



HAL
open science

Un indice pour caractériser et représenter la dangerosité des canicules en zone urbaine

Laura Pinson, Ha Pham, Anne Ruas

► **To cite this version:**

Laura Pinson, Ha Pham, Anne Ruas. Un indice pour caractériser et représenter la dangerosité des canicules en zone urbaine. SAGEO'2016, Dec 2016, Nice, France. 14p. hal-01480566

HAL Id: hal-01480566

<https://hal.science/hal-01480566>

Submitted on 1 Mar 2017

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.

Un indice pour caractériser et représenter la dangerosité des canicules en zone urbaine

Pinson L¹, Pham H¹, Ruas A¹

1. Département COSYS, Laboratoire LISIS, Cité Descartes
14-20 bd Newton, 77447 Marne la Vallée Cedex2, France
laura.pinson@ifsttar.fr ; ha.pham@ifsttar.fr ; anne.ruas@ifsttar.fr

RESUME. Il est maintenant irréfutable que le climat de la terre se modifie à un rythme croissant dû, pour l'essentiel, à l'action anthropique. Le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) estime que cette transformation s'accroîtra dans les décennies à venir. Parmi les évolutions prévues, les extrêmes, à l'exemple de la canicule, posent, la question des impacts sur la santé. En effet, les canicules de 2003, 2006, 2010 ou bien même de 2015 ont causé la mort de plusieurs centaines à plusieurs milliers de personnes. Si en France, les mesures et plans de prévention existent depuis 2003, on montrera qu'il est important de prendre en compte autant les températures extérieures qu'intérieures lors de la création de ces plans. On montrera aussi que les différences thermiques entre bâtiments permettent d'avoir une meilleure connaissance de ces phénomènes. L'article présentera un indice de dangerosité prenant en compte les spécificités thermiques des bâtiments et la durée du phénomène. Une première représentation graphique sera aussi proposée pour conclure sur les différents moyens mis en place afin d'améliorer la communication sur la canicule.

ABSTRACT. It is now undeniable that the earth's climate is changing in an increasing pace mainly due to anthropological actions. The IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) considers that this shift will intensify in the upcoming decades. Amongst the expected consequences, the most extreme phenomena, such as heat wave, will emphasize the question of the impacts on health. Indeed, the heat waves of 2003, 2006, 2010 or 2015 caused many deaths (from several hundred to several thousand people). If measures and prevention plans exist in France since 2003, we shall show that it is important to equally take into account both indoor and outdoor temperatures during the creation of such plans. Furthermore, we shall demonstrate that the thermal differences between buildings allow to have a deeper knowledge of these phenomena. This article will present a dangerousness indexes creation by considering the thermal specificities of buildings but also the duration of the phenomenon. A sketch of graphical representation will also be proposed to conclude on the actions already implemented to improve the communication on heat wave.

MOTS-CLES : Canicule, indice de dangerosité, représentations graphiques

KEYWORDS: Heat wave, dangerousness index, graphial representations

1. Introduction

Aux différents types d'événements climatiques sont associés des écarts à la normale climatologique qui sont qualifiés d'extrêmes. Ces événements sont fortement étudiés ces dernières décennies, dus, notamment, à l'augmentation des pertes économiques et aux nombreuses victimes (Munich Re, 2006). Les canicules sont classées comme des épisodes extrêmes. Pour parler de canicule, en France, des seuils d'intensité et de durée ont été mis en place par les services météorologiques et sanitaires. Ces seuils de températures sont définis par département. A Paris, les seuils sont fixés à 21°C la nuit et 31°C en journée. Au niveau de la durée, il faut observer ces températures élevées et maintenues au moins 3 jours et 3 nuits consécutives. Les risques sanitaires de ces phénomènes extrêmes dépendent principalement de l'intensité de la chaleur et de l'humidité relative de l'air, de la durée de l'exposition et de la vulnérabilité des personnes.

La prise de conscience des impacts sanitaires sur ces épisodes a amené Météo-France et l'InVS (Institut de Veille Sanitaire) à concevoir un Plan National Canicule (PNC) basé sur des seuils biométéorologiques. Ces derniers ont été conçus en prenant en compte des seuils météorologiques, des analyses et statistiques sur la surmortalité. Ces canicules sont particulièrement étudiées en ville parce qu'elles sont souvent plus sévères en milieu urbain en raison du phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) (Oke, 1987). Ainsi, les villes doivent se préparer à ce changement et élaborer des stratégies d'adaptation. De plus, d'après le GIEC (5^{ème} rapport), ce phénomène caniculaire pourrait concerner l'Europe de l'Ouest un été sur deux à partir de 2070.

