

SANTÉ  
ENVIRONNEMENT

MAI 2023

DONNÉES DE SURVEILLANCE

**ESTIMATION DE LA FRACTION DE LA MORTALITÉ**  
**ATTRIBUABLE À L'EXPOSITION**  
**DE LA POPULATION GÉNÉRALE À LA CHALEUR**  
**EN FRANCE MÉTROPOLITAINE**

Application à la période de surveillance estivale  
(1<sup>er</sup> juin - 15 septembre) 2014-2022

# Résumé

## Estimation de la fraction de la mortalité attribuable à l'exposition de la population générale à la chaleur en France métropolitaine

Application à la période de surveillance estivale (1<sup>er</sup> juin -15 septembre) 2014-2022

Les températures élevées sont identifiées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) comme l'un des risques climatiques les plus préoccupants en Europe, compte tenu de leurs effets sur la santé humaine et sur les écosystèmes. En France métropolitaine, les canicules sont les événements climatiques extrêmes associés au fardeau humain le plus élevé, avec plus de 42 000 décès toutes causes en excès observés pendant ces événements entre 1970 et 2022. En dehors des canicules, les températures chaudes, qui sont souvent perçues comme ne présentant pas d'enjeu pour la santé, posent pourtant également des risques importants.

La chaleur ayant des effets multiples sur la santé, il n'est pas possible d'identifier en temps réel les décès attribuables à la chaleur, sur la base par exemple d'une cause de décès unique prédéfinie.

Ce rapport présente une méthode permettant de quantifier, à partir de données historiques, chaque année, à l'échelle départementale, la fraction de la mortalité attribuable à la chaleur durant l'été (plus spécifiquement durant la période de surveillance du système d'alerte canicule et santé, du 1<sup>er</sup> juin au 15 septembre), afin de compléter les bilans ciblant spécifiquement l'estimation de la mortalité toutes causes durant les périodes de canicule.

Des relations température-mortalité utilisables dans les départements français métropolitains ont été développées pour la période juin-septembre des années 2014-2022. Elles lient, dans chaque département, la température moyenne mesurée par une station de référence de Météo-France et la mortalité totale (tous âges et 75 ans et plus) enregistrée par l'Insee. Elles prennent en compte la saisonnalité et la tendance à long terme, ainsi que l'influence possible de la pandémie de COVID-19 (à compter de l'année 2020). Ces relations ont été ensuite utilisées pour estimer chaque année la fraction de la mortalité attribuable à la chaleur entre le 1<sup>er</sup> juin et le 15 septembre des années 2014-2022. La chaleur est définie ici comme une température supérieure à la médiane estivale de la distribution 2014-2022 des températures.

Entre 2014 et 2022, sur l'ensemble des départements métropolitains, 32 658 décès [intervalle de confiance (IC) à 95 % = 29 612 : 34 975] sont attribuables à la chaleur entre le 1<sup>er</sup> juin et le 15 septembre de chaque année, dont 23 080 [IC 95 % = 21 076 : 24 556] décès de personnes âgées de 75 ans et plus. Vingt-huit pour cent de ces décès ont été observés pendant les canicules telles que définies par le plan de gestion des vagues de chaleur. Les impacts les plus importants ont été observés en 2022 (6 969 [6 277 : 7 445] décès en excès dont 29 % pendant les canicules), et 2019 (4 441 [4 086 : 4 717] décès en excès dont 42 % pendant les canicules) avec une hétérogénéité selon les territoires. L'impact était également supérieur à 4 000 décès en 2018 et 2020.

Les résultats soulignent l'importance des impacts de la chaleur sur la mortalité depuis 2014. Environ deux tiers de l'impact concernent, comme attendu, majoritairement des personnes de 75 ans et plus, mais il est à noter qu'une part importante (soit un tiers) concerne des personnes de moins de 75 ans. Le focus des alertes sur les canicules se justifie par leur contribution au bilan total : en moyenne, 6 % des jours correspondant aux périodes de canicule totalisent 28 % de l'impact lié à la chaleur. L'organisation d'une réponse spécifique pendant les canicules est également nécessaire, compte tenu de leur potentiel de désorganisation massive et rapide du système de soins, comme cela a été observé en 2003. Il faut cependant compléter cette adaptation réactive pendant les événements extrêmes par une adaptation structurelle et systémique à la chaleur pour réduire le risque pour la santé humaine tout au long de l'été.

**MOTS CLÉS :** CANICULE, TEMPÉRATURE, CHALEUR, CHANGEMENT CLIMATIQUE, MORTALITÉ

# Abstract

## Estimation of the fraction of mortality attributable to heat exposure in the general population of metropolitan France

Applied to the summer monitoring period (1 June–15 September) 2014–2022

High temperatures are identified by the Intergovernmental Panel on Climate Change as one of the most concerning climate risks in Europe, given their effects on human health and ecosystems. In metropolitan France, heatwaves are the extreme weather events associated with the highest human burden, with more than 42,000 excess all-cause deaths observed during these events between 1970 and 2022. Apart from heatwaves, hot temperatures – although seldom perceived as a health issue – also pose significant health risks.

As heat has multiple effects on health, it is not possible to identify heat-related deaths in real time, for example on the basis of a single predefined cause of death.

This report presents a method for quantifying – on the basis of historical data, each year, at departmental level – the fraction of mortality attributable to heat during the summer (more specifically during the surveillance period of the heatwave and health alert system, from 1 June to 15 September), in order to complete assessments that specifically target the estimation of all-cause mortality during heatwaves.

Temperature-mortality relationships relative to the French metropolitan departments (administrative areas smaller than a region) have been developed for the June–September period of the years 2014–2022. For each department, they link the average temperature measured by a Météo-France reference station, and the total mortality (all ages and 75 years and over) recorded by INSEE. They take into account seasonality and long-term trends, as well as the possible influence of the COVID-19 pandemic (from the year 2020 onwards). These relationships were then used to estimate the fraction of mortality attributable to heat between 1 June and 15 September each year for the period 2014–2022. Heat is defined herein as a temperature above the summer median of the 2014–2022 temperature distribution.

Between 2014 and 2022, across all metropolitan departments, 32,658 deaths [95% confidence interval [CI] = 29,612:34,975] are attributable to heat between the 1<sup>st</sup> June and the 15<sup>th</sup> September each year, including 23,080 [95% CI 21,076:24,556] deaths of people aged 75 years and over. Twenty-eight percent of these deaths occurred during a heatwave as defined by the national heatwave management plan. The most significant impacts were observed in 2022 (6,969 [6,277:7,445] excess deaths of which 29% during heatwaves), and 2019 (4,441 [4,086:4,717] excess deaths of which 42% during heatwaves) with heterogeneity across territories. The impact was also greater than 4,000 deaths in 2018 and 2020.

Our results underline the substantial impact of heat on mortality since 2014. As expected, about two-thirds of the impact concerned people aged 75 and over. However, it should be noted that a significant proportion, i.e. one-third, concerned people under 75 years of age. Focusing warnings on heatwaves is justified by their contribution to the total impact: on average, 6% of the days corresponding to heatwave periods account for 28% of the heat-related impact. Organizing a specific response during heatwaves is also necessary given their potential to cause massive and rapid disruption in the health care system, as observed in France in 2003. However, this reactive adaptation during extreme events needs to be complemented by structural and systemic adaptation to heat in order to reduce the risk to human health throughout the summer.

**KEY WORDS:** HEATWAVE, TEMPERATURE, HEAT, CLIMATE CHANGE, MORTALITY

## Ont participé à cette étude et à la rédaction de ce rapport

Mathilde Pascal, Véréne Wagner, Robin Lagarrigue, Delphine Casamatta, Jérôme Pouey, Nicolas Vincent, Guillaume Boulanger (Santé publique France)

## Relecture scientifique

Grégory Fifre, Météo-France

Jean Gaudart, Santé publique France

## Abréviations

<b>IC</b>	Intervalle de confiance
<b>RR</b>	Risque relatif
<b>Sacs</b>	Système d'alerte canicule et santé
<b>SurSaUD</b>	Surveillance sanitaire des urgences et des décès

# Sommaire

Résumé .....	1
Abstract .....	2
Auteurs, relecteurs .....	3
Abréviations .....	4
<b>1. CONTEXTE ET OBJECTIFS .....</b>	<b>6</b>
<b>2. MÉTHODE .....</b>	<b>8</b>
2.1. Construction des relations températures-mortalité .....	8
2.1.1. Zones et période d'étude .....	8
2.1.2. Données de mortalité .....	8
2.1.3. Données de températures .....	8
2.1.4. Données relatives à la pandémie de COVID-19 .....	9
2.1.5. Analyses statistiques .....	9
2.2. Calcul de la fraction de décès attribuable à la température entre le 1 <sup>er</sup> juin et le 15 septembre et durant les canicules .....	10
2.3. Comparaison avec d'autres estimations .....	11
<b>3. RÉSULTATS .....</b>	<b>13</b>
3.1. Relations températures-mortalité .....	13
3.1.1. Analyses descriptives .....	13
3.1.2. Sélection des modèles, forme de la relation et risques relatifs .....	13
3.2. Fractions attribuables à la chaleur .....	15
3.3. Comparaison avec d'autres estimations .....	19
3.3.1. Comparaison avec les bilans canicules annuels de Santé publique France .....	19
3.3.2. Comparaison avec le nombre de décès attribuables à la chaleur de l'observatoire européen changement climatique et santé .....	20
<b>4. DISCUSSION .....</b>	<b>21</b>
4.1. Forces et faiblesses de l'étude .....	21
4.1.1. Estimation de l'exposition .....	21
4.1.2. Extrapolation pour des situations sans référence historique .....	21
4.1.3. Influence de la pandémie de COVID-19 .....	22
4.1.4. Pollution de l'air .....	22
4.1.5. Âge .....	22
4.2. Intérêt du modèle pendant la période de surveillance estivale .....	23
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>24</b>
Annexes .....	25
Annexe 1. Descriptif des données de mortalité par région .....	25
Annexe 2. Descriptif des données de température .....	26
Annexe 3. RR des différents modèles .....	27
Annexe 4. Décès attribuables à la chaleur selon les différents modèles .....	29
Références .....	33

# 1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Les températures élevées sont identifiées par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat comme l'un des risques climatiques les plus préoccupants en Europe, compte-tenu de leurs effets sur la santé humaine et sur les écosystèmes (1). L'exposition à la chaleur (entendue, de manière relative, comme une température élevée par rapport au climat habituel au printemps et en été) a des effets multiples sur la santé, se traduisant par un accroissement de la morbidité et de la mortalité. Cette influence de la chaleur sur la santé est non-linéaire, et caractérisée par une forte augmentation des risques, notamment de mortalité pour les températures les plus extrêmes (2). Elle est également rapide, puisque le risque de mortalité le plus élevé est observé moins de 24h après l'exposition, et peut perdurer dans les 3 à 10 jours (3).

