



**HAL**  
open science

## L'été 2019 à Grenoble (France) : analyse d'un extrême de chaleur et mesures d'adaptations mises en place par la collectivité

Sandra Rome, Sylvain Bigot, Xavier Foissard, Anne-Cécile Fouvet, Malika Madelin, Sarah Duché

### ► To cite this version:

Sandra Rome, Sylvain Bigot, Xavier Foissard, Anne-Cécile Fouvet, Malika Madelin, et al.. L'été 2019 à Grenoble (France) : analyse d'un extrême de chaleur et mesures d'adaptations mises en place par la collectivité. XXXIIIème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 2020-07-01, Jul 2020, Rennes, France. hal-02969625

**HAL Id: hal-02969625**

**<https://hal.science/hal-02969625v1>**

Submitted on 16 Oct 2020

**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.

XXXIII<sup>ème</sup> Colloque de l'Association  
Internationale de Climatologie

# CHANGEMENT CLIMATIQUE ET TERRITOIRES



## Actes colloque AIC Rennes 2020

### **Editeurs scientifiques**

Valérie BONNARDOT & Hervé QUENOL  
Université Rennes 2, LETG-Rennes UMR 6554 CNRS

## L'ÉTÉ 2019 À GRENOBLE (FRANCE) : ANALYSE D'UN EXTRÊME DE CHALEUR ET MESURES D'ADAPTATIONS MISES EN PLACE PAR LA COLLECTIVITÉ

ROME S.<sup>1</sup>, BIGOT S.<sup>1</sup>, FOISSARD X.<sup>2</sup>, FOUVET A.-C.<sup>3</sup>, MADELIN M.<sup>4</sup>, DUCHE S.<sup>5</sup>

1 Université Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP\*, IGE, Grenoble, France; \*Institute of Engineering Univ. Grenoble Alpes, France (sandra.rome@univ-grenoble-alpes.fr)

2 Université Grenoble Alpes, IUGA, Grenoble, Université Rennes 2, TerraClima/LETG Rennes, UMR 6554 CNRS, Rennes, France

3 Direction de l'Environnement et du Cadre de Vie, Grenoble, France

4 Université de Paris, UMR 8586 PRODIG, Paris, France

5 Université Grenoble Alpes, UMR 5194 PACTE, Grenoble, France

**Résumé :** Ce travail analyse la température quotidienne minimale (TN) et maximale (TX) de l'air dans 6 stations de l'agglomération de Grenoble (Isère, France), lors de l'été 2019. La méthode vise à détecter la présence de canicule (notée HW) par le dépassement de seuils biométéorologiques ( $TN \geq 19^{\circ}\text{C}$  et  $TX \geq 34^{\circ}\text{C}$ ) pendant au moins 3 jours consécutifs. L'étude révèle la présence d'une canicule précoce fin juin dans 4 des 6 stations étudiées. Une seconde débute le 24 juillet dans la plupart des stations urbaines et périurbaines ; elle est plus longue et sévère, avec des pics  $> 40^{\circ}\text{C}$  ; une 3<sup>ème</sup> HW est enregistrée la 1<sup>ère</sup> décennie d'août dans les stations à proximité du trafic routier. Ces analyses sont comparées aux deux "Alertes canicules" déclenchées par la Préfecture de l'Isère au cours de l'été 2019. Des mesures d'adaptations aux fortes chaleurs sont présentées.

**Mots clés :** extrêmes thermiques ; canicule ; vague de chaleur ; mesures adaptatives ; Grenoble

**Summary:** *Summer 2019 in Grenoble (France): analysis of extreme heat and adaptation measures put in place by the community.* This study analyses the daily minimum (TN) and maximum (TX) air temperature from six stations in the Grenoble area (Isère, France) during the summer of 2019. The method consists of detecting the presence of heat waves (HW) by exceeding bio meteorological thresholds ( $TN \geq 19^{\circ}\text{C}$  and  $TX \geq 34^{\circ}\text{C}$ ) for at least three consecutive days. The study reveals an early heat wave at the end of June in four of the six stations studied. A 2nd HW begins on July 24th in most urban and peri-urban stations; it is longer and more severe, with peaks  $> 40^{\circ}\text{C}$ ; a 3rd HW is recorded in the 1st 10-day period of August in stations close to road traffic. We compare these analyses to the two "Heat Wave Alerts" triggered by the Isère Prefecture during the summer of 2019. We present a list of measures to adapt to high temperatures.