Les travaux que nous présentons sont menés dans le cadre du projet RepExtrem financé par le programme RDT (Risque Décision Territoire) du MEEM (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer), conjointement avec Météo-France et l'IFSTTAR. Ils visent à apporter une analyse et une représentation des phénomènes caniculaires fondées sur la différenciation entre les températures intérieures et extérieures dans les bâtiments. En effet, les premiers résultats du projet ont montré que les températures intérieures sont sensiblement différentes des températures extérieures (Pinson et al, 2015). Ainsi, il nous a semblé pertinent de les intégrer pour mieux comprendre la dangerosité face au risque de canicule, d'autant plus que les personnes particulièrement fragiles passent la plupart de leur temps à l'intérieur de leur appartement. Nous avons ainsi développé une méthodologie permettant de construire des cartes de dangerosité de la canicule, pendant son occurrence, pour différentes configurations urbaines denses. Pour cela nous proposons des méthodes pour estimer la température intérieure et extérieure, construire un indice de dangerosité puis proposer des représentations pertinentes du phénomène via un service web adhoc. Pour l'estimation de la température nous utilisons un modèle SURFEX-TEB et un jeu de mesures de températures provenant de capteurs Tynitag (section 2). Nous avons conçu un indice de dangerosité à l'échelle du quartier qui intègre la durée et l'intensité du phénomène ainsi que le temps de récupération et les effets de différents types d'appartements (section 3). Enfin nous avons conçu un

premier service web pour l'exploration de la dangerosité de la canicule de 2015 sur Paris (section 4).

2. Modèle et mesures pour estimer la température pendant la canicule

2.1. Le modèle SURFEX couplé au modèle TEB

La modélisation du climat urbain demande de coupler un modèle météorologique avec un modèle de surfaces. Le modèle météorologique (ici AROME : Application de la Recherche à l'Opérationnel à Méso-Echelle ; Bouttier, 2007) permet d'avoir les prévisions météorologiques des hautes couches. Le modèle de surfaces (ici SURFEX)¹ permet d'ajuster ces températures pour les couches plus basses en fonction d'échanges thermiques spécifiques entre différentes surfaces. SURFEX décrit la surface comme une mosaïque composée de quatre principaux types de couverts (mers/océans, lacs/rivières, sols naturels et la végétation ainsi que les villes). A chaque point de grille du domaine va correspondre une fraction de couverture spatiale pour chacun des types. TEB (Town Energy Balance), sera alors appliqué aux surfaces minéralisées pour simuler les échanges entre les surfaces bâties et l'atmosphère. Ainsi à partir du système de modélisation des surfaces continentales SURFEX, couplé avec le modèle thermique TEB (Masson, 2000) développé par le Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM), il est possible de calculer les températures estimées à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, sur des mailles de 250*250m² (même si les calculs se font généralement à des mailles supérieures). Pour nos expérimentations, le modèle est appliqué à juillet 2015 sur la ville de Paris. Il fournit une série de grandeurs (dont les températures intérieures et extérieures) toutes les demi-heures pour chaque maille.

2.2. Mesures de températures dans différents types d'appartement

Afin d'obtenir des données climatiques plus fines et différencier les configurations, un réseau de capteurs Tynitag a été mis en place à l'intérieur et à l'extérieur de plusieurs appartements. Une campagne a été faite en 2014 puis en 2015. Dans ce papier nous traitons des données issues de la campagne 2015, plus chaude, où nous avons placé 21 capteurs dans 5 appartements du centre urbain de Paris (Figure 1).

On rappelle que la mesure de température est complexe en météorologie puisqu'on observe de fortes variations spatiales selon la topographie, l'éloignement d'une ville, la présence de végétation, les obstacles géographiques locaux, etc. Nous avons donc mis plusieurs capteurs dans des appartements non climatisés pour étudier les variations locales et nous avons étalonné les mesures en début et en fin de campagne.

¹ <http://www.cnrm-game-meteo.fr/surfex/>

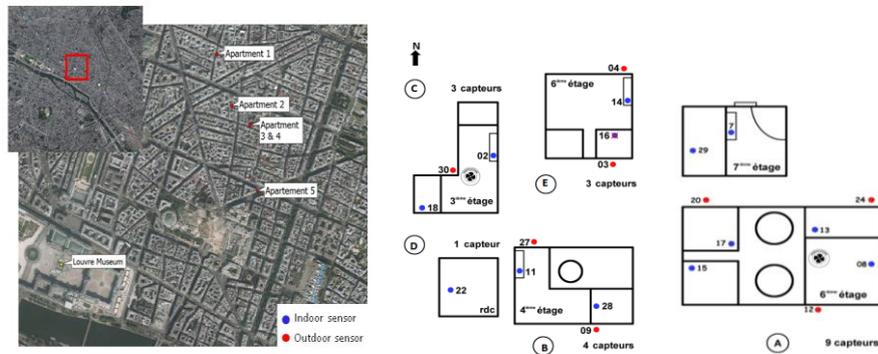


FIGURE 1. Localisation des différents appartements et des capteurs

A partir d'analyses bibliographiques et d'analyses statistiques, 5 types d'appartements, adaptés au centre de Paris, ont été créés en fonction de leurs comportements thermiques. Le 6^{ième} type est le type utilisé par le modèle SURFEX (Figure 2).

