU Christina**  
(Université de Thessaloniki Grèce)
2. **BARETTE Natalie**  
(Université de Laval, Canada)
3. **BELLEFLAMME Alexandre**  
(Université de Liège, Belgique)
4. **BEN BOUBAKER Habib**  
(Université de la Manouba, Tunisie)
5. **BIGOT Sylvain**  
(Université de Grenoble-Alpes, France)
6. **BONNARDOT Valérie**  
(Université Rennes 2, France)
7. **CAMBERLIN Pierre**  
(Université de Bourgogne, France)
8. **CANTAT Olivier**  
(Université de Caen Basse-Normandie, France)
9. **CARREGA Pierre**  
(Emérite Université de Nice, France)
10. **CROITORU Adina**  
(U. Cluj-Napoca, Roumanie)
11. **DAHECH Salem**  
(Université de Sfax, Tunisie)
12. **DROGUE Gilles**  
(Université de Lorraine, France)
13. **DUBREUIL Vincent**  
(Université Rennes 2, France)
14. **DOUGUEDROIT Annick**  
(Retraîtée, Université Aix - Marseille, France)
15. **DOUTRELOUP Sébastien**  
(Université de Liège, Belgique)
16. **JUVANON DU VACHAT Regis**  
(Météo France)
17. **EL MELKI Taoufik**  
(Université de La Manouba - Tunisie)
18. **ENDLICHER Wilfried**  
(Université de Berlin, Allemagne)
19. **ERICUM Michel**  
(Retraité, Université de Liège, Belgique)
20. **HATZIANASTASSIOU Nikolaos**  
(Université d'Ioannina, Grèce)
21. **FALLOT Jean-Michel**  
(Université de Lausanne, Suisse)
22. **FEIDAS Haralambos**  
(Université de Thessaloniki Grèce)
23. **FLOCAS Helena**  
(Université d'Athènes, Grèce)
24. **FORTIN Guillaume**  
(Université de Moncton, Canada)
25. **FOTIADI Aggeliki**  
(Université d'Ioannina)
26. **FRATIANNI Simona**  
(Université de Turin, Italie)
27. **HATZAKI Maria**  
(Université d'Athènes, Grèce)
28. **HENIA Latifa**  
(Université de Tunis, Tunisie)
29. **HOLOBACA Iulian**  
(U. Cluj-Napoca, Roumanie)
30. **JOLY Daniel**  
(Université de Franche-Comté, France)
31. **KASTENDEUCH Pierre**  
(Université de Strasbourg, France)
32. **KERMADI Saida**  
(Université de Lyon 2, France)
33. **KOTRONI Vassiliki**  
(Observatoire d'Athènes, Grèce)
34. **LAGOUVARDOS Kostas**  
(Observatoire d'Athènes, Grèce)
35. **LOLIS Christos**  
(Université d'Ioannina, Grèce)
36. **MADELIN Malika**  
(Université Paris 7, France)
37. **MAHERAS Panagiotis**  
(Université de Thessaloniki, Grèce)
38. **MARTIN Nicolas**  
(Université de Nice, France)
39. **MENDONCA Francisco**  
(Université Fédérale de Parana, Brésil)
40. **MOREL Béatrice**  
(Université de La Réunion, France)
41. **NASTOS Panagiotis**  
(Université d'Athènes, Grèce)
42. **NORRANT Caroline**  
(Université de Lille 1, France)
43. **PAUL Patrice**  
(Retraité Université de Strasbourg, France)
44. **PLANCHON Olivier**  
(Université Rennes 2, France)
45. **QUENOL Hervé**  
(Université Rennes 2, France)
46. **RENARD Florent**  
(Université Lion 3, France)
47. **RICHARD Yves**  
(Université de Bourgogne, France)
48. **ROME Sandra**  
(Université de Grenoble-Alpes, France)
49. **RONCHAIL Josyane**  
(Université Paris Diderot, UMR LOCEAN, France)
50. **ROUCOU Pascal**  
(Université de Bourgogne, France)
51. **ROUSSEL Isabelle**  
(Emérite, Université de Lille 1, France)
52. **SALOU Abdelmalik**  
(U. Hassan II, Casablanca, Maroc)
53. **SOUBEYROUX Jean-Michel**  
(Météo-France Toulouse, France)
54. **TOLIKA Konstantia**  
(Université de Thessaloniki, Grèce)
55. **TRABOULSI Myriam**  
(Université Libanaise, Liban)
56. **ULLMAN Albin**  
(Université de Bourgogne, France)
57. **ZAHARIA Liliana**  
(Université de Bucarest, Roumanie)
58. **ZANIS Prodromos**  
(Université de Thessaloniki Grèce)