Ceci fait des canicules<sup>1</sup> les événements climatiques extrêmes associés au fardeau humain le plus élevé en France métropolitaine (4). Entre 1970 et 2022, plus de 42 000 décès toutes causes en excès ont été observés pendant les canicules en France, dont près de 11 000 entre 2015 et 2022 (données détaillées disponibles sous [geodes.santepubliquefrance.fr](https://geodes.santepubliquefrance.fr)). En 2003, 70 000 décès toutes causes en excès ont été observés dans 16 pays européens touchés par une canicule sans précédent (5), dont 15 000 en France (6).

L'exposition de la population générale durant les jours chauds en dehors des canicules (i.e. avec des températures inférieures aux seuils d'alertes, ou supérieures mais sur moins de 3 jours) est souvent perçue comme ne présentant pas d'enjeu pour la santé, alors qu'elle est également associée à un risque accru de décès (2). En cumulé, ces températures qui correspondent à un risque faible de décès, mais sont fréquemment observées, représentent un impact plus important que les seules températures extrêmes (2). Ainsi, entre 2000 et 2010, dans 18 villes françaises, 13 855 décès ont été attribués à la chaleur, représentant 1,2 % [intervalle de confiance (IC) à 95 % 1,1 : 1,2] de la mortalité totale dans ces villes. Environ 29 % de cette mortalité attribuable à la chaleur était associée à des températures extrêmes (3).

Un impact important est également observé en termes de recours aux soins : chaque année depuis 2019, plus de 10 000 passages aux urgences (et jusqu'à environ 20 000 en 2022, 2021 et 2019) et entre 2 500 et 3 500 consultations SOS Médecins pour des pathologies en lien avec la chaleur (hyperthermies et coups de chaleur, déshydratations et hyponatrémies) sont enregistrés en été par les établissements participant au dispositif de surveillance SurSaUD (7-10).

L'importance des risques sanitaires associés aux températures extrêmes, et la rapidité avec laquelle les impacts sont observés justifient des mesures spécifiques pendant les canicules, pour réduire les expositions à la chaleur et améliorer la prise en charge médicale des personnes impactées. Dans le monde, les systèmes d'alerte canicule sont de plus en plus sollicités afin d'anticiper les mesures à prendre en vue de réduire les potentiels impacts sur la santé de ces périodes à risques (conseils de comportements, mais également modification des organisations, report d'événements (11)...). En France, l'instruction interministérielle de gestion sanitaire des vagues de chaleur cible des températures extrêmes et durables. Pendant ces périodes, anticipées et suivies via la vigilance canicule orange ou rouge de Météo-France, des campagnes de communication ciblées, des mesures variées au niveau local, et une coordination de la réponse publique au niveau national sont mises en œuvre (12, 13). Une

---

<sup>1</sup> Selon la définition de l'instruction interministérielle de gestion sanitaire des vagues de chaleur, les canicules sont des périodes d'au moins trois jours consécutifs pendant lesquelles les températures minimales et maximales glissantes sont supérieures à des seuils définis à partir des distributions des températures départementales.

surveillance sanitaire de la mortalité et du recours aux soins est prévue tout au long de l'été pour aider à la décision et est activée à partir de la vigilance orange canicule. Ce focus sur les canicules tend cependant à sous-estimer l'impact total de la chaleur sur la santé et en particulier sur la mortalité. Par ailleurs, l'estimation de la surmortalité pendant les canicules classiquement réalisée dans les bilans estivaux de Santé publique France s'appuie sur une comparaison entre la mortalité toutes causes observée vs attendue par rapport à une mortalité de référence, mais ne distingue pas une mortalité spécifiquement attribuable à la chaleur.

La chaleur ayant des effets multiples sur la santé, il n'est pas possible d'identifier directement, en temps réel, les décès qui lui sont attribuables, sur la base par exemple d'une cause de décès unique prédéfinie.

Ce rapport présente une méthode permettant de quantifier chaque année, à l'échelle départementale, la fraction de la mortalité attribuable à la chaleur durant l'été (1<sup>er</sup> juin - 15 septembre).



## 2. MÉTHODE

Dans la littérature, plusieurs études physiologiques (14) et épidémiologiques (15) amènent à conclure à un lien causal entre l'exposition à des températures élevées et une augmentation de la mortalité dans les heures et jours suivants. Il est donc possible de calculer une fraction de la mortalité attribuable à la température, sous réserve de disposer d'une relation température-mortalité adaptée à la période et à la zone d'intérêt.

La première étape consiste donc à développer des relations température-mortalité utilisables dans les départements français métropolitains. Ces relations sont ensuite utilisées pour calculer le nombre de décès attribuables à la chaleur durant l'été, et parmi ces décès la contribution des canicules. Les résultats obtenus ont été comparés aux données publiées par ailleurs dans les bilans annuels de Santé publique France pour les canicules, et dans les indicateurs de l'observatoire européen changement climatique et santé animé par l'agence européenne de l'environnement.

### 2.1. Construction des relations températures-mortalité

#### 2.1.1. Zones et période d'étude

L'étude porte sur les 96 départements de la France métropolitaine.

La période d'étude s'étend de 2014 à 2022, pendant la période d'opération du système d'alerte canicule et santé (Sacs), du 1<sup>er</sup> juin au 15 septembre de chaque année<sup>2</sup>. Pour la construction des relations températures-mortalité, la période a été étendue pour chaque année du 1<sup>er</sup> juin au 30 septembre afin de tenir compte des effets différés de la chaleur.

#### 2.1.2. Données de mortalité

Le compte de décès journalier (mortalité totale, tous âges et 75 ans et plus) sur la période 2014 à 2022 a été obtenu pour chaque département (département du lieu de décès) auprès de l'Insee. L'analyse a porté sur la mortalité totale tous âges et des 75 ans et plus.

#### 2.1.3. Données de températures

Les relations température – mortalité ont été construites pour la température moyenne, calculée comme la moyenne des températures minimales et maximales journalières. Les données journalières de températures minimales et maximales ont été obtenues auprès de Météo-France pour une station par département, correspondant aux stations de référence du Sacs en 2022.

Le choix de la température moyenne s'appuie sur des travaux antérieurs ayant mis en évidence que l'utilisation des températures moyennes, minimales ou maximales, et la prise en compte ou non de l'humidité avaient très peu d'influence sur les performances et les résultats des modèles (3, 16). Ces constats sont également partagés dans la littérature internationale (17, 18).

---

<sup>2</sup> À sa création en 2004, la période de surveillance du Sacs se terminait au 1<sup>er</sup> septembre. Elle a été étendue au 15 septembre en 2018.

#### 2.1.4. Données relatives à la pandémie de COVID-19

Plusieurs données ont été mobilisées pour prendre en compte l'influence possible de la pandémie de COVID-19 sur la relation température-mortalité :

- un indicateur binaire « pandémie » indiquant l'absence (étés 2014-2019) ou la présence (étés 2020-2022) de la pandémie pendant la période d'étude ;
- le compte journalier départemental de décès hospitaliers pour COVID-19 (Source SI-VIC) ;
- le nombre journalier départemental d'hospitalisations pour COVID-19 (Source SI-VIC) ;
- le taux journalier départemental d'incidence de la COVID-19 (Source SI-DEP).

Ces trois derniers indicateurs sont issus du site [data.gouv.fr](https://data.gouv.fr), et également disponibles sous [geodes.santepubliquefrance.fr](https://geodes.santepubliquefrance.fr)

#### 2.1.5. Analyses statistiques

L'approche retenue est une analyse en série temporelle multicentrique. Dans chaque département, la relation température-mortalité est étudiée à l'aide d'un modèle linéaire généralisé avec une distribution poissonnienne de la mortalité en prenant en compte la sur-dispersion des données. Le modèle inclut la température moyenne, le jour de la semaine, la saisonnalité et la tendance à long terme. La saisonnalité est modélisée avec une *natural-spline* cubique du jour de l'année avec quatre degrés de liberté et un terme d'interaction entre cette *spline* et un indicateur année. Le temps est introduit linéairement dans le modèle pour prendre en compte la tendance à long terme.