**Keywords:** thermal extremes; heat wave; adaptive measures; experience feedback; Grenoble city

### Introduction

Les extrêmes thermiques représentent un aléa dont le retour d'expérience mérite d'être pris en compte dans les politiques urbaines et sanitaires. L'enjeu lié aux impacts des changements climatiques à l'échelle urbaine est fondamental, notamment à Grenoble, pour différentes raisons : parmi celles-ci, des contraintes topographiques fortes (site de fond de vallée intra-alpine engendrant une accumulation de l'air chaud en été, sans écoulement d'air en épisode de surchauffe), mais aussi des enjeux socio-économiques (l'aire urbaine grenobloise est la 11<sup>ème</sup> de France avec 196 communes, comptant plus de 684 000 habitants, soit le principal pôle urbain alpin français). Grenoble est la 1<sup>ère</sup> ville française dépassant 150 000 habitants avec un maire écologiste depuis 2014, donc où les planifications environnementales liées au climat sont *a priori* mieux abordées (Bigot *et al.*, 2017). Cela se traduit par exemple par la mise en place localement de différents plans sur le climat (cf. § 3). Des études de vulnérabilité des populations aux vagues de chaleur sont menées dans plusieurs métropoles françaises, à l'instar du Grand Lyon où Alonso et Renard (2020) montrent des vulnérabilités physiologiques plus élevées au centre de Lyon, tandis que celles socio-économiques s'observent en périphérie est de l'agglomération.

Aussi, cette étude propose d'une part, de rappeler la terminologie sur les extrêmes de chaleur et d'analyser les extrêmes chauds enregistrés durant l'été 2019, et ce, à différents pas de

temps. D'autre part, il s'agit d'étudier les actions préventives que la ville de Grenoble a d'ores et déjà mises en place lors d'extrêmes de chaleur. Le but est d'aider les collectivités à mieux anticiper les actions lors des futurs épisodes caniculaires, et de valider les indicateurs météo-climatiques servant de veille ou d'alerte, et ce, dès l'été 2020.

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

### 1.1. Le réseau thermique utilisé

Les données de températures (T) journalières concernent la période du 1<sup>er</sup> juin au 31 août 2019, pour 6 stations réparties dans l'agglomération de Grenoble (Fig.1). Il s'agit de T : minimales (TN) et maximales (TX) de 2 stations du réseau Météo-France (Le Versoud et Saint-Etienne-de-Saint-Geoirs, notée ensuite St-Geoirs), obtenues *via* la Publithèque ; infra-horaires de la station Grenoble-CEA-RADÔME (CEA), située dans la cluse de l'Isère, dans un couloir ventilé, à moins de 50 m à la fois de l'Isère et du Drac ; quart-d'heure enregistrées par ATMO-AURA aux stations Les Frênes, Le Rondeau et Saint-Martin d'Hères. Ces données, mesurées hors conditions standards de l'OMM (postes installés pour mesurer en priorité la qualité de l'air), sont néanmoins représentatives de la T du milieu urbain, à proximité du trafic routier et de surfaces asphaltées (station du Rondeau) et de bâti dense (Les Frênes et St-Martin-d'Hères).