# **LE CHANGEMENT CLIMATIQUE, LA VARIABILITÉ ET LES RISQUES CLIMATIQUE**

---

## **CLIMATIC CHANGE, VARIABILITY AND CLIMATE RISKS**

Site web du colloque : <https://aic2019auth.org/>

## DUREE ET FREQUENCE DES VAGUES DE CHALEUR EN AFRIQUE TROPICALE SEPTENTRIONALE SELON 5 INDICES DE CHALEUR

**ROME S. (1), POHL B. (2), OUESLATI B. (3), MORON V. (4), RAYMOND F. (1)  
JANICOT S. (5) et DIEDHIOU A. (6)**

(1) Univ. Grenoble Alpes, IGE, UMR 5001 / UR 252 CNRS, IRD, Grenoble-INP, IGE Grenoble, 38000, France [sandra.rome@univ-grenoble-alpes.fr]

(2) CRC, UMR 6282 Biogéosciences, CNRS / univ. Bourgogne Franche-Comté, 21000 Dijon, France

(3) EDF-R&D, 7 bd Gaspard Monge, 91120 Palaiseau, France

(4) Aix-Marseille université, CEREGE, UM34 CNRS /, Aix-en-Provence, France

(5) IRD, LOCEAN/IPSL, 4 Place Jussieu, 75006 Paris, France

(6) IRD, IGE UMR 5001 / UR 252, UGA, CNRS, Grenoble-INP, 38000 Grenoble, France.

**Résumé :** Les extrêmes thermiques génèrent des risques sanitaires de plus en plus étudiés, y compris en Afrique tropicale. Ce travail compare les durée et fréquence des vagues de chaleur (HW) printanières (avril à juin) en Afrique de l'Ouest selon 5 indices : Warm Spell (WS), Heat Index (HI) avec et sans prise en compte de l'humidité relative, Température Apparente (AT) et Facteur de chaleur excessive ou Excess Heat Factor (EHF). Les données quotidiennes de température (minimale, maximale, point de rosée) et d'humidité relative proviennent de la base GSOD sur la période 1973-2014 et couvrent 145 stations réparties sur un large espace africain tropical (3°N-24°N ; 24°W-36°E). Les résultats montrent que la durée des HW est courte sur le littoral (3 jours, où elles sont rares) et plus longue au cœur du continent en zone sahélienne. La fréquence des HW varie selon les indices de chaleur utilisés : de 3% des jours de printemps au Cap Vert à 30% au Sahel Central selon l'EHF.

**Mots clés:** vague de chaleur (HW), indice de chaleur (HI), Facteur de chaleur excessive (EHF), Afrique de l'Ouest, ACASIS.

**Summary:** Thermal extremes generate health risks that are increasingly taken into account, including in tropical Africa. This work compares the duration and the frequency of spring heat waves (HWs) in West Africa according to 5 indices: Warm Spell (WS), Heat Index (HI) with and without the relative humidity, Apparent Temperature (AT), and Excess Heat Factor (EHF). The daily relative humidity and temperature data (minimum, maximum, dew point) are provided by the GSOD database for the period 1973-2014 and cover 145 stations spread over a large African area (3-24°N; 24°W-36°E). The results show that the duration of the HWs is short on the coast (3 days) and they last longer inland the continent and in the Sahelian belt. HWs' frequency varies greatly according to the heat indices used, from 3% of spring days in Cape Verde to 30% in Central Sahel for the EHF.