L'association avec la température est modélisée à l'aide de modèles non linéaires à retards distribués (19). Ces modèles permettent de décrire des associations non-linéaires retardées en combinant deux fonctions définissant d'une part l'association dose-réponse et d'autre part l'association dans la dimension des retards. L'association dans la dimension des retards représente la variation temporelle du risque après une exposition spécifique et elle estime la distribution des effets immédiats et retardés sur l'ensemble de la période des retards. L'association dans la dimension des températures est modélisée à l'aide d'une *natural-spline* cubique avec deux nœuds internes placés aux percentiles 50 et 90 de la distribution des températures moyennes. Le choix du nombre et de la position des nœuds de cette *spline* est obtenu à l'aide du critère d'Akaike. L'association dans la dimension des retards est modélisée à l'aide d'une *natural-spline* avec deux nœuds internes équidistants dans l'échelle *log* afin de permettre plus de flexibilité dans la première partie de la courbe des retards où plus de variabilité est attendue. La période des retards étudiée est fixée à 10 jours. Ce délai a été choisi sur la base de travaux dans 18 villes françaises montrant que l'impact de la chaleur était plus important dans les 0-3 jours suivant l'exposition, et pouvait être significatif jusqu'à un maximum de 10 jours (3).

Dans chaque département, l'association température-mortalité est ensuite réduite à l'association cumulée, en cumulant les risques sur la période des retards. Cette étape réduit ainsi le nombre de paramètres à combiner lors de la méta-analyse. Les estimations spécifiques à chaque département sont alors combinées en utilisant un modèle à effet aléatoire selon la méthodologie développée par Gasparrini *et. al.* (20, 21).

Afin de prendre en compte l'influence possible de la pandémie de COVID-19, plusieurs modèles ont été testés :

- modèle construit sur la période 2014-2019 (Modèle 2014-2019) ;
- modèles construits sur la période 2014-2022 (Modèles 2014-2022/indicateurs COVID-19) a) sans prise en compte de la COVID-19, b) avec l'indicateur pandémie, c) avec l'indicateur de décès COVID-19, d) avec l'indicateur d'hospitalisations COVID-19, ou e) avec l'indicateur taux d'incidence de la COVID-19 ;
- modèles stratifiés sur la période sans et avec COVID (Modèle 2014-2019 et Modèle 2020-2022). Le modèle 2020-2022 a été construit a) sans prise en compte d'indicateur COVID b) avec l'indicateur de décès COVID-19, c) avec l'indicateur d'hospitalisations COVID-19, ou d) avec l'indicateur d'incidence de la COVID-19.

Plusieurs *lags* ont été testés pour les indicateurs d'hospitalisations et d'incidences de la COVID-19 et une période de 0-14 jours avant le jour d'exposition à la température a été retenue sur la base du critère d'Akaike.

Les modèles construits sur la période 2014-2022 sont comparés entre eux à l'aide du critère d'Akaike. Par contre, ce critère ne peut pas être utilisé pour comparer l'ensemble des modèles, puisqu'ils ne sont pas tous construits sur la même étude. Il n'est donc pas possible de définir un critère *a priori* pour sélectionner un modèle parmi l'ensemble de ceux testés.

## 2.2. Calcul de la fraction de décès attribuable à la température entre le 1<sup>er</sup> juin et le 15 septembre et durant les canicules

À partir des modèles précédents, des associations température-mortalité recentrées pour chaque département sont produites. Cette méthode permet d'obtenir des associations robustes établies à partir d'une méta-analyse tout en prenant en compte les spécificités de chaque département (20, 21). Ces associations recentrées ont été utilisées pour calculer, selon la méthodologie décrite par Gasparrini *et. al.*, le nombre de décès attribuables à la température (22).

Les études épidémiologiques utilisent souvent la température associée au risque le plus faible de décès (température de mortalité minimale (TMM)) pour définir la chaleur (la chaleur correspond alors aux températures >TMM). Toutefois, cette TMM est très hétérogène selon les départements (variant du percentile 0 au percentile 80 de la distribution des températures estivales), ce qui conduit à des définitions et des résultats difficilement comparables. Le percentile 50 de la distribution des températures estivales a donc été choisi comme référence pour définir une température chaude (la chaleur et un jour chaud, correspond à une température > médiane de la distribution des températures des étés 2014-2022).

Le nombre de décès attribuables à la chaleur est calculé chaque année du 1<sup>er</sup> juin au 15 septembre et pendant les canicules. Les périodes de canicules correspondent aux jours où la moyenne sur 3 jours des températures minimales et maximales dépassait les seuils d'alerte départementaux, comme définis dans l'instruction interministérielle de gestion sanitaire des vagues de chaleur. Les seuils appliqués étaient les seuils d'alertes utilisés en 2022.

À partir du nombre de décès attribuables à la chaleur, on calcule deux fractions attribuables :

- une fraction attribuable à la chaleur du 1<sup>er</sup> juin au 15 septembre = nombre de décès attribuables à la chaleur / nombre de décès totaux du 1<sup>er</sup> juin au 15 septembre ;
- une fraction attribuable à la chaleur les jours chauds = nombre de décès attribuables à la chaleur / nombre de décès totaux les jours chauds.

La première illustre le poids de la chaleur sur la mortalité de l'ensemble de la période de surveillance estivale et sera influencée par le nombre de jours chauds observés chaque année. La seconde met en avant l'importance de la chaleur uniquement pendant les jours chauds.

## 2.3. Comparaison avec d'autres estimations

L'estimation du nombre de décès attribuable à la chaleur pendant les canicules a été comparée à l'estimation du nombre de décès en excès toutes causes publiés dans les bilans annuels canicules. Ces bilans estiment l'excès de mortalité pendant les canicules en comparant la mortalité toutes causes observée pendant la période, à une mortalité toutes causes de référence estimée à partir des 5 années précédentes (en excluant les périodes de vagues de chaleur et en donnant une pondération plus importante aux années les plus récentes). Les périodes de vagues de chaleur sont allongées de trois jours pour prendre en compte d'éventuels effets retardés (23). Le nombre de décès attribuable à la chaleur entre le 1<sup>er</sup> juin et le 15 septembre a également été comparé à l'indicateur « mortalité liée à la chaleur en Europe » de l'observatoire européen changement climatique et santé (24). Cet indicateur fournit une estimation annuelle, par pays, sur la période 2000-2020 à partir des données de mortalité hebdomadaires Eurostat et de températures moyennes hebdomadaires obtenues par télédétection sur une maille de 9km<sup>2</sup> (25). Il estime la mortalité attribuable à la chaleur en considérant les semaines dont la température moyenne est supérieure à la TMM. À noter que la méthode d'analyse n'est pas décrite en détail. Les estimations sont présentées en nombre de décès annuels par millions d'habitants. Nous avons utilisé la population annuelle française de l'Insee pour les convertir en nombres totaux de décès.

Compte tenu des différences d'objectifs, de méthodes et de données d'entrée (Tableau 1), ces différentes comparaisons sont présentées à titre indicatives mais n'ont pas valeur de validation.

**Tableau 1. Synthèse des méthodes utilisées dans ce rapport, dans les bilans canicules, et par l'observatoire européen changement climatique et santé**

	<b>Indicateur de santé</b>	<b>Méthode</b>	<b>Indicateur de température</b>	<b>Définition des périodes d'intérêt</b>
<b>Mortalité attribuable à la chaleur</b>	Mortalité journalière départementale totale exhaustive Insee	Modèles non linéaires à retards distribués départementaux à partir de données journalières	Température moyenne journalière départementale mesurée par une station de référence par département	Température moyenne supérieure à la médiane de la distribution des températures moyennes 2014-2022 du 1 <sup>er</sup> juin au 15 septembre chaque année
<b>Mortalité pendant les canicules (bilans canicule)</b>	Mortalité journalière départementale totale de 3 057 communes informatisées de l'Insee, extrapolée pour avoir une estimation totale	Comparaison de la mortalité observée à une mortalité de référence estimée à partir des 5 années précédentes	Sans objet	Période de canicule selon l'instruction interministérielle de gestion sanitaire des vagues de chaleur
<b>Indicateur de l'observatoire européen de l'environnement</b>	Mortalité hebdomadaire nationale Eurostat	Modèles non linéaires à retards distribués nationaux à partir de données hebdomadaires	Températures moyennes hebdomadaires obtenues par télédétection sur une maille de 9km <sup>2</sup>	Températures hebdomadaires supérieures à la TMM chaque année

## 3. RÉSULTATS

### 3.1. Relations températures-mortalité

#### 3.1.1. Analyses descriptives

Les analyses ont porté sur 1 437 755 décès toutes causes durant la période juin-septembre 2014-2022, dont 964 330 (67 %) concernaient des personnes de 75 ans et plus (source : Insee). Le nombre de décès annuel toutes causes, tous âges et des 75 ans et plus, est en augmentation entre 2014 et 2022 dans toutes les régions (Annexe 1 - Tableau 1). La part des 75 ans et plus parmi les décès totaux reste stable entre 2014 et 2021 (67 %), et augmente en 2022 (69 %) (Annexe 1 - Tableau 2).

Au niveau départemental, le nombre moyen quotidien de décès varie de 2,3 (département de la Lozère) à 58,9 (département du Nord).

Les températures départementales moyennes sur l'ensemble de la période de surveillance estivale varient de 17,2 °C dans les Ardennes à 24,9°C dans le Var (Annexe 2 - Figure 1). Dans tous les départements, les températures moyennes sont plus élevées en 2022 (Annexe 2 - Figure 2). Le nombre annuel de jours de dépassements des seuils d'alerte canicules varie de 0 à 34 (département de l'Isère, en 2022).

Durant la période de surveillance estivale, le nombre total de cas de COVID-19 est de 1 650 299 en 2020, 8 010 271 en 2021 et 3 380 724 en 2022. Au niveau départemental, le nombre moyen quotidien varie de 5,5 (département de la Lozère) à 1 384 (département des Bouches-du-Rhône) en 2020, de 33 (département de la Creuse) à 6 652 (département des Bouches-du-Rhône) en 2021 et de 370 (département de la Lozère) à 12 053 (département de Paris) en 2022.