Appart1 : Appart-type	Appart2 : Appart-type	Appart3 : Appart-type	Appart4 : Appart-type	Appart5 : Appart-type
Bâti <1850 1 seule expo (rue) Isolé Très peu ventilé Rez-de-chaussée Orientation : E	Bâti haussmannien Double expo Bien isolé Ventilé 6 ^{ème} étage Orientation : N/S	Bâti <1850 1 seule expo (rue) Bien isolé Peu ventilé Sous les toits Orientation : S	Bâti <1850 1 seule expo (cour) Très bien isolé Très peu ventilé 3 ^{ème} étage Orientation : N	Bâti <1850 Double exposition Bien isolé Ventilé Etage élevé Orientation : N/S

FIGURE 2. Diagramme objet des appartements types

Les données couplées au modèle SURFEX par fusion de données ont permis de différencier les températures entre les bâtiments.

Les mesures ont été recueillies, structurées et analysées. Elles couvrent la période du 1^{er} juillet 2015 jusqu'au 1^{er} août minuit 2015 avec un pas de temps de 30min. Pour interpréter les résultats en 3.2 et 3.3 on résume la situation climatique du mois de juillet par 5 périodes : de J1 à J6 correspond à un épisode de forte chaleur, période la plus chaude (la première petite canicule), de J7 à J15, on retrouve un léger rafraîchissement, de J16 à J19 est caractérisé une nouvelle période chaude, de J20 à J25 un léger rafraîchissement qui s'accroît après J25.

2.3. Estimation des températures par fusion de données du modèle et des mesures

Pour mieux estimer les températures intérieures et extérieures, nous partons de deux séries de données présentées aux sections 2.1 et 2.2 : Les données SURFEX calculées toutes les 30mn pendant 1 mois et des mesures faites au centre de Paris (donc compris dans une maille du modèle) mais dans différents appartements. Les températures issues de SURFEX couvrent tout Paris mais sont calculées pour un type d'appartement standard, alors que les observations sont réalisées de manière ponctuelle dans un appartement donné correspondant à des caractéristiques thermiques et des configurations bien spécifiques (2.2). Nous cherchons ici à obtenir la couverture totale de Paris selon le quadrillage de SURFEX mais pour différents type d'appartements. L'objectif est ici d'intégrer les températures mesurées de jour et de nuit et de les recalcr dans un contexte spatial spécifique donné par le modèle SURFEX qui différencie localement les températures (intérieures comme extérieures) par fusion de données. Dans notre cas, nous avons utilisé une méthode très simple de fusion permettant de recalcr pour chaque pas de temps les températures d'une maille pour un type d'appartement en fonction de la température de cette maille pour l'appartement standard et de l'écart de températures entre appartements dans les mailles mesurées. Bien que très simple, cette méthode donne une estimation différenciée des températures plus pertinente que l'estimation initiale pour un type standard d'appartement (figure 3).

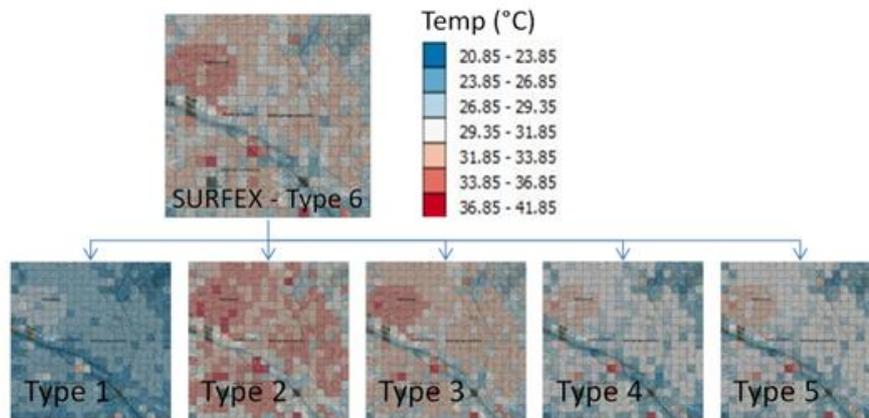


FIGURE 3. Estimation des températures intérieures de jour le 1^{er} juillet 2015 pour les 5 types d'appartements observés

Nous disposons pour chaque type d'appartement d'un tableau de 400 lignes (20*20 mailles correspondant à notre zone d'étude) et de 61 colonnes (correspondant à la période étudiée) que nous importons de R dans QGIS en .csv. Avec l'aide de la fonction *Create-a-Layer-from-a-Delimited* de QGIS, la visualisation des cartes est instantanée. Chaque maille est géoréférencée et comprend une valeur de température pour chaque jour et nuit de l'étude. Nous nous sommes focalisés sur les heures représentant au mieux la canicule (les plus chaudes et les plus fraîches) soit de 15h-

22h pour la journée et de 3h-10h pour la nuit (soit de 13h-20h et 1h-8h en heure solaire). Ces données ont été moyennées sur ces plages horaires (durée de 8h). On obtient ainsi une visualisation globale des températures en fonction des différents types d'appartements.

Ces estimations (figure 3) permettent de mettre en évidence le fait que certains types d'appartements ont des températures bien inférieures à celles estimées par SURFEX et d'autres, au contraire, ont de fortes similitudes avec le modèle, sur certains jours spécifiques. Les configurations spatiales et thermiques des bâtiments jouent un rôle crucial dans le comportement des températures et sont à prendre en compte lorsqu'on veut estimer la dangerosité de la canicule.