**Keywords:** Heat Wave (HW), heat index, Excess Heat Factor (EHF), West Africa, ACASIS.

### Introduction

Le rapport spécial du GIEC sur les effets du réchauffement planétaire à +1,5 °C contribue à alerter sur l'augmentation du nombre de jours chauds et de nuits chaudes depuis 1950 à l'échelle globale. En Afrique tropicale, la tendance au réchauffement est mentionnée par divers auteurs (e.g. Stocker *et al.*, 2013 ; Fontaine *et al.*, 2013; Moron *et al.*, 2016 ; Oueslati *et al.*, 2017) et est notamment associée à une intensification des extrêmes thermiques en toutes saisons autour du Golfe de Guinée à Abidjan et du Sahel Central à Niamey (Ringard *et al.*, 2016), ou en été en lien avec la dépression thermique saharienne (Cook and Vizy, 2015 ; Lavaysse, 2015 ; Vizy and Cook, 2017). Le réchauffement est deux fois supérieur au réchauffement global sur certaines régions de l'Afrique subtropicale et Centrale (Engelbrecht *et al.*, 2015), en particulier durant la période 1997–2014, avec des vagues de chaleur plus intenses, plus longues et plus étendues que sur la période 1979–1996 (Russo *et al.*, 2016). Ce résultat est conforté par l'augmentation au cours des 50 dernières années, de 0,16°C et 0,28°C par décennie

respectivement des températures moyennes maximales et minimales, enregistrées dans 166 stations météorologiques d'Afrique de l'Ouest (Barry *et al.*, 2018).

Aussi, face à l'augmentation des températures, ce travail compare 5 indices retenus dans l'analyse des vagues de chaleur (mentionnées ci-après HW pour *Heat Wave*). L'intérêt est 1/ de chercher les indices pertinents pour une étude d'impact sanitaire, *i.e.* sans tenir uniquement compte de critères purement météorologiques, et 2/ de spatialiser la durée et la fréquence des HW en Afrique de l'Ouest élargie, et ce sur la période récente.

## 1. Données et méthodes d'étude des vagues de chaleur

### 1.1 Définition de la vague de chaleur

Il est communément admis qu'une HW est définie par différents critères météorologiques adaptés au lieu de l'étude ; les invariants sont la rareté (généralement moins de 10% des jours) d'une chaleur excessive (anomalie thermique) enregistrée au-delà d'un seuil (absolu ou relatif) et ayant une durée minimale (généralement comprise entre 3 et 6 jours consécutifs). Certains de ces facteurs, une fois combinés entre eux ou à des critères sociaux (pertes humaines) (Beniston *et al.*, 2007) et/ou économiques (agriculture, électricité/énergie, etc.) (Perkins and Alexander, 2013), fournissent l'intensité et/ou la sévérité de la HW.

Compte-tenu du réchauffement global en cours, il est nécessaire soit d'élever les seuils absolus d'extrêmes de température, soit d'utiliser des seuils relatifs. C'est ce qui est effectué ici puisque l'on considère qu'il y a HW lorsque le 90<sup>ème</sup> centile de la distribution de l'indice de chaleur est atteint ou dépassé pendant au moins 3 jours consécutifs. Ce seuil est calculé sur la période d'étude allant du 1<sup>er</sup> janvier 1973 au 31 décembre 2014. Cette définition contribue à mettre en évidence les vagues de chaleur recensées pendant la période la plus chaude de l'année, à savoir au printemps (avril-mai-juin) au Sahel notamment.

### 1.2 Données thermiques de la base GSOD (1973-2014)

Les données d'humidité et de température de l'air proviennent de la base "Global Surface Summary Of the Day" (GSOD) de la NOAA, enregistrées dans un réseau de 145 stations, couvrant une large zone en Afrique tropicale au nord du 3° parallèle (3°N-24°N ; 24°W-36°E) (Figure 1).