#### 3.1.2. Sélection des modèles, forme de la relation et risques relatifs

Le modèle 2014-2022 n'intégrant pas d'indicateurs COVID-19 détaillés (décès, hospitalisations ou incidence) est meilleur, selon le critère d'Akaike, que les modèles intégrant ces indicateurs. Il en est de même pour les modèles restreints à la période 2020-2022. Ceci suggère que les termes de saisonnalité et tendance à long-terme des modèles sont suffisamment flexibles pour contrôler l'influence de la pandémie, et que des indicateurs spécifiques COVID-19 ne sont pas nécessaires.

L'ensemble des modèles testés retrouvent une relation similaire en « forme de J », traduisant une augmentation du risque de décès avec les températures élevées, pour la mortalité tous âges (Figure 1) et pour les 75 ans et plus (Figure 2). Les risques relatifs (RR) sont également très proches entre les différents modèles (Annexe 3).

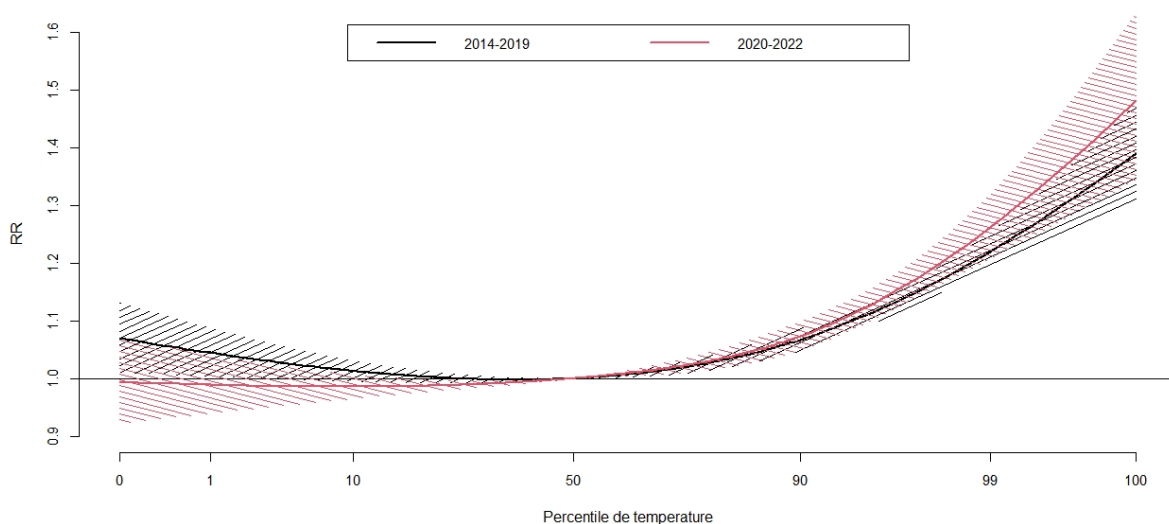
Les différents modèles donnant des résultats très similaires en termes de forme de relation, RR et impacts, nous avons retenu le modèle stratifié pour la présentation principale de résultats. Les résultats des autres modèles sont disponibles en annexe 3. Ce modèle stratifié permet de prendre en compte une influence éventuelle systémique de la COVID-19 sur la relation température-mortalité (influence sur les comportements, la prise en charge médicale, la vulnérabilité socio-économique...).

Sur la période 2014-2019, le risque de décès tous âges à une température de 24,2°C (correspondant au percentile 90 de la distribution de la température moyenne du 1<sup>er</sup> juin au 15 septembre 2014-2019) est 1,07 [1,05 :1,09] fois plus élevé qu'à une température de 19,8°C (correspondant au percentile 50 de la distribution de la température moyenne sur la période du 1<sup>er</sup> juin au 15 septembre 2014-2019). Il est 1,25 [1,21 :1,30] fois plus élevé à une température de 28,5 °C (correspondant au percentile 99,5 de la distribution de la température moyenne du 1<sup>er</sup> juin au 15 septembre 2014-2019) qu'à une température de 19,8°C. Sur la période 2020-2022, les RR sont un peu plus élevés pour les percentiles les plus élevés : sur cette période, une température de 28,5°C est associée à un RR de 1,31 [1,24 :1,38] (NB : dans le tableau et en Annexe, tous les RR ont été exprimés pour les mêmes températures, pour être sur une échelle commune). Les mêmes tendances ont été observées pour la mortalité des 75 ans et plus (Tableau 2).

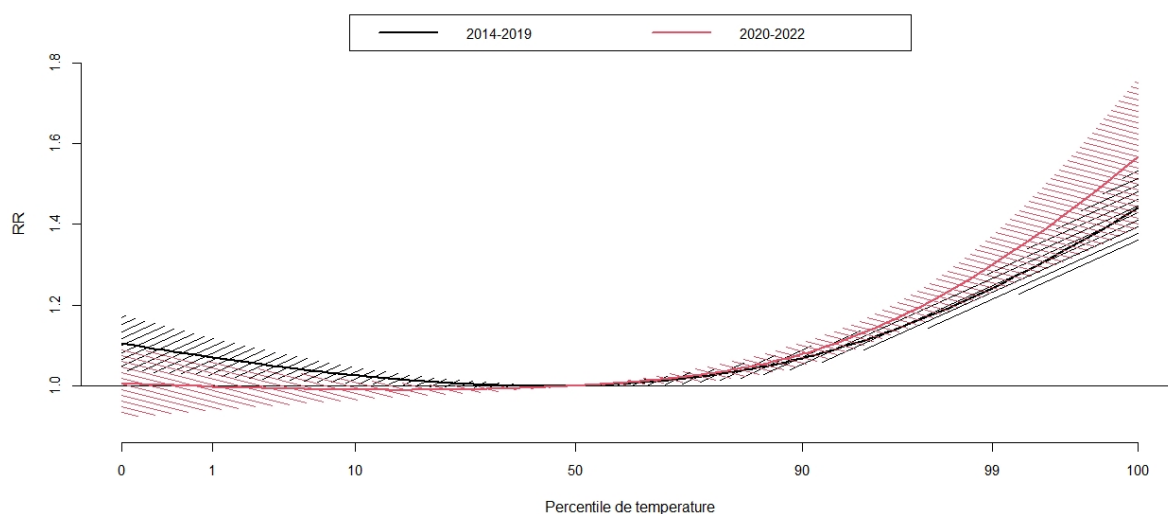
**Tableau 2. RR de décès pour différents percentiles par rapport au percentile 50, modèle stratifié sur les périodes avant et après la pandémie de COVID-19**

Incrément en percentiles (distribution 2014-2019)	Incrément en degrés °C	RR tous âges		RR 75 ans et plus	
		2004-2019	2020-2022	2014-2019	2020-2022
P90 vs P50	24,2 vs 19,8	1,07 [1,05 :1,09]	1,07 [1,05 :1,10]	1,07 [1,05 :1,09]	1,08 [1,05 :1,11]
P97,5 vs P50	26,7 vs 19,8	1,16 [1,14 :1,19]	1,19 [1,16 :1,23]	1,18 [1,15:1,21]	1,21 [1,17 :1,26]
P99 vs P50	27,8 vs 19,8	1,22 [1,19 :1,25]	1,26 [1,21 :1,32]	1,24 [1,20 :1,28]	1,30 [1,23 :1,37]
P99,5 vs P50	28,5 vs 19,8	1,25 [1,21 :1,30]	1,31 [1,24 :1,38]	1,28 [1,23 :1,34]	1,35 [1,27 :1,45]
P99,9 vs P50	29,7 vs 19,8	1,34 [1,27 :1,41]	1,42 [1,30 :1,53]	1,38 [1,30 :1,46]	1,49 [1,34 :1,64]

**Figure 1. Relation température-mortalité sur les périodes 2014-2019 et 2020-2022– tous âges, méta-analyse de l'ensemble des départements métropolitains, RR cumulés sur 10 jours et exprimés en référence au percentile 50**







**Figure 2. Relation température-mortalité sur les périodes 2014-2019 et 2020-2022– 75 ans et plus, méta-analyse de l'ensemble des départements métropolitains, RR cumulés sur 10 jours et exprimés en référence au percentile 50**

Dans la majorité des départements, la médiane de la distribution des températures est supérieure à la TMM, et compris dans l'intervalle de confiance à 95% de la TMM (Figure 1 - Annexe 4).

### 3.2. Fractions attribuables à la chaleur

Selon le modèle stratifié, entre 2014 et 2022, on estime que 32 658 décès [IC95% 29 612 : 34 975] sont attribuables à la chaleur et que 28 % de ces décès sont observés pendant les canicules telles que définies par le plan de gestion des vagues de chaleur. 23 080 [21 076 : 24 556] décès de personnes âgées de 75 ans et plus sont attribuables à la chaleur pendant cette période, dont 28 % pendant les canicules (Tableau 3). Le ratio entre le nombre de décès des 75 ans et plus attribuables à la chaleur et le nombre de décès totaux attribuables à la chaleur est stable sur l'ensemble de la période.

Les estimations obtenues avec les autres modèles sont résumées en Annexe 4 pour l'ensemble de la période et pour l'année 2022. Elles donnent des ordres de grandeur proches de ceux présentés ici.

Les impacts les plus importants sont observés en 2022 (6 969 [6 277 : 7 445] décès en excès dont 29 % pendant les canicules), et 2019 (4 441 [4 086 : 4 717] décès en excès dont 42 % pendant les canicules). L'impact était également supérieur à 4 000 décès en 2018 et 2020. La contribution des canicules dans la part des décès liés à la chaleur est logiquement très faible les années avec peu de canicules comme en 2014, 2016 et 2021 (Tableau 3).