Un modèle conceptuel spécifique est développé pour représenter la durée de l'événement caniculaire et sa dangerosité à partir des mesures de campagnes *observation ponctuelle* et des sorties du modèles SURFEX-TEB *maille météo* (figure 4).

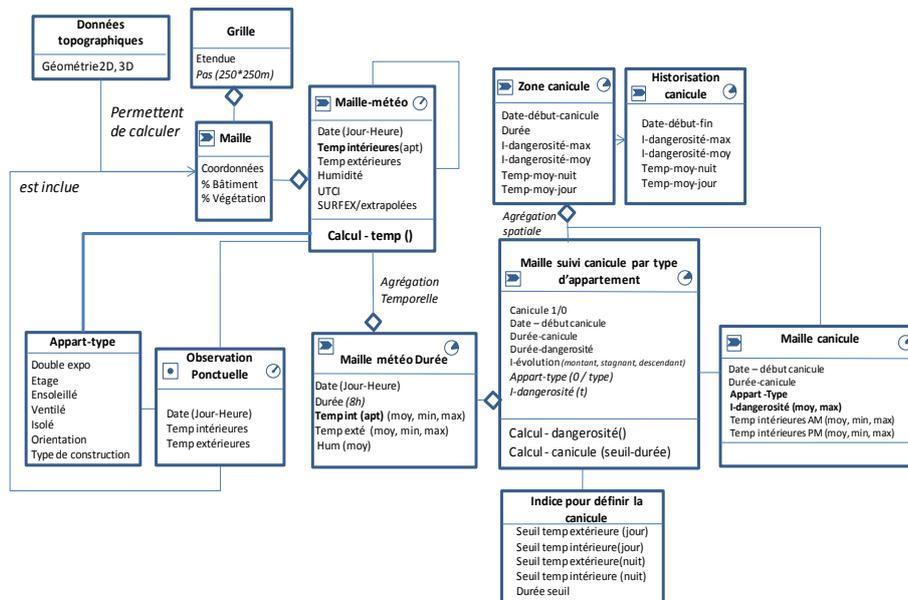


FIGURE 4. Schéma conceptuel de données

Une période de fortes chaleurs ne veut pas dire canicule. La question est donc de savoir si elle va se transformer en canicule. Pour assurer le suivi des températures, la maille suivi canicule est créée et mise à jour toutes les 12h. Cette maille va permettre de calculer la canicule et un indice de dangerosité. Pour la maille suivi canicule par type d'appartement, trois possibilités sont prises en compte :

- Soit les dernières heures ne répondent pas aux critères de canicule et la valeur de l'objet est égale à 0

- Soit les températures dépassent le seuil, l'objet enregistre et stocke l'information
- Soit la maille est déjà en canicule, elle met à jour ses attributs, dont ses valeurs thermiques, et la valeur de l'objet est égale à 1

Pour la présentation de dangerosité, un indice est développé. Cet indice indique le début d'une canicule, et déclenche l'alerte. Il permet ainsi de mieux vivre les canicules en ville.

3. Indice de dangerosité

3.1. Construction d'un indice

La prise en compte du temps est cruciale dans l'étude du phénomène caniculaire puisque la canicule devient préjudiciable à partir d'une certaine durée. Nous utilisons le terme de *dangerosité* pour souligner le fait que nous cherchons à identifier le moment à partir duquel certaines personnes peuvent être en danger, il s'agit donc d'une dangerosité potentielle. Le danger réel est fonction de la personne (état de santé général, âge, maladies spécifiques) et de son isolement. L'indice présenté est imparfait parce qu'il n'intègre pas toutes les informations, mais il doit permettre d'alerter sur une dangerosité potentielle.

L'indice que nous souhaitons construire doit intégrer la durée de l'événement, son intensité (en se basant sur les températures moyennes) mais aussi l'accumulation et la récupération d'une personne. En effet, si deux canicules s'enchaînent à peu de jours d'intervalle, le corps sera plus fragilisé à la deuxième canicule qu'à la première. Ceci est important parce qu'on peut avoir, certains étés, une série de canicules qui au final sont préjudiciables à la santé des plus fragiles. L'indice de dangerosité proposé permet d'évaluer le niveau de risque pour les habitants dans différents types d'appartements et de configuration, dans un centre urbain lors d'épisodes de canicule. Plusieurs fonctions ont été testées et analysées. Les fonctions sont du type :

Si température-jour > seuil-jour ou température-nuit > seuil-nuit alors

$$\text{Indice}_{ti} = \text{Indice}_{ti-1} + p1 + \text{Entier-sup}(\text{température}_{\text{Kelvin}} - \text{seuil}(\text{jour, nuit})) * p2$$

Sinon :

$$\text{Indice}_{ti} = \max(0, \text{Indice}_{ti-1} - p3(\text{profil}))$$

Avec

- p1 : si la température continue à être au dessus du seuil, alors la situation s'aggrave. Expérimentalement nous avons choisi $p1 = 0.45$.
- L'expression suivante exprime le fait que plus la température est élevée, plus l'indice augmente. Expérimentalement nous avons choisi $p2 = 0.05$ ce qui fait pour un degré au dessus du seuil, l'indice s'incrémente de 0.5 point ($p1 + 0.05$) toutes les 12h
- p3 est la récupération. Si la température est inférieure au seuil alors formellement l'épisode de canicule est fini. Par contre les personnes récupèrent progressivement. Dans une première série d'expérimentations

nous avons distingué deux profils. Pour une personne fragilisée (âgée, très jeune, malade) nous avons pris $p_3 = 0.5$, sinon $p_3 = 1$.