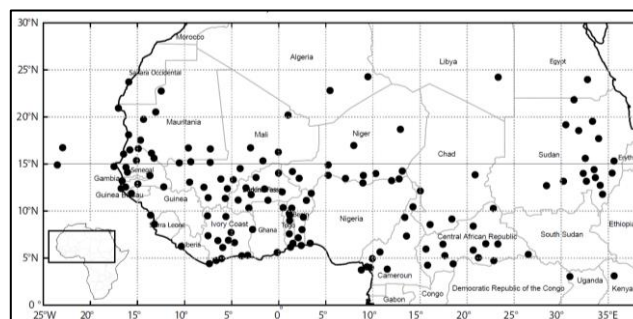


Figure 1. Localisation des 145 stations du réseau météorologique de la base GSOD, disponibles à l'échelle journalière, période 1973-2014.

Ces observations synoptiques contiennent les températures quotidiennes maximales (TX), minimales (TN), moyennes (Tm) et la température du point de rosée (Td). En moyenne, 35% des données quotidiennes sont manquantes. Les lacunes ne sont pas comblées et toutes les analyses s'appuient sur les seules données disponibles (pour plus de détails, voir Moron *et al.*, 2016).

### 1.3 Méthodes de calcul des vagues de chaleur selon 5 indices différents

Cinq indices de chaleur fondés sur divers paramètres (Température minimale -TN- ou maximale -TX-, point de rosée -Td- et humidité relative -RH-) sont comparés. Cette sélection est opérée à partir de la disponibilité des données nécessaires pour calculer les vagues de chaleur. Certains indices reposent uniquement sur des paramètres météorologiques (WS,  $H_{iRH=0}$ ). D'autres cherchent à représenter les extrêmes thermiques ayant potentiellement un impact sanitaire (Tableau 1), incluant généralement l'humidité relative (RH) ou la température du point de rosée (Td).

Tableau 1. Nom, données, formule et incidence des indices de chaleur calculés ; chaque indice utilise des données quotidiennes de la température de l'air minimale (TN), maximale (TX), moyenne (Tm), la température du point de rosée (Td), le 95<sup>ème</sup> centile (T95) de la température quotidienne ( $T_i$ ), l'humidité relative (RH).

Nom de l'indice	Données utilisées	Equations	Portée de la HW détectée
Warm Spell index (WS)	TN, TX	$WS = TX \geq TX_{90p} \ \& \ TN \geq TN_{90p}$ [éq. 1] avec une durée > 3 jours consécutifs	HW météorologique
Heat index (HI NWS) (Steadman, 1979 ; 1984 ; Rothfus 1990)	TN, TX, Td, RH	$H_{iNWS} = c_1 + c_2T + c_3RH + c_4TRH + c_5T^2 + c_6RH^2 + c_7T^2RH + c_8TRH^2 + c_9T^2RH^2$ [éq. 2]  HI= heat index (en degré Fahrenheit) T= température ambiante (Fahrenheit) RH= humidité relative (de 0 à 100 %)  $c_1 = -42,379$ ; $c_2 = 2,04901523$ $c_3 = 10,14333127$ ; $c_4 = -0,22475541$ ; $c_5 = -6,83783 \times 10^{-3}$ ; $c_6 = -5,481717 \times 10^{-2}$ ; $c_7 = 1,22874 \times 10^{-3}$ ; $c_8 = 8,5282 \times 10^{-4}$ ; $c_9 = -1,99 \times 10^{-6}$	HW météorologique Température ressentie
Heat index neutralisant l'humidité ( $H_{iRH=0}$ )	TN, TX, Td, RH	Heat index ( $H_{iRH=0}$ ) identique à éq. 2 avec RH=0	HW météorologique
Apparent Temperature index (AT) développé par Steadman (1984)	Tm, Td	$AT = -2.653 + (0.994 * Tm) + (0.0153 * Td^2)$ [éq. 3]	HW + Température apparente (ressentie par l'humain)
Excess heat factor (EHF) développé par Nairn & Fawcett (2015), combinant 2 effets : Excess Heat ( $EHI_{sig}$ ) i.e. 'significance index' et Heat Stress ( $EHI_{accl}$ ) i.e. 'acclimatisation index'.	Tm, T95*	Excess Heat Factor: $EHF = EHI_{sig} \times \max(1, EHI_{accl})$ . [éq. 4] Avec : $EHI_{sig} = (T_i + T_{i+1} + T_{i+2})/3 - T_{95}$ $EHI_{accl} = (T_i + T_{i+1} + T_{i+2})/3 - (T_{i-1} + \dots + T_{i-30})/30$	Indice bio-météorologique par excellence; donne une mesure comparative de l'intensité, de la durée et de la distribution spatiale d'une HW