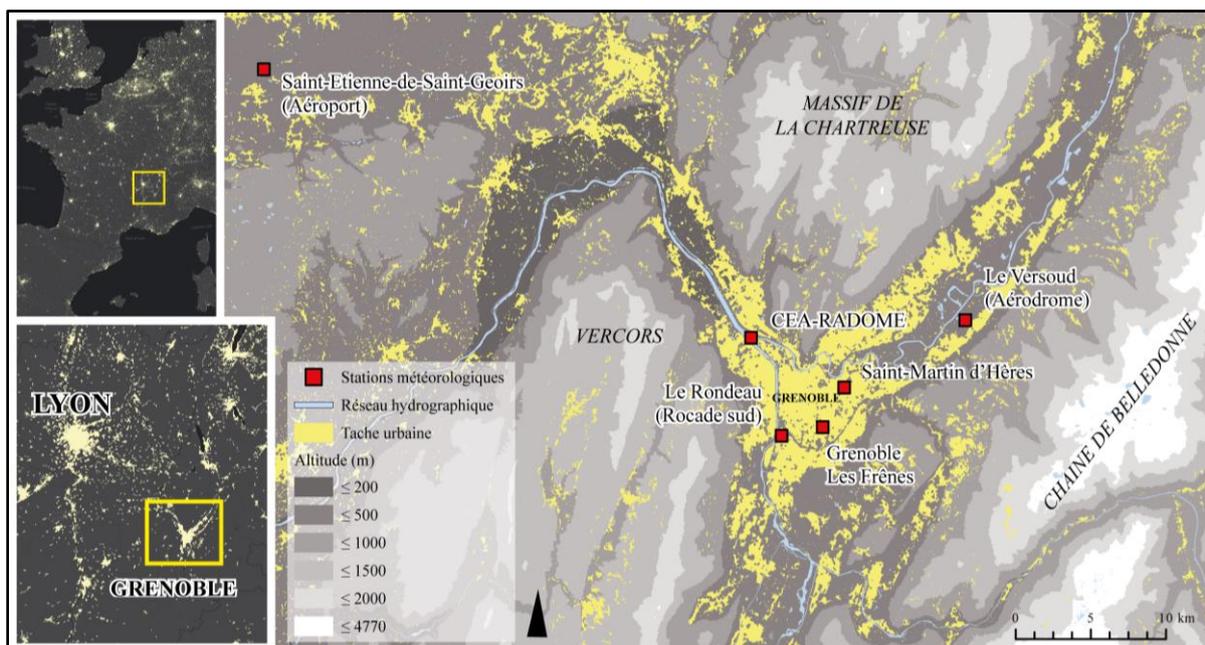


Figure 1. Localisation des 6 stations météorologiques étudiées à Grenoble. (Sources des données : IGN BD ALTI (2018), DDT de l'Isère (2015), Météo-France, CEA, ATMO-AURA)

Ces 6 stations couvrent l'ensemble de l'agglomération, avec leurs spécificités : stations urbaines (Les Frênes, Le Rondeau), péri-urbaines (CEA, Le Versoud, Saint-Martin-d'Hères) et rurales (St-Geoirs). Cette dernière, située à 48 km au NW de Grenoble, à 384 m d'altitude *vs* 210 m à Grenoble-centre, est pourtant souvent encore considérée comme "le référentiel" climatique pour la ville, le réseau météo-climatique urbain grenoblois n'ayant jamais été très stable et dense ces dernières décennies (Bigot *et al.*, 2017). Depuis octobre 2019, la station CEA-Radôme a été intégrée au réseau Météo-France (accessible *via* la Publithèque) et devrait devenir le véritable référentiel urbain (communication privée avec Météo-France).

## 1.2. Méthodes de détection des extrêmes chauds

### 1.2.1. Canicule et indicateur biométéorologique de chaleur

Pour rappel, le terme “canicule” n’est utilisé qu’en France et en français ; il équivaut en anglais à “vague de chaleur” (notée ici HW pour Heat Wave). Météo-France (2019a) définit la canicule comme une “*période de chaleur intense pour laquelle les indicateurs biométéorologiques dépassent les seuils départementaux pendant trois jours et trois nuits consécutifs et susceptible de constituer un risque pour l’ensemble de la population exposée. Elle est associée au niveau de vigilance météorologique orange*”. Ces “indicateurs biométéorologiques” (*i.e.* moyennes sur 3 jours glissants des TN et TX prévues) sont calculés par Météo-France pour une station de référence par département, avec des seuils variant de l’un à l’autre. En Isère, les seuils TN et TX sont fixés respectivement à 19°C et à 34°C. Croisés avec les prévisions à court terme (quelques jours) et l’existence d’éventuels facteurs aggravants, ils permettent de définir la couleur de vigilance et le niveau du plan départemental canicule. Ces seuils sont cohérents pour les fonds de vallées comme à Grenoble, mais pourraient être atteints avant le déclenchement de l’alerte canicule par le Préfet en zone urbaine, ce qui représente un enjeu sanitaire majeur.