Cette fonction a été créée en prenant en compte les seuils de températures de jours (c'est-à-dire 31°C) et de nuit (21°C). Ainsi, si l'on prend un seuil-nuit de 21°C, le premier jour, son indice sera de 0,50 et évoluera de 0.05 à chaque degré en plus des seuils. Ces seuils sont basés sur les indices IBM (indice biométéorologiques). Cependant, ces seuils sont des seuils fixés pour des températures extérieures, or, on sait que la population passe plus de 80% de son temps dans un espace clos. De plus, les températures intérieures ont de plus faibles amplitudes thermiques que celles extérieures (Pinson L, 2015 AIC). Nous avons donc fait évoluer ces seuils afin qu'ils correspondent à des températures acceptables à l'intérieur. Nous nous sommes donc basés sur des seuils de 24°C de nuit et 28°C de jour.

Cet indice permet de donner les premières pistes de réflexion sur la dangerosité de la canicule. Plusieurs tests ont été réalisés, avec plusieurs seuils et pas de récupération. Les résultats et les illustrations sont présentés dans la partie suivante.

3.2. Analyse des valeurs de l'indice : suivi temporel dans la maille observée

L'indice de dangerosité est appliqué ici aux différents types d'appartements. En fonction du seuil de température choisi et de l'importance que l'on donne à la récupération, les indices évoluent très sensiblement différemment (Figure 4).

Pour les deux premiers graphiques, correspondant aux seuils de 24°C de nuit et de 31°C de jour, les périodes de vagues de chaleur sont moins visibles, mais l'indice met en valeur les particularités des appartements : les appartements 2 et 3 sont bien distincts des autres, surtout pour un pas p_3 de 1. Les appartements 1 et 5 ont des indices similaires sur les deux graphiques. Or, nous avons constaté que les températures de ces appartements sont éloignées surtout dans le temps. D'autres scénarios sont réalisés.

Si on compare le troisième et le quatrième graphiques (mêmes seuils et pas de récupération p_3 différents, une température de 24°C de nuit et de 28°C de jour), on remarque que pour la première période de canicule (de J1 à J5), les courbes vont croître avec une forte ressemblance pour atteindre un indice de 10 la 8^{ème} nuit. Après, en fonction de l'importance de la récupération, les courbes vont croître ou décroître. Dans le cas d'une faible récupération ($p_3 = 0.5$), les courbes augmentent mais avec un faible rythme. Dans l'autre cas, les courbes diminuent. La deuxième période de vague de chaleur (de J15 à J22) est caractérisée par une forte et continue augmentation pour atteindre quasi les indices 16 ou 20, pour les appartements les plus chauds. Dans le cas où la récupération à un pas de 1, on constate que pour les appartements 3 et 5, il suffit de 5 jours pour revenir à un indice de 0. Il faudra attendre encore quelques jours de plus pour les autres appartements (2 et 4) puisque leur inertie thermique est plus importante.

De ces graphiques, on peut observer que l'appartement 1 aura un indice toujours très faible, voir 0. Cela est dû, en grande partie, à la localisation. De plus, pour ces

seuils (24°, 28°, p 3 = 0.5 ou 1), on constate que lors des vagues de chaleur (J1-5 et J16-19) les seuils, de jour comme de nuit, sont dépassés puisque les courbes sont toutes ascendantes (à dérivée positive) (à l'exception du type 1).

Ces analyses nous permettent de mettre en valeur l'importance des seuils de température et de récupération :

- Lorsque les seuils 24°C-31°C sont utilisés, les courbes ne sont pas satisfaisantes. Les températures intérieures nocturnes sont généralement supérieures à 21°C (dues à l'inertie thermique des bâtiments) et les températures diurnes inférieures à 31°C. Les seuils de 24°C et de 28°C, eux, permettent de mieux mettre en valeur les vagues de chaleur et le comportement thermique de chaque type d'appartement.
- Les graphiques sont sensibles à la valeur du seuil de récupération qui par ailleurs met bien en évidence la configuration spatiale de chaque appartement et l'inertie. Avec ces graphiques, surtout les deux derniers, on constate que même si une période de « rafraîchissement » est présente cela ne veut pas dire que le risque n'existe plus. Il faut plusieurs jours, en fonction des personnes et des configurations, pour atteindre une situation sans risque.