Dans éq. 4 : T95 est le 95<sup>ème</sup> centile de la température journalière ( $T_i = (T_{max} + T_{min})/2$ ) de la période 1971-2000 calculé sur tous les jours de l'année. Les unités de EHF sont en  $^{\circ}C^2$ .

## 2. Résultats

La durée et la fréquence moyennes des HW printanières en Afrique de l'Ouest de 1973 à 2014 varient grandement selon les méthodes de calcul. Leur spatialisation est détaillée en § 2.1 et 2.2.



## 2.1 Une manifestation des HW variable selon l'indice de chaleur

Les vagues de chaleur durent en moyenne de 3 jours consécutifs pour le WS -durée minimale pour considérer qu'il y a vague de chaleur- à 12 jours consécutifs selon l'EHF. Les indices utilisant uniquement des critères météorologiques (WS,  $Hi_{RH=0}$ ) montrent des résultats très similaires entre eux et différents des indices utilisant l'humidité relative ( $Hi_{NWS}$  et AT). Les HW recensées sont très différentes selon l'EHF qui prend en compte l'acclimatation. La durée est généralement associée à une forte intensité moyenne des HW avec des températures réelles (selon WS et  $Hi_{RH=0}$ ) ou ressenties (AT,  $Hi_{NWS}$ ) très élevées, avoisinant localement 55°C (non montré), mettant ainsi en danger les populations. C'est le  $Hi_{NWS}$  qui montre les plus fortes températures ressenties (non montré), alors que l'EHF recense des HW plus longues et plus fréquentes.

## 2.2 Spatialisation de la durée, de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur

La durée moyenne des HW printanières (Figure 2) varie en fonction des caractéristiques physiques et géographiques globales (océanité vs continentalité) ainsi que locales (milieu urbain vs rural). Les HW sont de très courte durée sur le littoral atlantique (du Cap-Vert aux côtes sénégal- mauritaniennes baignées par le courant des Canaries) et rares (*i.e.* moins de 10% de jours de printemps) et ce, quel que soit l'indice utilisé (Figure 3).