### 1.2.2. Détection des extrêmes de chaleur

Bien qu’aucune définition universelle ne fasse foi, la vague de chaleur est une anomalie de température par rapport à la climatologie locale (+5°C ou > 90<sup>ème</sup> centile selon la latitude) ; elle est en général rare, intense, sévère et d’une durée minimale de 3 jours consécutifs pour la plupart des auteurs (*e.g.* Steadman, 1979 ; Nairn, 2014 ; Russo *et al.*, 2014) ou sur une fenêtre glissante de 5 jours (ETCCDI, 2013). Le projet *Extremoscope* identifie les HW en France selon un processus complexe (*cf.* Soubeyroux *et al.*, 2016). Météo-France (2019b) les recense à partir d’un indicateur thermique national (moyenne de 30 stations) ; la durée de l’événement est alors calculée à partir d’une valeur seuil, caractérisant le début et la fin de l’épisode (Météo-France, 2019a).

Dans ce travail, les extrêmes de chaleur en Isère sont recherchés à partir du dépassement des indices biométéorologiques, *i.e.* faisant état d’une canicule (TN  $\geq$  19°C et TX  $\geq$  34°C pendant au moins 3 jours consécutifs) ; en-deçà, il s’agit d’un pic de chaleur. Ce terme “canicule” est important pour les collectivités car des mesures spécifiques sont déployées au niveau 3 alerte canicule. En effet, l’objectif du plan national canicule (PNC) et du Plan Municipal Canicule (PMC, Ville de Grenoble, 2019) est de définir les actions de court et de moyen termes quant à la prévention et la gestion de crise, pour en réduire les effets sanitaires.

## 2. Les fortes chaleurs à Grenoble pendant l’été 2019

### 2.1. Profil thermique quotidien de juin-juillet-août 2019

L’été 2019 a été très chaud à Grenoble, avec dépassement des seuils biométéorologiques à plusieurs reprises, et comme dans le reste de la France métropolitaine, la présence d’au moins 2 canicules (Fig.2), générées par un flux d’air chaud remontant de la péninsule ibérique.

La HW1 (26 juin-1<sup>er</sup> juillet) est constatée partout sauf à St-Geoires. Dans les stations urbaines Les Frênes et Le Rondeau, la HW a duré 15 jours consécutifs (24 juin-8 juillet) contre 6 jours sur la Presqu’île du Polygone scientifique au CEA (26/06-2/07) ; dans cette dernière, TN est restée au-dessus de 19°C pendant 13 jours consécutifs (22 juin-9 juillet), sauf le 2 juillet où TN est tombée à 14,8°C suite à des orages accompagnés de très fortes averses avec de la grêle (Météo-France, BCMR, juin 2019c), alors que TX est restée à 34,4°C. Ce manque de rafraîchissement nocturne est difficile à supporter par l’organisme humain l’été. La HW1 bat

des records avec 15 nuits douces ( $TN > 20^{\circ}\text{C}$ ) et 14 jours de très forte chaleur ( $TX > 35^{\circ}\text{C}$ ). La TN est proche de la normale ou excédentaire jusqu'à  $3^{\circ}\text{C}$ , TX affichant un excédent jusqu'à  $4,5^{\circ}\text{C}$ . L'anomalie mensuelle (réf. 1981-2010 des T moy. des 8 stations de Rhône-Alpes) de juin 2019 est de  $+2,4^{\circ}\text{C}$ , la classant au 3<sup>ème</sup> rang des mois les plus chauds depuis 1970, après juin 2003 ( $+5,6^{\circ}\text{C}$ ) et juin 2017 ( $+3,4^{\circ}\text{C}$ ) (Météo-France, BCMR juin, 2019c).