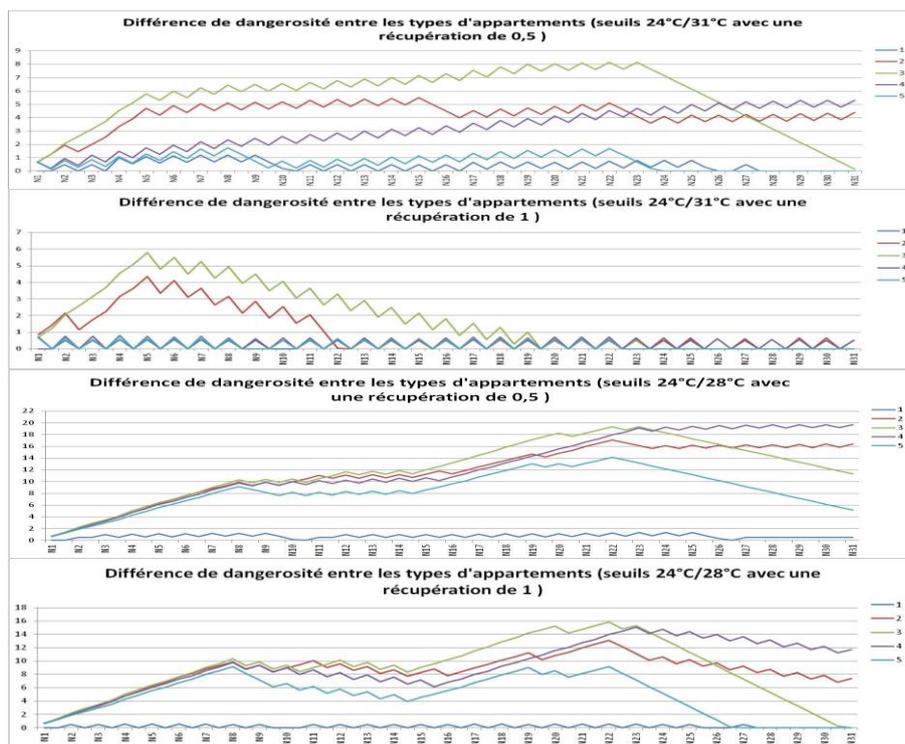


FIGURE 4. Indices de dangerosité sur 30 jours pour les 5 types d'appartements

3.3. Analyse de valeurs de l'indice : analyse spatio-temporelle

La méthode de fusion de données permet de calculer les températures intérieures sur tout Paris pour différents types d'appartement. Dans cette étude nous nous focalisons davantage sur les températures intérieures, souvent sous estimées. L'analyse de la durée des phénomènes, pour en déduire des zones de dangerosité «hot spot» à l'échelle du quartier, est possible.

La représentation cartographique permet de détecter visuellement les zones de forte intensité à chaque temporalité, ainsi qu'au cours du temps (Figure 5). Le type 1, comparé aux deux autres, est celui qui concentre les hot-spot de plus faible intensité. Pour ce type, les indices sont faibles mais les seuils de températures sont tout de même dépassés pour la plupart des mailles étudiées. Pour l'ensemble des types, les indices augmentent sur toute la période et commencent à décroître à partir de la 25^{ème} nuit. Ces cartographies nous permettent, par conséquent de comparer avec l'état précédent, afin de désigner si la canicule est en période ascendante (si la température continue à augmenter dans la durée), stagnante ou descendante (si la température régresse pour passer en dessous des seuils fixés de jour et de nuit). Cette représentation illustre bien que les appartements en rez-de-chaussée (type 1) résistent bien mieux à la canicule, les appartements très peu ventilés (type 4) subissent plus longtemps les vagues de chaleurs que les autres. On voit également que les configurations spatiales et les aménagements semblent jouer un rôle non négligeable puisque la température et a fortiori la dangerosité connaissent d'importantes variations spatiales.

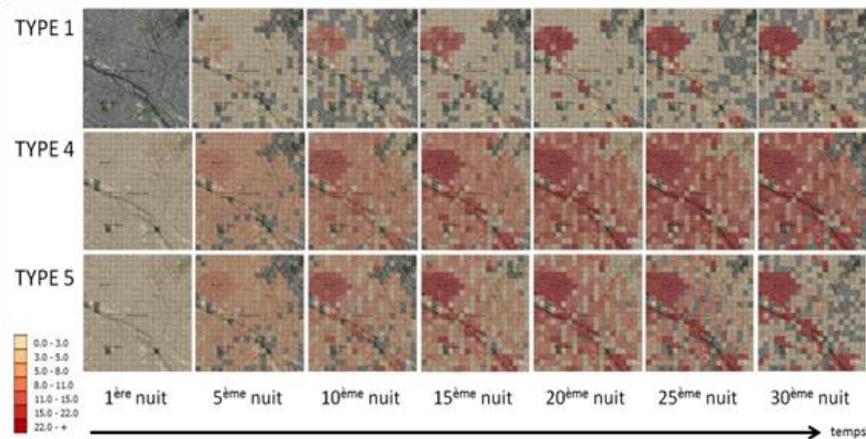


FIGURE 5. Représentations cartographiques de l'indice de dangerosité (avec les seuils 24/28°C et une récupération de 0.5) utilisés pour 3 types d'appartements