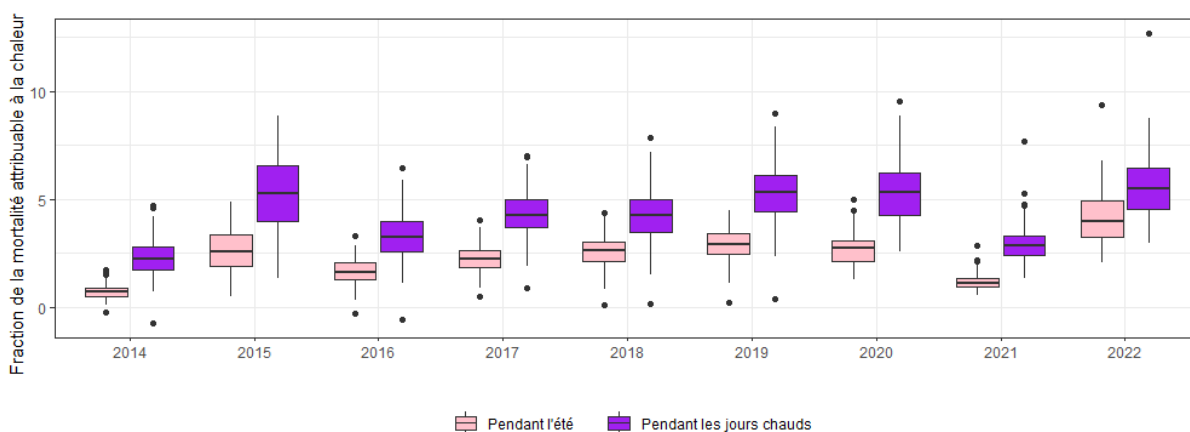
**Tableau 3. Température moyenne de l'été, caractéristiques des canicules, nombre de décès attribuables à la chaleur chaque année [IC95 %], pendant l'été (1<sup>er</sup> juin - 15 septembre) et pendant les canicules**

	Température moyenne de l'été (°C)	Nombre de départements ayant connu une canicule	Durée moyenne des canicules par départements (jours)	Nombre cumulé de jours de canicule pour tous les départements	Décès attribuable à la chaleur - Tous âges			Décès attribuable à la chaleur - 75 ans et plus		
					1 <sup>er</sup> juin - 15 septembre	Pendant les canicules	% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés	1 <sup>er</sup> juin - 15 septembre	Pendant les canicules	% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés
<b>2014</b>	19,1	5	6	30	1 103 [923 : 1 259]	49 [37 :59]	4	726 [594 :838]	30 [21 :38]	4
<b>2015</b>	20,3	50	14	688	3 795 [3 477 :4 059]	1 161 [1 100 : 1 208]	31	2 645 [2 831 : 2 862]	830 [767 :883]	31
<b>2016</b>	20,2	24	7	167	2 573 [ 2 257 : 2 834]	249 [221 :271]	10	1 777 [1 532 :1 978]	178 [153 :197]	10
<b>2017</b>	20,3	63	8	521	3 354 [3 027 :3 630]	733 [684 :775]	22	2 323 [2 059 :2 536]	516 [470 :554]	22
<b>2018</b>	21,0	66	10	664	4 166 [3 716 :4 520]	1 277 [1 191 :1 350]	31	2 854 [2 510 : 3 129]	892 [820 : 961]	31
<b>2019</b>	20,6	86	12	1 055	4 441 [4 086 : 4 717]	1 879 [1 812 : 1 929]	42	3 119 [2 820 :3 349]	1 358 [1 287 : 1 413]	44
<b>2020</b>	20,4	73	10	713	4 329 [3 919 :4 606]	1 531 [1 350 :1 636]	35	3 106 [2 866 : 3 260]	1 117[979 :1 202]	36
<b>2021</b>	19,9	9	7	63	1 927 [1 673 :2 137]	88 [63 :110]	5	1 357 [1 272 :1 423]	67 [45 :83]	5
<b>2022</b>	22,0	69	14	981	6 969 [6 277 :7 445]	2 051 [1 791 : 2 214]	29	5 173 [4 751 :5 467]	1 578 [1 359 :1 708]	31

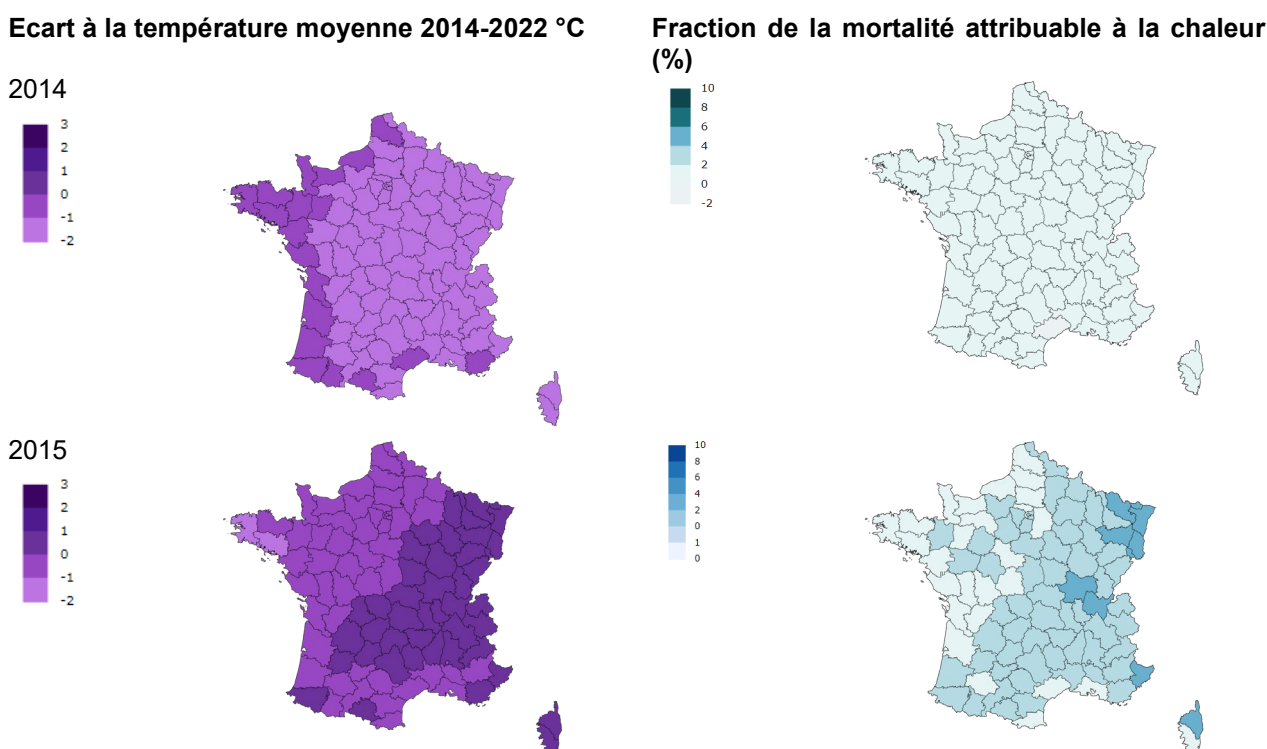
Selon le département et l'année, entre 0 et 9,4 % de la mortalité observée entre le 1<sup>er</sup> juin et le 15 septembre est attribuable à la chaleur. Cette fraction attribuable est, sur l'ensemble des départements, en moyenne égale à 2,7 % en 2015, 2018, 2019 et 2020, et à 4,1 % en 2022. Si l'on calcule la fraction attribuable uniquement pendant les jours chauds (avec une température supérieure au percentile 50), elle est en moyenne égale à 5,3 % en 2015, 2019, 2020 et 2022 (Figure 3).

La Figure 4 détaille la fraction de la mortalité attribuable à la chaleur par département et par année.

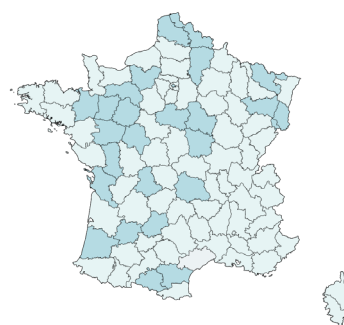
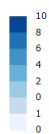
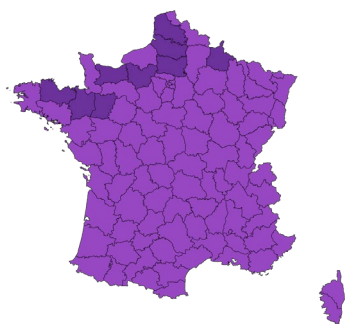
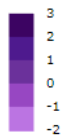
**Figure 3. Fraction de la mortalité estivale (1<sup>er</sup> juin - 15 septembre) attribuable à la chaleur, sur l'ensemble de la période et uniquement pendant les jours chauds**



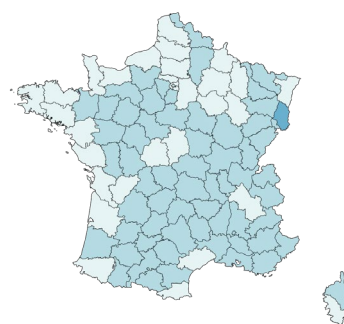
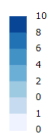
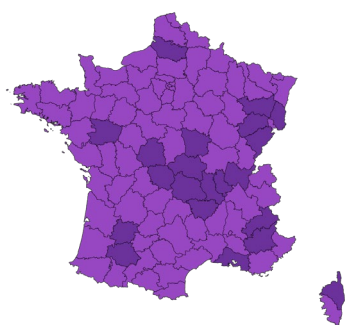
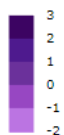
**Figure 4. Écart de la température moyenne 1<sup>er</sup> juin - 15 septembre de chaque année à la moyenne 2014-2022 et fraction de la mortalité estivale (1<sup>er</sup> juin - 15 septembre) attribuable à la chaleur**