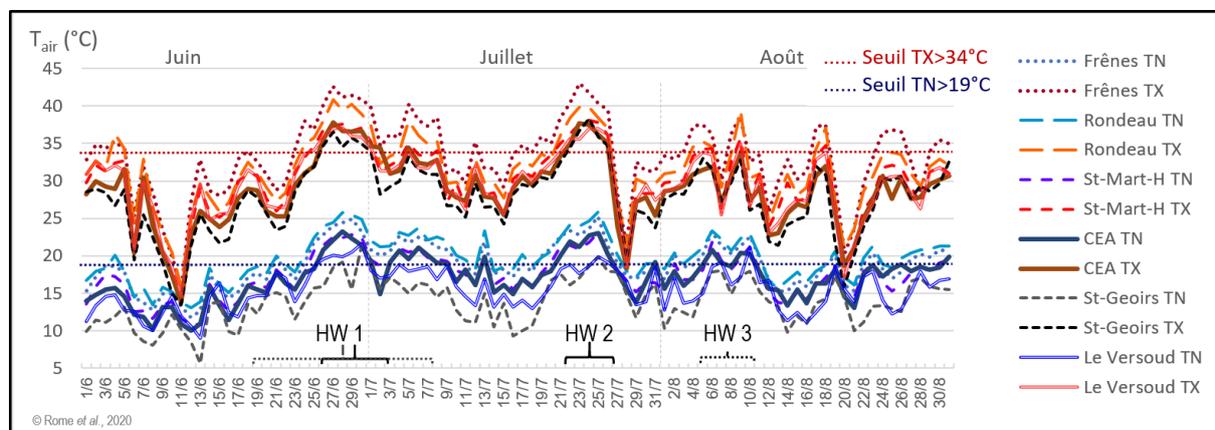


Figure 2. Variations quotidiennes de la température de l'air à 2 m dans 6 stations de Grenoble, du 1er juin au 31 août 2019. HW 1 à 3 signalent la présence des 3 canicules. (Source des données : Météo-France (St-Geoirs et Le Versoud), CEA (CEA) et ATMO-AURA (Les Frênes, Le Rondeau et Saint-Martin d'Hères))

La 2<sup>ème</sup> canicule (HW2) du 22-26 juillet l'est uniquement dans les stations urbaines et périurbaines ; elle a débuté dès le 19 et 20 juillet (resp. Les Frênes & le Rondeau, St-Martin-d'Hères) et le 22 juillet au CEA et Le Versoud. Les TX ont été particulièrement intenses, battant des records quotidiens de température, avec un pic atteignant  $43^{\circ}\text{C}$  le 23 juillet aux Frênes et  $>40^{\circ}\text{C}$  pendant 4 jours. À Grenoble-CEA, la T a dépassé les seuils caniculaires, atteignant  $37^{\circ}\text{C}$  les 23 & 24 juillet et 2 nuits tropicales ( $TN > 22^{\circ}\text{C}$ ) les 24 et 25 juillet (Fig.2, 3). St-Geoirs et Le Versoud sont épargnées par des nuits chaudes ( $TN < 20^{\circ}\text{C}$ ) alors que les TX dépassent  $34^{\circ}\text{C}$ . Avec une anomalie de  $+2,4^{\circ}\text{C}$  (réf. 1981-2010 des T moy. des 8 stations de Rhône-Alpes), juillet 2019 se classe au 4<sup>ème</sup> rang des mois de juillet les plus chauds depuis 1969 (Météo-France, BCMR juillet 2019c). La T dégringole les 27 et 28 juillet de  $20^{\circ}\text{C}$ , suite à une dégradation pluvio-orageuse.

Vu la vigilance météorologique orange canicule émise par Météo-France, le Préfet de l'Isère a activé le niveau 3 « alerte canicule » à compter du 24 juin jusqu'au 4/07, puis du 22 juillet au 26/07 (CG-38). Ces déclenchements sont cohérents avec les mesures relevées dans les stations périurbaines, alors que les seuils sont déjà atteints 2 jours plus tôt dans les stations Frênes et Rondeau. Dans ces deux seules stations urbaines, une 3<sup>ème</sup> HW est esquissée du 5 au 10 août, non validée par les instances décisionnelles car hors du réseau agréé Météo-France.

## 2.2. Évolution thermique horaire lors de la seconde HW

Les variations thermiques horaires lors de la HW2 diffèrent en durée selon les lieux : les seuils sont dépassés pendant 5 jours et 6 nuits consécutifs à Grenoble-CEA (non montré), et pendant 8 jours et 9 nuits consécutifs en milieu urbain (Fig.3). La canicule débute dès le 23 juillet aux Frênes, il faisait déjà  $34^{\circ}\text{C}$  à 9h,  $39,2^{\circ}\text{C}$  à 12h, et la T a atteint  $43^{\circ}\text{C}$  à 15h30 ; la T est restée au-delà de  $34^{\circ}\text{C}$  de 9h à 19h et est descendue en-deçà de  $30^{\circ}\text{C}$  après 21h30. L'évolution thermique est similaire dans les autres stations, avec des valeurs moins élevées d'environ  $2^{\circ}\text{C}$  : matinée déjà chaude, maximum thermique atteint en milieu d'après-midi (entre 15 et 17h) et chaleur persistante jusqu'en fin de soirée.