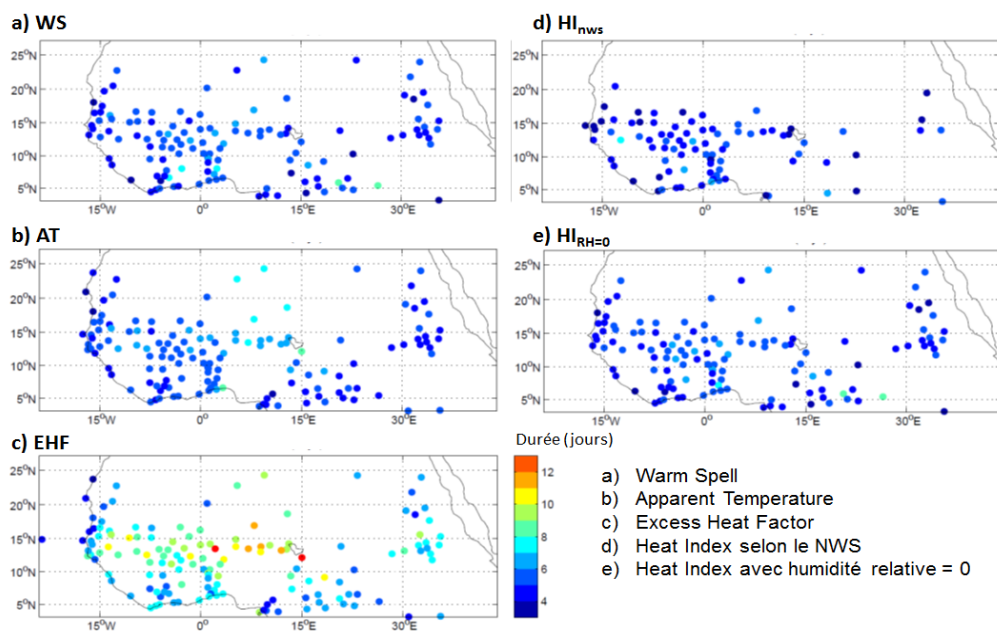


Figure 2. Spatialisation de la durée moyenne (en jours) des vagues de chaleur printanières (avril-mai-juin 1973-2014) en Afrique de l'Ouest selon 5 indices de chaleur. La durée moyenne est calculée selon le nombre de jours de vague de chaleur obtenu pour chacun des 5 indices de chaleur.

Les HW les plus longues (>10 jours consécutifs) sont recensées à l'intérieur du continent, en particulier sur la bande soudano-sahélienne (12-17°N), du Sénégal jusqu'en Mer Rouge via le Lac Tchad, zone où les HW durent jusqu'à 12 jours consécutifs (EHF) en moyenne ; la zone sahélienne est caractérisée par une amplitude thermique annuelle d'environ 16°C, contre une amplitude diurne d'environ 11°C selon les stations (Moron *et al.*, 2016 ; Rome *et al.* 2016). Le Sahel Central accuse des HW de forte intensité moyenne (AT=45°C -non montré), ce qui n'exclut pas localement des HW longues et intenses, comme cela a été le cas dans la région de Niamey en mai 2010 ( $Hi_{NWS}$ =54°C -non montré), ainsi qu'au Sud et à l'Ouest du Lac Tchad ( $Hi_{NWS}$ ). Les HW y sont également fréquentes au printemps avec jusqu'à 30% de jours en HW (Figure 3).