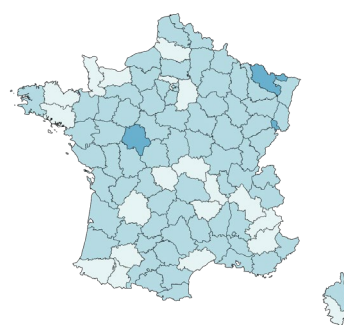
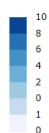
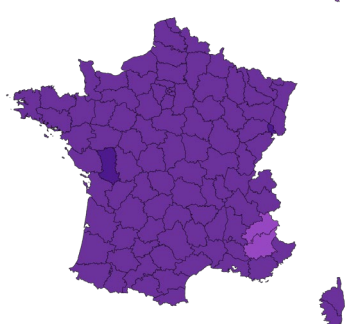
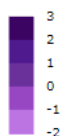
2016



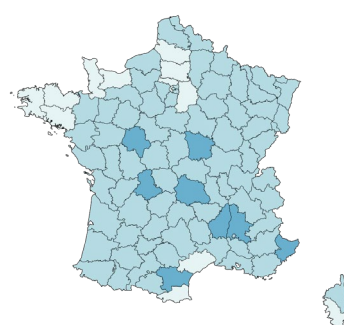
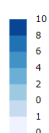
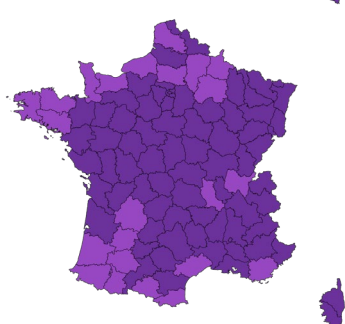
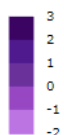
2017



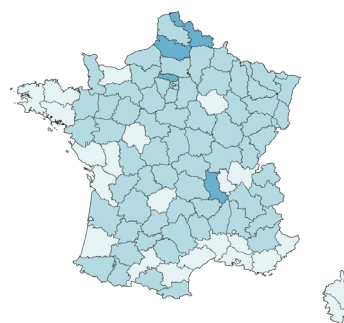
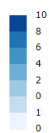
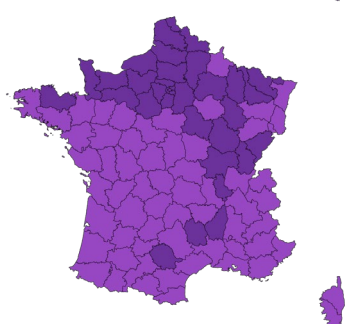
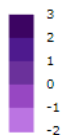
2018

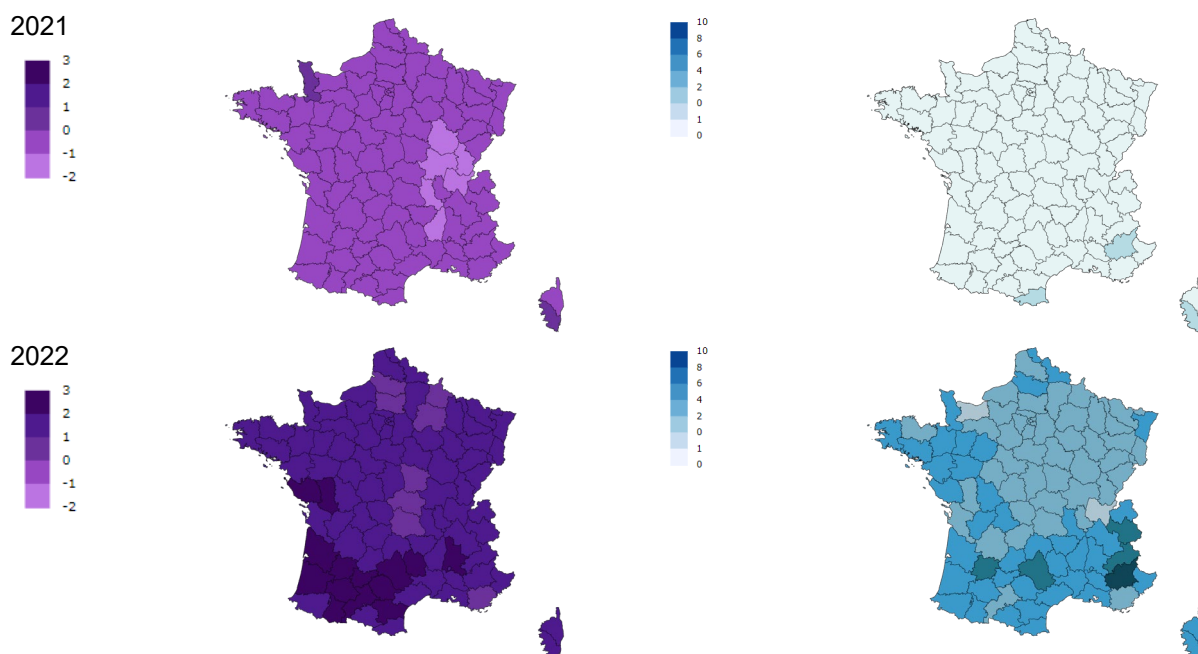


2019



2020





### 3.3 Comparaison avec d'autres estimations

#### 3.3.1 Comparaison avec les bilans canicules annuels de Santé publique France

Entre 2014 et 2022, parmi les décès attribuables à la chaleur, l'estimation issue du modèle stratifié indique que 9 018 [8 434 : 9 374] sont survenus pendant les canicules. Sur la même période, 10 642 décès toutes causes en excès ont été comptabilisés dans les bilans canicules. Les estimations des bilans canicules ne sont pas systématiquement supérieures aux estimations modélisées : en 2017 et 2019, les estimations de décès attribuables sont plus élevées que les valeurs proposées dans les bilans canicules. Par ailleurs, les intervalles de confiance des deux estimations se recoupent pour 2018, 2019, 2020 et 2022 (Tableau 3).

Au niveau départemental, l'écart le plus important est observé en 2020, dans le département du Nord, avec une mortalité toutes causes estimée dans les bilans canicules de +353 décès, vs +199 décès attribuables à la chaleur estimés par la modélisation. Le second écart le plus important correspond à la Gironde en 2022, avec +182 décès toutes causes en excès dans les bilans canicules, vs +89 attribuables à la chaleur dans la modélisation.

**Tableau 4. Comparaison du nombre de décès en excès pendant les canicules obtenus par la modélisation (attribuables à la chaleur), et par les bilans canicules (toutes causes)**

	Nombre de décès attribuables à la chaleur estimés pendant les canicules	Nombre de décès toutes causes estimés dans les Bilans canicules [min :max]	Différence entre le nombre de décès attribuable à la chaleur estimés par le modèle et par les bilans canicules (valeurs centrales)
2014	49 [37 :59]	Pas de bilan canicule en 2014	
2015	1 161 [1 100 : 1 208]	1 739 [1 620 :1 832]	-578
2016	249 [221 :271]	378 [327 : 441]	-129
2017	733 [684 :775]	474 [286 : 696]	259
2018	1 277 [1 191 :1 350]	1 641 [1 071 : 2 164]	-364
2019	1 879 [1 812 : 1 929]	1 462 [548 : 2 221]	417
2020	1 531 [1 350 :1 636]	1 924 [1 484 : 2 387]	-393
2021	88 [63 :110]	239 [199 :296]	-151
2022	2 051 [1 791 : 2 214]	2 816 [1 989 : 3 502]	-765

### 3.3.2 Comparaison avec le nombre de décès attribuables à la chaleur de l'observatoire européen changement climatique et santé

Entre 2014 et 2020, 21 444 décès ont été attribués à la « chaleur » (à des températures hebdomadaires supérieures à la TMM selon l'indicateur de l'observatoire européen changement climatique et santé issu du Lancet Countdown), vs 23 762 décès attribuable à la « chaleur (à des températures supérieures à la médiane de la distribution estivale 2014-2022) à partir de la modélisation proposée dans cette étude. L'observatoire ne donne pas le détail des périodes prises en compte dans son calcul, ni de la valeur de la TMM hebdomadaire pour la France, ce qui limite la possibilité de comparaison. Les estimations par année sont cependant d'un ordre de grandeur cohérent, avec des valeurs plus élevées estimées par le modèle développé pour cette étude en particulier en 2014 (Tableau 4).

**Tableau 5. Comparaison du nombre de décès attribuables à la chaleur et des estimations de l'observatoire européen changement climatique et santé**

	Nombre de décès attribuables à la chaleur	Données de l'observatoire (24)	Différence entre le nombre de décès attribuable à la chaleur estimés par le modèle et l'indicateur de l'observatoire (valeurs centrales)
<b>2014</b>	1 103 [923 : 1 259]	473	630
<b>2015</b>	3 795 [3 477 : 4 059]	3 135	660
<b>2016</b>	2 573 [ 2 257 : 2 834]	2 118	455
<b>2017</b>	3 354 [3 027 : 3 630]	2 769	585
<b>2018</b>	4 166 [3 716 : 4 520]	4 205	-39
<b>2019</b>	4 441 [4 086 : 4 717]	4 721	-280
<b>2020</b>	4 329 [3 919 : 4 606]	4 023	306

## 4. DISCUSSION

### 4.1. Forces et faiblesses de l'étude

Cette étude s'appuie sur de longues séries temporelles, avec une puissante statistique satisfaisante dans la majorité des départements. Le faible nombre journalier de décès dans les départements les moins peuplés constitue néanmoins une limite dans ceux-ci, en partie réduite par l'utilisation d'estimateurs recentrés pour calculer les nombres de cas attribuables à la chaleur.