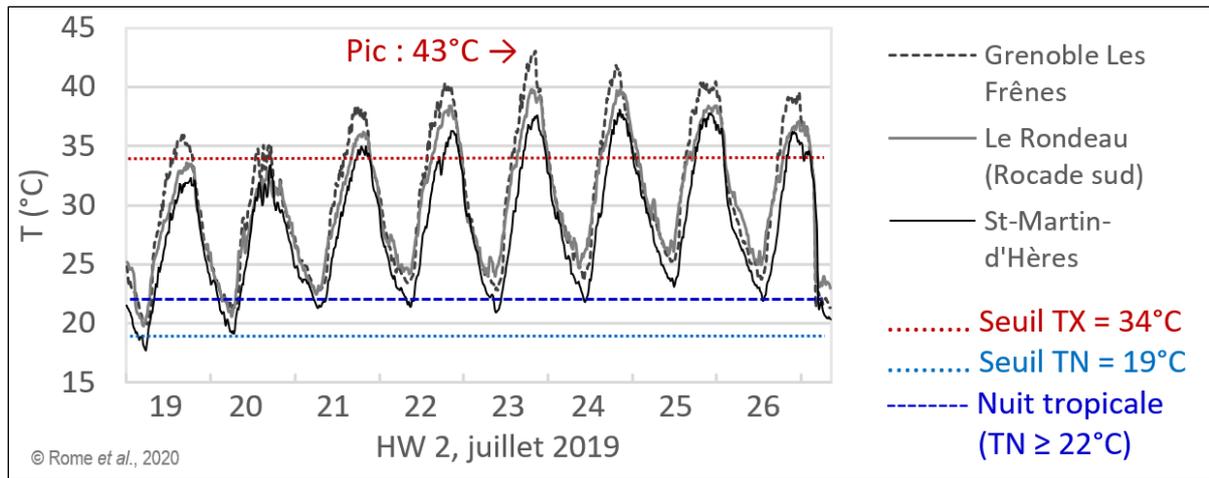


Figure 3. Variations horaires de la température lors de la seconde canicule (HW2), dans 3 stations de Grenoble : Les Frênes, Le Rondeau et Saint Martin d'Hères du 19 au 26 juillet 2019 (Données source : ATMO-AURA).

### 3. Les réponses de la ville de Grenoble face aux fortes chaleurs estivales

La ville de Grenoble s'est dotée d'un Plan climat local dès 2005, renforcé par des volets « qualité de l'air » et « adaptation au changement climatique » ; le Plan Air Energie Climat (2019-2025) de la ville s'articule avec le Plan Municipal de Santé et contribue à la démarche climatique de la Métropole.

Différentes actions ont été mises en œuvre en 2019, déclenchées dans l'urgence pour certaines lorsque le niveau d'alerte 3 canicule a été annoncé par le Préfet de l'Isère. L'intensité et la durée des HW ont impacté l'organisation des services de la collectivité, non seulement pendant l'événement, mais aussi à plus long terme, en vue de capitaliser sur l'expérience acquise et préparer l'été suivant. Plusieurs actions sont en cours d'élaboration (liste disponible sur <https://www.grenoble.fr/1457-fortes-chaleurs-et-canicules.htm>) et visent notamment à lutter contre le changement climatique, s'y adapter et aménager l'espace public : accès à la fraîcheur (*e.g.* parcs urbains ouverts la nuit), diagnostic des besoins et aménagements en points d'eau « fraîcheur » (*e.g.* fontaines, points d'eau potable, ombrières, brumisation), etc.