Par la suite, des requêtes sont effectuées permettant de repérer les hot-spots via le langage de requête SQL. L'exemple de requête en spatial-SQL ci-dessous sélectionne les mailles où l'indice de dangerosité est supérieure à 15 et où la canicule est ressentie pour la nuit du 10 juillet :

```

SELECT canicule.*,indice.*
FROM canicule, indice
WHERE canicule.nuit10=12 AND indice.nuit10>=15

```

Ces requêtes permettent de réaliser une agrégation spatiale. Comme nous souhaitons faire ressortir les lieux où le phénomène dure, l'utilisation de l'indice de dangerosité est parfaite puisqu'il est bâti sur la durée. L'accumulation des zones de fortes chaleurs produit des zones de hot-spot dues à la durée du phénomène. L'analyse de la requête spatiale entre la carte de la dangerosité et celle de la canicule montre les zones les plus vulnérables.

Les analyses nécessaires au suivi des canicules produisent d'importants volumes de données et de couches graphiques à superposer. Afin de faciliter la compréhension des phénomènes, nous développons un site web qui permettrait de mieux informer sur les caractéristiques du phénomène représenté et de mieux identifier les zones et types d'appartement inquiétants. Cela permettrait, par exemple, des actions de communications ciblées sur certains quartiers. Cette conception de nouvelles représentations nécessite un développement de structures de données adhoc (Cheaib et al. 2013).

4. Mise en place du service web

La mise en œuvre du service web d'exploration des canicules repose sur un ensemble de logiciels open source (Figure 6) (Tyler M. 2005) :

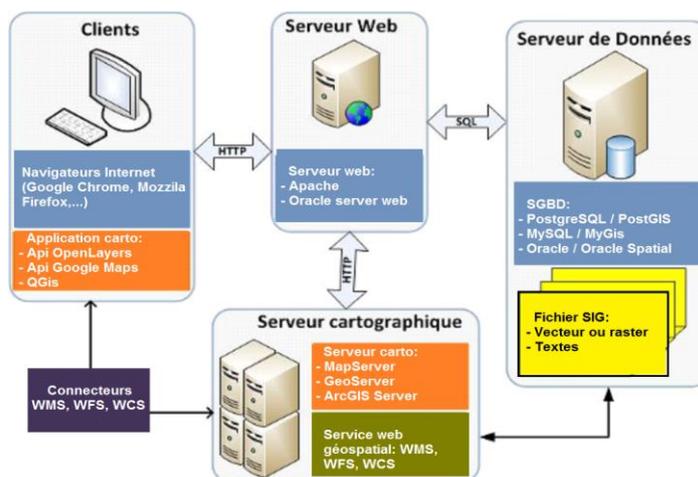


FIGURE 6. Principe général de fonctionnement du Web mapping © (Millogo 2012, issus des travaux de Tyler M. 2005)

² Dans notre table de données 1 correspond à des mailles canicules et 0 à des mailles non canicules

- PostgreSQL/PostGIS pour stocker et manipuler les données avec
- QGIS pour visualiser les résultats et créer des fichiers de styles (.sld)
- GeoServer pour publier des couches cartographiques à partir de données stockées sous PostgreSQL/PostGIS
- OpenLayers pour agréger les couches cartographiques à l'aide de la bibliothèque
- HTML, CSS, JavaScript pour créer l'interface web

4.1. Symbolisation des données dans QGIS

Les données sont visualisées dans QGIS sous forme de mailles colorées. La symbolisation QGIS est écrite dans un fichier .sld utilisé à l'étape suivante. Un fichier SLD est un schéma XML indiqué par l'OGC (The Open Geospatial Consortium) qui permet de décrire le style des couches de carte. Il définit des règles de symbolisation pour des ensembles d'entités spécifiées au sein d'une couche WMS (Web Map Service) donnée. Le fichier peut comporter plusieurs règles, et chaque règle peut compter un filtre décrivant quelles entités doivent être affichées, ainsi que plusieurs symboles décrivant comment ces entités doivent être affichées.

4.2. Publication des couches de données avec GeoServer

GeoServer est un serveur cartographique. Il publie des couches cartographiques à partir des données stockées dans PostGIS et utilise les fichiers .sld pour définir la symbolisation de ces couches. Une couche cartographique de GeoServer correspond à une table de données dans PostGIS.

4.3 Mise en place du service web avec OpenLayers

L'interface cartographique est la fenêtre qui va contenir notre carte. Son développement est réalisé grâce à l'utilisation du client cartographique OpenLayers avec JavaScript. Cette interface cartographique contient la carte et les outils de manipulation. La carte est composée de *données topographiques* (données topographiques, orthophotographies) et de *données thématiques* (de la température ou de l'indice de dangerosité)

- L'information topographique (bâtiments, routes, rivières, parcs, etc) sont des données invariables pour notre application. Elles décrivent l'espace support. Elles sont écrites dans une table sur PostGIS et correspondent à une seule couche dans GeoServer. Notre carte est l'agrégation des couches graphiques, une couche de données topographiques est ajoutée dans la carte par la fonction :

map.addLayers([chemin de données/nom de couche])