L'approche statistique pour estimer les relations température - mortalité et les fractions de mortalité attribuables à la température s'appuie sur des méthodes éprouvées et classiquement utilisées en épidémiologie. Pour le calcul du nombre de cas attribuable, le choix a été fait de prendre comme référence le percentile 50 de la distribution de température plutôt que la TMM. Cette dernière est en effet très variable selon les départements et associée à une incertitude importante, et ne semble donc pas être la référence la plus pertinente pour calculer un impact.

Les résultats obtenus (RR, fractions attribuables, contribution des canicules à l'impact total) sont cohérents avec des travaux précédents menés à l'échelle des 18 villes du programme de surveillance (3, 26). Ils sont également cohérents avec les estimations France entière de l'indicateur mortalité liée à la chaleur de l'observatoire européen changement climatique et santé (24). Enfin, les estimations pendant les canicules sont également d'ordre de grandeur cohérents avec les bilans réalisés chaque été par Santé publique France.

#### 4.1.1. Estimation de l'exposition

L'analyse au niveau départemental masque des contrastes infra-départementaux d'exposition et potentiellement de vulnérabilité. Si la station de référence départementale du Sacs est censée être représentative de l'exposition de la majorité de la population du département, des variations de températures infra-départementales peuvent être importantes, notamment pour les départements côtiers ou montagnards ou définis par une densification urbaine hétérogène.

Selon la distribution géographique de la chaleur chaque été, cela peut conduire à une sous ou surestimation de l'impact par rapport à des données plus fines. La sous-estimation pourrait être importante en zone densément peuplée, où le phénomène d'îlot de chaleur urbain peut conduire à une des températures largement supérieures à celles relevées aux stations de référence.

L'information disponible indique le département de décès de la personne décédée, conduisant à l'hypothèse que l'exposition à la chaleur a eu lieu dans le même département. Les personnes exposées et décédées dans deux départements différents sont donc incorrectement prises en compte, mais cela représente une très faible part des décès, et *a priori* une très faible répercussion sur les résultats.

#### 4.1.2. Extrapolation pour des situations sans référence historique

Les modèles s'appuient sur des données historiques de température et de mortalité pour estimer une relation température-mortalité qui sert ensuite de base au calcul des fractions attribuables. Confronté à des profils d'expositions inédits (températures plus élevées qu'historiquement observées, sur des périodes plus longues, dans des zones auparavant jamais impactées), le modèle propose une extrapolation de la relation qui ne peut être immédiatement vérifiée. Ceci peut conduire à une sous ou une surestimation de l'impact, si le modèle n'arrive pas à extrapoler l'influence des températures les plus extrêmes.



### 4.1.3. Influence de la pandémie de COVID-19

Les différentes approches capturant une éventuelle influence de la pandémie de COVID-19 suggèrent que les termes de tendance à long-terme et de saisonnalité sont suffisantes. Les résultats évoquent également des RR légèrement plus élevés pour les percentiles les plus élevés sur la période 2020-2022. Au Portugal, une étude suggère que la pandémie de COVID-19 a été responsable d'une augmentation d'au moins 50 % de la mortalité liée à la chaleur en 2020 par rapport à ce qui aurait été attendue sans pandémie, un impact que les auteurs expliquent par la désorganisation du système de santé, et la modification des comportements des personnes (moins de recours aux soins) (27). L'état de santé de la population, la prise en charge socio-médicale et le lien social sont des facteurs importants de vulnérabilité ou de résilience vis-à-vis de la chaleur, et tout événement les modifiant de manière notable peut conduire à une aggravation de l'impact des canicules.

Si on peut faire l'hypothèse que le risque lié à la température est aggravé par la pandémie de COVID-19, cette pandémie a également pu réduire avant l'été le nombre de personnes très vulnérables à la chaleur au point de masquer l'augmentation du risque. Il n'est pas possible de faire la part de ces deux influences possibles de la pandémie avec l'approche utilisée ici.

### 4.1.4. Pollution de l'air

La modélisation n'a pas pu prendre en compte la pollution de l'air ambiant (des indicateurs de pollution départementaux ont peu de sens). Dans la littérature, plusieurs études montrent une synergie négative entre température et pollution de l'air (28-30), avec à températures équivalentes des risques plus élevés lorsque les concentrations d'ozone ou de particules fines sont plus élevées. Des travaux suggèrent également un effet accru en lien avec la pollution des feux de forêt. Des études *ad hoc* devraient être menées pour creuser ces interactions.

### 4.1.5. Âge

Pour ne pas être limitée par la puissance statistique, l'analyse n'a porté que sur la mortalité tous âges et des 75 ans et plus, et sur la mortalité totale.

Les estimations obtenues pour les 75 ans et plus représentent environ 71 % des estimations tous âges, suggérant qu'une part non négligeable de la mortalité est attribuable à des personnes plus jeunes. Les personnes décédées de la chaleur sont souvent perçues comme des personnes très fragiles dont le décès n'aurait été avancé que de quelques jours. Cependant, il n'existe pas de preuve de cet « effet moisson », les études explorant l'impact sur une période en général courte. Une étude portant sur 278 zones principalement situées en Amérique du Nord et Europe a conclu que les décès attribuables à la température étaient avancés d'au moins un an (en Amérique du Nord, les résultats suggèrent que les décès sont avancés de moins de un an) (31). En France, seuls 1/3 des décès observés pendant la canicule de 2003 auraient été avancés de moins de un an (32).

La littérature indique par ailleurs que la chaleur influence un grand nombre de causes de mortalité (cardiovasculaire, respiratoire, cérébrovasculaire, rénales, diabète, suicides) (33), ainsi que sur le recours aux soins, et la santé périnatale. Le nombre de décès liés à la chaleur ne représente donc qu'une partie de l'impact total de la chaleur sur la santé en termes de morbi-mortalité.

## 4.2. Intérêt du modèle pendant la période de surveillance estivale

Cette méthode à l'échelle départementale permet ainsi d'estimer chaque année un nombre de décès attribuable à la chaleur et de faire un focus sur des périodes d'intérêt comme les canicules. Elle fournit une estimation complémentaire de l'excès de mortalité toutes causes estimée durant les canicules dans les bilans annuels et réalisée également à une échelle départementale.

Les ordres de grandeurs sont cohérents entre les impacts attribuables à la chaleur estimés par le modèle durant les canicules et ceux estimés à travers la mortalité toutes causes et publiés dans les bilans annuels, et les différences observées sont attendues. Les bilans canicules comparent une mortalité observée à une mortalité attendue sur la base de l'historique, sans attribuer directement les décès à la chaleur, mais en faisant l'hypothèse que cette dernière est la cause principale des excès observés.

Par rapport à un modèle calculant une fraction attribuable à la chaleur, les bilans peuvent surestimer l'impact de la chaleur, mais également capter des impacts inattendus ou indirects qui ne sont pas pris en compte par la modélisation (situation météorologique inédite...). Les écarts importants observés entre les deux méthodes, notamment en Gironde en 2022 et dans le Nord en 2020, appellent à des investigations complémentaires. En 2022, on peut faire l'hypothèse que la durée, l'intensité de la chaleur, et la co-exposition avec les panaches des feux de forêts a conduit à des impacts exacerbés. En 2020, la pandémie de COVID-19 a pu interagir avec le risque associé à l'exposition à la chaleur, dans une région par ailleurs peu habituée à la chaleur, et avec une vulnérabilité sociale à la chaleur *a priori* élevée. Au Royaume-Uni, une comparaison similaire à celle réalisée ici a également mis en évidence des différences importantes entre les estimations des impacts des canicules en 2020, et fait l'hypothèse que la COVID-19 a amplifié les risques liés à la chaleur (34).

En 2022, pendant les canicules, le modèle a estimé environ 2 051 décès en excès attribuables à la chaleur vs 2 816 décès toutes causes en excès dans le bilan canicule. Pour les mêmes périodes et départements que ceux du bilan, 894 décès liés à l'épidémie de Covid-19 ont été enregistrés à l'hôpital et dans les établissements médico-sociaux. Entre le 1<sup>er</sup> juin et le 15 septembre 2022, 10 420 décès toutes causes en excès ont été estimés en France métropolitaine par le système de surveillance EuroMomo et 5 735 décès Covid-19 ont été enregistrés à l'hôpital et dans les établissements sociaux et médico-sociaux (7). Durant cette période, le modèle a estimé environ 6 969 décès en excès attribuables à la chaleur. Ces différentes estimations suggèrent un recoupement partiel des décès liés à la chaleur et des décès COVID-19 en 2022 (environ 2 000 décès potentiellement communs COVID-19 + chaleur, cette estimation étant un ordre de grandeur macro, une modélisation ad hoc serait nécessaire pour avoir une estimation plus fine de l'impact conjoint).

Les relations température-mortalité pourront être mises à jour chaque année et utilisées pour estimer rétrospectivement les fractions attribuables à la chaleur dans les prochains bilans canicules, à partir des données de mortalité toutes causes de l'Insee.

Pour calculer « en temps réel » l'impact de la chaleur, il faudrait par contre disposer en temps réel de la mortalité observée, ce qui n'est pas possible actuellement du fait notamment des limites de couverture de la certification électronique des décès.

Ce type de modèle pourrait également être testé dans les prochaines années pour prédire *a priori* l'impact de la chaleur, en appliquant la relation température-mortalité à des prédictions de température, et à une série de mortalité de référence construite à partir des années de référence. Parmi les points de vigilance, il est à noter que ce modèle a été construit sur la base de données historiques, or les évolutions climatiques sont dorénavant très fortes et pourraient conduire à des évolutions notables de la relation exposition risque dans les années à venir.