Ainsi, les leçons tirées de la canicule de 2019 ont permis d'ajuster le PMC en l'organisant de façon opérationnelle selon les publics : grand public, personnes âgées, enfance et petite enfance, public de la rue ou en situation précaire, agents de la Ville et du CCAS. Ainsi, en vue de l'été 2020, plusieurs actions sont en préparation, *e.g.* à destination des 4000 agents, des établissements recevant des enfants, une communication aux usagers *via* divers media. En parallèle, la Ville de Grenoble intègre l'adaptation aux fortes chaleurs dans ses projets d'aménagement (végétalisation de l'espace public et privé, des façades et des toitures, désimperméabilisation des sols, présence de l'eau) et prend en compte le confort thermique d'été dans la rénovation du patrimoine municipal et les futures constructions (schéma directeur de l'immobilier). Cependant, les connaissances sur cette nouvelle donne climatique peuvent encore progresser, en particulier sur l'îlot de chaleur urbain qui peut orienter les choix d'urbanisme, au regard de l'enjeu sanitaire : l'intérêt d'un rapprochement entre le monde académique et les collectivités (à l'échelle communale et intercommunale) est partagé.

### Conclusions et discussion

Les températures de l'été 2019 en France ont été exceptionnelles, avec des valeurs record, extrêmement peu probables sans la modification du climat par les activités humaines. Par exemple, 24 nuits tropicales sont enregistrées à Grenoble Les Frênes. Ce sont surtout les TX

qui excèdent la normale jusqu'à +3,5°C en AURA (Météo-France, BCMR août 2019c). Deux canicules sont enregistrées, l'une précoce fin juin, l'autre du 22 au 26 juillet fut relativement courte (5 jours) et s'est distinguée par une intensité exceptionnelle ; des dépassements des seuils d'alerte en Isère sont enregistrés du 24 juin au 4/07, et du 22 au 26/07. Lors de ces 2 canicules, pour la première fois, respectivement 4 et 20 départements, représentant 7 et 35 % de la population française métropolitaine ont été placés en vigilance rouge, vu les TX exceptionnelles (Santé Publique France, 2019). Ces canicules ont eu des impacts sanitaires pour les populations exposées. La surmortalité dans les départements placés en vigilance rouge (dont en région AURA) est environ 50 % plus élevée que la moyenne des départements touchés (572 décès en excès) (Santé Publique France, 2019). Plus de 12000 hospitalisations suite à un passage pour iCanicule (indicateur suivi dans le cadre du PNC : hyperthermies, déshydratations et hyponatrémies) ont été enregistrées en métropole. Ceci montre l'intérêt du suivi de la qualité de l'air, même si les données thermiques de certaines stations urbaines doivent être interprétées avec prudence.

## Remerciements

Nous remercions les 3 organismes ayant communiqué les données de T de l'air : 1/ l'Institut Max von Laue - Paul Langevin (ILL) du CEA et en particulier Giovanna CICOGNANI, Frédéric FOULADOUX et Jean-Philippe PIERRE pour l'extraction des données de la station Grenoble-CEA-RADOME ; 2/ ATMO-AURA et 3/ Météo-France *via* la Publiothèque.

## Bibliographie

- Alonso L. & Renard F., 2020. A Comparative Study of the Physiological and Socio-Economic Vulnerabilities to HeatWaves of the Population of the Metropolis of Lyon (France) in a Climate Change Context. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 1004. Doi: 10.3390/ijerph17031004
- Bigot S., Duché S., Madelin M. & Rome S., 2017b. Etude du climat urbain : pour une mise à disposition de nouveaux services climatiques, *BISGLg* [En ligne], 68. URL : <http://popups.uliege.be/0770-7576/index.php?id=4505>.
- ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices). [en ligne], Dernière mise à jour le 29.01.2013. URL : [http://etccdi.pacificclimate.org/list\\_27\\_indices.shtml](http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml) (consulté le 15.12.2015).
- Météo-France, 2019a. Canicules et vagues de chaleur. Dossier de presse, 21 juin 2019.
- Météo-France, 2019b. Canicules 2019 : la moitié de la France n'avait jamais eu aussi chaud ! Actualités, 02/08/2019. URL : <http://www.meteofrance.fr/actualites/74603888-canicules-2019-la-moitie-de-la-france-n-avait-jamais-eu-aussi-chaud>
- Météo-France, 2019c. BCMR Rhône-Alpes, Bulletin Climatique, juin, juillet et août 2019.
- Nairn J., 2014. Heatwave defined as a heat impact event for all community and business sectors in Australia. *Urban climate and weather*, 13-15 March 2012. South Australia.
- Préfecture de l'Isère, 2016. *Plan départemental de gestion d'une canicule en Isère*, Juin 2016.
- Russo S., Dosio A., Graversen R.G., Sillmann J., Carrao H., Dunbar M.B., Singleton A., Montagna P., Barbola P., & Vogt J.V., 2014. Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119. Doi: 10.1002/2014JD022098.
- Santé Publique France, 2019. Canicule et santé. Bulletin de santé publique. Été 2019.
- Soubeyroux J.-M., Ouzeau G., Schneider M., Cabanes O. & Koukou-Arnaud R., 2016. Les vagues de chaleur en France : analyse de l'été 2015 et évolutions attendues en climat futur. *La Météorologie*, 94, 45-51. Doi : <https://doi.org/10.4267/2042/60704>
- Steadman R.G., 1979. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *J. Appl. Meteor.*, 18, 861-873.
- Ville de Grenoble, 2019. Plan Municipal Canicule (PMC) 2020-2022. 18 octobre 2019.