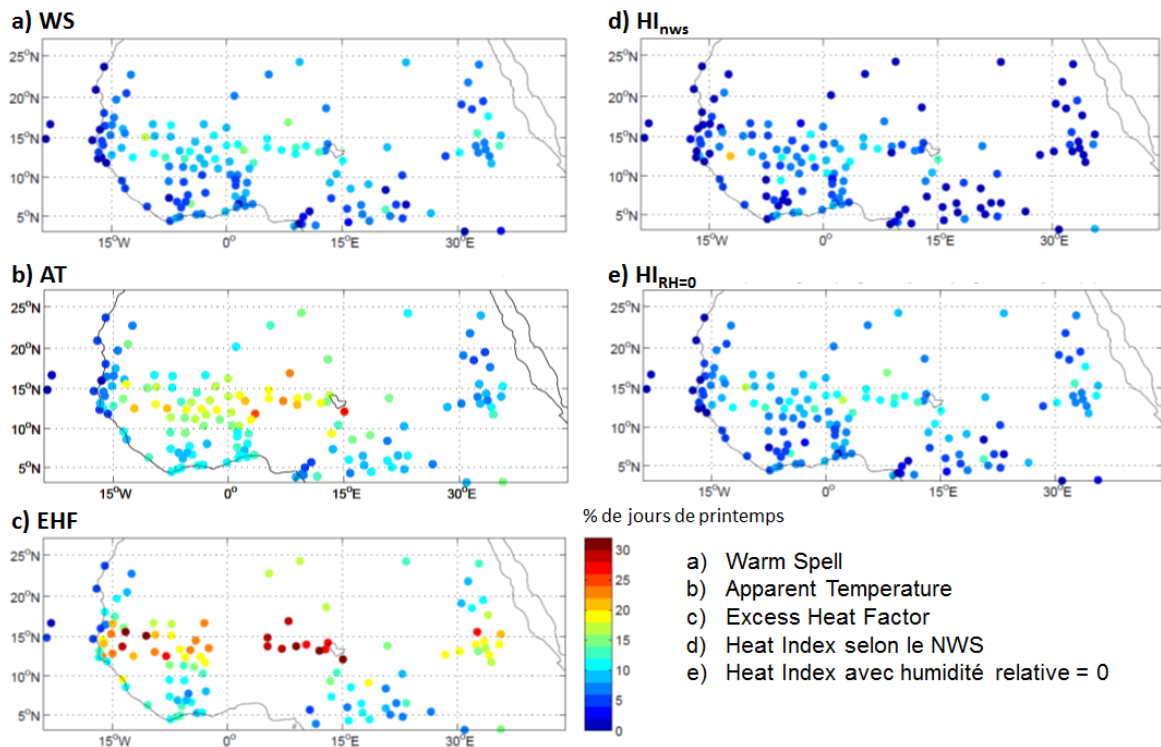


Figure 3. Spatialisation de la fréquence moyenne (en %) des vagues de chaleur printanières (avril-mai-juin 1973-2014) en Afrique de l'Ouest selon 5 indices de chaleur. La fréquence moyenne est obtenue par le rapport entre le nombre de jours de HW sur le nombre total de jours de printemps par an.

## Discussion et conclusion

De nombreux indices permettent de définir les vagues de chaleur, utilisant des paramètres et des formules plus ou moins complexes. Les plus pertinents pour une étude d'impact sanitaire sont les indices bio-météorologiques tel l'Excess Heat Factor (EHF), ou encore le Heat Wave Magnitude Index (HWMI) développé par Russo *et al.* (2014) et ses différentes déclinaisons. En effet, ils indiquent une température ressentie (ou apparente) et sont de plus en plus utilisés, notamment en Australie.

La distribution spatiale de la durée, de l'intensité et de la fréquence des vagues de chaleur en Afrique tropicale septentrionale montre tous les cas de figures : des HW peu fréquentes, rares et peu intenses sur le littoral ouest-africain, du fait des conditions nécessaires pour définir une HW rarement réunies (*i.e.*  $T > T_{90p}$  pendant au moins 3 jours consécutifs). En revanche, les régions au climat soudano-sahélien enregistrent des vagues de chaleur intenses, longues (>10 jours consécutifs) et fréquentes (de 20 à 30% des jours de printemps). Ces valeurs moyennes "gomment" les HW intenses, généralement localisées et de courte durée; cet aspect pourrait être montré ultérieurement.

## Remerciement

Ce travail contribue au programme ACASIS (ANR- 13-SENV-0007-01 ; 2014-2018) qui a eu pour finalité de produire un système opérationnel d'alerte aux canicules au Sahel.