- Les données thématiques sont les données météorologiques composées des températures et de l'indice de la dangerosité. Elles sont dynamiques alors nous les sauvegardons dans plusieurs tableaux sur PostGIS, chaque table correspond à la température ou à l'indice pour une période (nuit ou jour) (un état). Initialement, la couche cartographique « température » ou « indice » est ajoutée dans la carte comme une couche de données statiques, ses paramètres sont ceux du premier état. Lorsqu'on lance la simulation, le programme met à jour le chemin de données de la couche de l'état suivant et l'affiche dans la carte.

```
map.layers[indice_de_couche].mergeNewParams({nouveau
chemin de données/nom de couche});
```

Le service web en cours de conception permet de choisir de visualiser la température extérieure ou intérieure ou l'indice de dangerosité. Pour la température intérieure et pour l'indice, on peut choisir le type de bâtiment étudié. On peut ensuite soit lancer la séquence des états, soit se déplacer à un état donné. La figure 7 représente la température intérieure moyenne pour la nuit du 4 juillet pour l'appartement du modèle SURFEX.

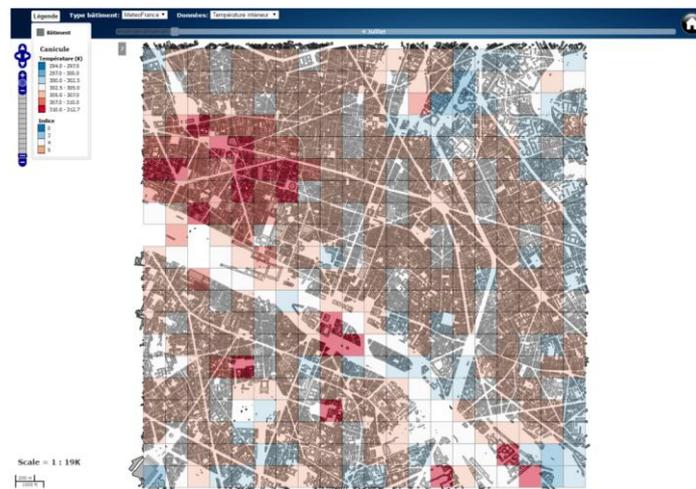


FIGURE 7. Services web de visualisation de la dangerosité d'une canicule (température intérieure de nuit, pour le type 6 SURFEX, le 4 juillet 2015)

Le site web est en cours de finalisation. Il sera disponible sur le site <http://representation-phenomenes.ifsttar.fr>

5. Conclusions et perspectives

Dans un contexte de changement climatique, il est important de mieux identifier la dangerosité du risque caniculaire pour développer les stratégies d'intervention, de

communication et d'adaptation les plus appropriées. Dans cette recherche nous avons construit un premier indice à partir d'un modèle et d'observations. Davantage de campagnes d'observations permettraient de consolider l'estimation des températures intérieures mais les résultats sont déjà éclairants.

Les résultats des premiers indices développés sont intéressants : les indices reproduisent bien les observations du comportement des températures intérieures, ainsi que les cycles diurne/nocturne. Les sorties graphiques mais aussi cartographiques montrent bien que chaque bâtiment, appartements, quartier de la vie ne sont pas des blocs homogènes et similaires mais que des différences existent et modifient la dangerosité de la canicule. La encore il devrait être possible d'améliorer l'indice (notamment le choix des seuils) en élargissant la campagne d'observations.

Cette recherche confirme l'intérêt de prendre en considération les températures intérieures et de montrer leur dangerosité en fonction des différentes configurations spatiales, de l'intensité et de la durée du phénomène. Un site web est en cours de conception pour mieux donner à voir ce phénomène.

De plus, une étude sur la perception et le ressenti du risque auprès de la population et des acteurs pourrait apporter des éléments utiles et de nouvelles connaissances.

Bibliographie et références

- Bouttier F. (2007). Arome, avenir de la prévision régionale. *La Météorologie*, 58, p.12–20.
- Cheab N., Ruas A., Gaborit. (2013). From sensor data to the perception of phenomena: Software architecture for online access and offline analysis, *Actes du 26th International Cartographic Conference 2013*, Dresden.
- Masson V. (2000). A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. *Bound.- Layer Meteorol.*, 94, p.357–397.
- Millogo F. (2012). *Mise en place d'une application web mapping de géolocalisation des points d'intérêt de la ville de Ouagadougou*. Mémoire Master2 Informatique Appliquée aux Systèmes d'Information Géographique, Université de Douala.
- Munich Re Group Annual Report 2006* (https://www.munichre.com/publications/302-05252_en.pdf)
- Oke T-R. (1987). *Boundary layer climates*. London et New York : *Methun*, Second edition (first edition 1978), p. 435
- 5^{ème} rapport d'évaluation du GIEC. IPCC Climate Change 2014 : synthesis report. Copenhagen 2014 (<http://www.ipcc.ch/report/ar5/index.shtml>)
- Tyler M. (2005). *Web Mapping Illustrated, Using Open Source GIS Toolkits*, *O'Reilly*, ISBN: 0-596-00865-1, p. 367