Ce volume rassemble un panel de 116 articles présentant des recherches sur le thème « Changement Climatique et Territoires » menées sur divers espaces géographiques.

## COMPOSITION DU COMITE SCIENTIFIQUE

ARVOR Damien  
Université Rennes 2, France

BARAER Franck  
Météo-France, Rennes, France

BARETTE Natalie  
Université de Laval, Canada

BEN BOUBAKER Habib  
Université de la Manouba, Tunisie

BIGOT Sylvain  
Université Grenoble-Alpes, France

BONNARDOT Valérie  
Université Rennes 2, France

BOURIAU Emmanuel  
AUDIAR, France

CAMBERLIN Pierre  
Université Bourgogne Franche-Comté, France

CANTAT Olivier  
Université de Caen-Normandie, France

DAHECH Salem  
Université Paris 7, France

DROGUE Gilles  
Université de Lorraine, France

DUBREUIL Vincent  
Université Rennes 2, France

DOUTRELOUP Sébastien  
Université de Liège, Belgique

EL MELKI Taoufik  
Université de La Manouba, Tunisie

ELY Deise  
Université d'Etat, Londrina, Brésil

FALLOT Jean-Michel  
Université de Lausanne, Suisse

FOISSARD Xavier  
TerraClima, France

FORTIN Guillaume  
Université de Moncton, Canada

FOURMENT Mercedes  
Université de la République, Montevideo, Uruguay

FRATIANNI Simona  
Université de Turin, Italie

FUNATSU Béatriz  
Université de Nantes, France

HOLOBĂCĂ Iulian  
Université de Cluj-Napoca, Roumanie

KASTENDEUCH Pierre  
Université de Strasbourg, France

KERMADI Saida  
Université de Lyon 2, France

LE ROUX Renan  
Cirad, Montpellier, France

MADÉLIN Malika  
Université Paris 7, France

MARTIN Nicolas  
Université de Côte d'Azur, France

MENDONCA Francisco  
Université Fédérale de Paraná, Brésil

MICHOT Véronique  
Université Paris Saclay, Guyancourt, France

MORON Vincent  
Université Aix-Marseille, France

PLANCHON Olivier  
Université Bourgogne Franche-Comté, France

QUENOL Hervé  
Université Rennes 2, France

RICHARD Yves  
Université Bourgogne Franche-Comté, France

ROME Sandra  
Université Grenoble-Alpes, France

RONCHAIL Josyane  
Université Paris Diderot, France

SALOU Abdoumalik  
Université Hassan II, Casablanca, Maroc

SOUBEYROUX Jean-Michel  
Météo-France Toulouse, France

TRABOULSI Myriam  
Université Libanaise, Liban

ULLMANN Albin  
Université Bourgogne Franche-Comté, France

VANNIER Clémence  
Université de Canterbury, Nouvelle-Zélande

VISSIN Expedit  
Université d'Abomey Calavi, Bénin

ZAHARIA Liliana  
Université de Bucarest, Roumanie



Observatoire  
des Sciences de l'Univers  
de Rennes



ISBN 978-2-907696-26-5