## Références bibliographiques

- Barry A.A., Caesar J., Klein Tank A.M.G., Aguilar E., McSweeney C., Cyrille A.M., Nikiema M.P., Narcisse K.B., Sima F., Stafford G., Touray L.M., Ayilari-Naa J.A., Mendes C.L., Tounkara M., Gar-Glahn E.V.S., Coulibaly M.S., Dieh M.F., Mouhaimouni M., West Africa climate extremes and climate change indices, 2018. *International Journal of Climatology* Volume: **38**, pp.e921-e938 DOI: 10.1002/joc.5420.
- Beniston M, Stephenson DB, Christensen OB, Ferro CAT, Frei C, Goyette S, Halsnaes K, Holt T, Jylhä K, Koffi B, Palutikof J, Schöll R, Semmler T, Woth K., 2007. Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climate Change*, **81**, 71–95. Doi: 10.1007/s10584-006-9226-z.
- Cook KH and Vizy EK., 2015. Detection and analysis of an amplified warming of the Sahara Desert. *J. Climate*, **28**, 6560–6580, doi:10.1175/JCLI-D-14-00230.1.
- Engelbrecht F, Adegoke J, Bopape MJ, Naidoo M, Garland R, Thatcher M, McGregor J, Katzfey J, Werner M, Ichoku C and Gatebe C., 2015. Projections of rapidly rising surface temperatures over Africa under low mitigation. *Environ. Res. Lett.* **10** (2015) 085004 doi:10.1088/1748-9326/10/8/085004.
- Fontaine B, Janicot S, Monerie PA., 2013. Recent changes in air temperature, heat waves occurrences and atmospheric circulation in Northern Africa. *Journal of Geophysical Research*, **118**, 8 536-8 552.
- Lavaysse, C., 2015: Saharan desert warming. *Nature Climate Change*, **5**, 807–808, doi: 10.1038/ nclimate2773.
- Moron V., Oueslati B., Pohl B., Rome S. and Janicot S., 2016. Trends of mean temperatures and warm extremes in Northern Tropical Africa (1961-2014) from observed and PPCA-reconstructed time series. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Volume **121**, Issue 10. DOI: 10.1002/2015JD024303
- Nairn J., and Fawcett R., 2015. The Excess Heat Factor: A Metric for Heatwave Intensity and Its Use in Classifying Heatwave Severity. *Int J Environ Res Public Health*. 2015 Jan; **12**(1): 227–253.
- Oueslati B., B. Pohl, V. Moron, S. Rome, and S. Janicot, 2017. Characterisation of Heat Waves in the Sahel and Associated Physical Mechanisms. *Journal of Climate*, American Meteorological Society, 2017, **30** (9), pp.3095-3115. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0432.1
- Perkins SE and Alexander LV., 2013. On the measurement of heat waves. *J. Climate*, **26**, 4500–4517.
- Ringard J, Dieppois B, Rome S, Diedhiou A, Pellarin T, Konaré A, Diawara A, Konaté D, Dje BK, Katiellou GL, Seidou Sanda I, Hassane B, Vischel T, Garuma GF, Mengistu G, Camara M, Diongue A, Gaye AT, Descroix L. 2016. The intensification of thermal extremes in West Africa. *Global and Planetary Change*, **139**, 66-77. Online publication date: 1-Apr-2016. doi: 10.1016/j.gloplacha.2015.12.009
- Rome S., Oueslati B., Moron V., Pohl B., Diedhiou A., 2016. Les vagues de chaleur au Sahel : définition et principales caractéristiques spatio-temporelles (1973-2014). *Publications de l'AIC*, **29**, Lausanne - Besançon, 345-350.
- Rothfus LP., 1990. The Heat Index 'Equation' (or, More Than You Ever Wanted to Know About Heat Index)", *Scientific Services Division* (NWS Southern Region Headquarters), 1 July 1990.
- Russo S, Marchese AF, Sillmann J and Immé G. 2016. When will unusual heat waves become normal in a warming Africa? *Environ. Res. Lett.* **11**, 2016. 054016 doi:10.1088/1748-9326/11/5/054016.
- Russo S., A. Dosio, R. G. Graversen, J., Sillmann, H. Carrao, M. B. Dunbar, A. Singleton, P. Montagna, P. Barbola, and J. V. Vogt, 2014. Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world, *J. Geo-phys. Res. Atmos.* **119**, 12,500–12,512, doi:10.1002/2014JD022098.
- Steadman RG, 1979. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *J. Appl. Meteor.*, **18**, 861-873.
- Steadman RG, 1984. A universal scale of apparent temperature. *J. Climate Appl. Meteor.*, **23**, 1674–1687.
- Stocker, T.F., et al., Eds., IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report 1 of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 1535 p.
- Vizy EK and KH Cook, 2017. Seasonality of the observed amplified Sahara warming trend and implications for Sahel rainfall. *J. Climate*, **30**, 3073–3094, doi:10.1175/JCLI-D-16-0687.1.