# CONCLUSION

Ce travail a permis de développer une méthode permettant d'estimer à l'échelle départementale la mortalité annuelle attribuable à la chaleur, tous âges et pour les personnes de 75 ans et plus. Il est ainsi possible d'illustrer le poids de la température dans la mortalité, et son évolution spatiale et temporelle.

Les résultats soulignent l'importance de la mortalité liée à la chaleur depuis 2014, et le besoin de renforcer l'adaptation dans un contexte de changement climatique rapide. Entre 1 000 et 7 000 décès sont attribuables à la chaleur (à des températures supérieures au percentile 50 de la distribution des températures estivales) chaque année, selon le contexte météorologique. Cet impact correspond à un faible nombre de jour par an, mais en relatif peut représenter jusqu'à 9 % de la mortalité estivale, et 12 % de la mortalité des jours où la température est supérieure au percentile 50. À titre de comparaison, la pollution de l'air particulaire est responsable de 40 000 décès par an en France (35), soit environ 7 % de la mortalité, pour une exposition concernant la totalité de la population sur l'ensemble des jours de l'année.

Les résultats illustrent également que l'impact de la chaleur n'est pas limité aux périodes les plus extrêmes. L'exposition de la population à la chaleur en dehors des périodes de canicules, associée à un risque plus faible mais plus fréquent, contribue davantage à l'impact total que les chaleurs extrêmes associées à un risque plus élevé mais plus rare.

Le focus de l'alerte sur les canicules extrêmes se justifie par leur contribution au bilan total : en moyenne, 6 % des jours totalisent 28 % de l'impact lié à la chaleur. L'organisation d'une réponse spécifique pendant les canicules est également nécessaire compte-tenu de leur potentiel de désorganisation massive et rapide du système de soin, comme cela a été observé en 2003. Il faut cependant compléter cette adaptation réactive pendant les événements extrêmes par une adaptation structurelle pour réduire le risque tout au long de l'été.

L'impact très important observé en 2022 par rapport aux autres années préfigure les défis à venir : des températures très élevées tout l'été, avec des pics extrêmes, et un risque aggravé par une pandémie et probablement par la pollution de l'air générée par les incendies localement. Selon Météo-France, les canicules de l'été 2022 auraient été « hautement improbables et nettement moins intenses sans l'effet du changement climatique ».

# Annexes

## Annexe 1. Descriptif des données de mortalité par région

**Tableau 6. Nombre de décès toutes causes tous âges du 1<sup>er</sup> juin au 15 septembre par année et par région**

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Auvergne Rhône-Alpes	17 230	18 436	18 146	18 092	18 688	18 753	18 970	18 946	20 001
Bourgogne Franche-Comté	7 518	7 867	7 749	7 928	7 943	8 063	8 039	8 031	8 600
Bretagne	8 888	9 097	9 414	9 323	9 594	9 666	9 707	10 214	10 666
Centre Val de Loire	6 528	6 673	6 721	6 840	6 966	7 092	7 216	7 222	7 371
Corse	813	831	832	876	897	895	937	1 002	1 011
Grand Est	13 350	14 088	13 927	13 650	14 199	14 372	14 427	14 384	15 110
Hauts de France	14 219	14 514	14 430	14 490	14 715	14 580	15 345	15 027	15 619
Île de France	19 467	19 636	20 015	19 719	20 016	20 251	20 356	20 481	21 010
Normandie	8 458	8 722	8 680	8 659	8 859	8 978	9 414	9 552	10 048
Nouvelle Aquitaine	16 470	16 958	17 164	17 241	17 773	17 673	17 897	18 598	19 509
Occitanie	14 895	15 329	15 646	15 418	16 257	15 934	16 483	17 245	18 218
Provence Alpes Côte d'Azur	13 009	13 973	13 540	13 953	14 213	14 288	14 443	15 466	15 761
Pays de la Loire	8 690	8 949	9 244	9 193	9 418	9 586	9 646	9 952	10 664
<b>France métropolitaine</b>	<b>149 535</b>	<b>155 073</b>	<b>155 508</b>	<b>155 382</b>	<b>159 538</b>	<b>160 131</b>	<b>162 880</b>	<b>166 120</b>	<b>173 588</b>

**Tableau 7. Part des 75 ans et plus parmi les décès toutes causes tous âges du 1<sup>er</sup> juin au 15 septembre par année et par région**

	9	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Auvergne Rhône-Alpes	68	69	68	69	69	69	68	69	68	71
Bourgogne Franche-Comté	67	69	68	68	68	69	69	68	68	69
Bretagne	67	69	67	67	67	67	68	66	68	69
Centre Val de Loire	70	70	69	68	69	69	69	70	71	71
Corse	68	67	69	66	66	67	66	71	71	70
Grand Est	65	66	66	66	66	66	66	66	65	67
Hauts de France	62	62	62	61	62	62	61	61	60	63
Île de France	61	62	62	62	62	62	63	62	61	64
Normandie	65	66	66	65	66	66	68	66	65	67
Nouvelle Aquitaine	70	70	70	69	70	70	70	70	70	72
Occitanie	69	69	69	69	69	69	69	69	69	71
Provence Alpes Côte d'Azur	69	69	70	69	69	69	69	70	70	72
Pays de la Loire	68	68	68	69	68	68	69	68	67	70
<b>France métropolitaine</b>	<b>67</b>	<b>67</b>	<b>67</b>	<b>67</b>	<b>67</b>	<b>67</b>	<b>67</b>	<b>67</b>	<b>67</b>	<b>69</b>

# Annexe 2. Descriptif des données de température

Figure 5. Températures départementales moyennes estivales (1er juin - 30 septembre) sur l'ensemble de la période (2014-2022)

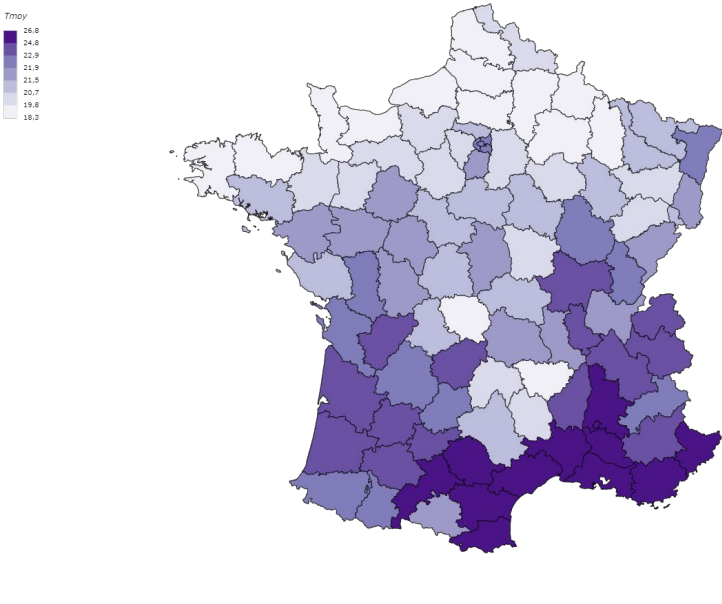
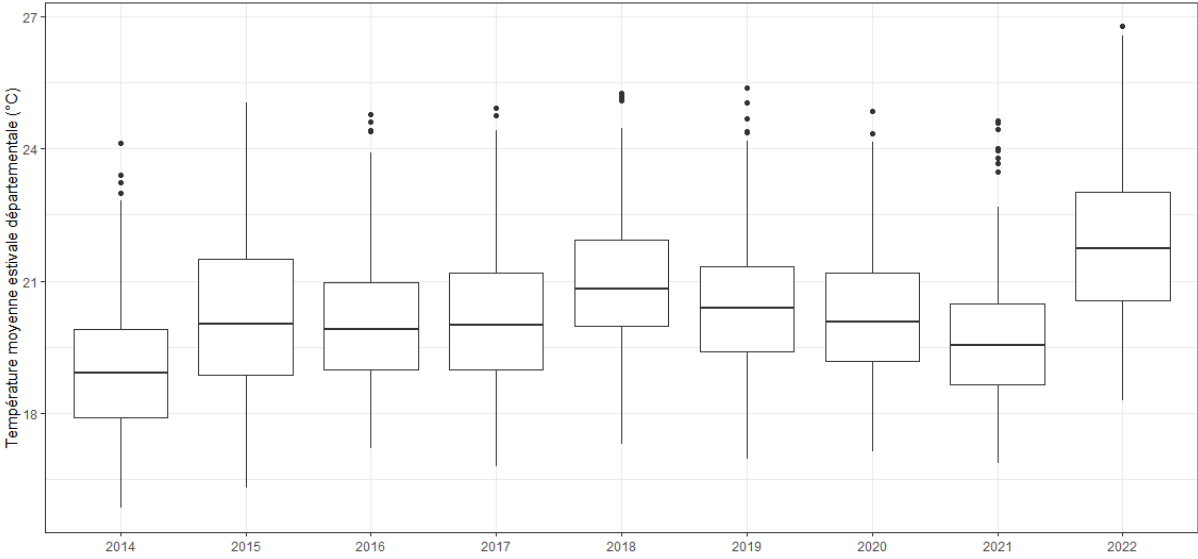


Figure 6. Distribution des températures départementales moyennes estivales (1er juin - 30 septembre) par année



## Annexe 3. RR des différents modèles

Modèle 2014 – 2019				
Incrément percentiles	en	Incrément en degré °C	RR tous âges	RR 75 ans et plus
P90 vs P50		24,2 vs 19.8	1,07 [1,05 :1,09]	1,07 [1,05 :1,09]
P97,5 vs P50		26.7 vs 19.8	1,16 [1,14 :1,19]	1,18 [1,15 :1,21]
P99 vs P50		27.8 vs 19.8	1,22 [1,19 :1,25]	1,24 [1,20 :1,28]
P99,5 vs P50		28.5 vs 19.8	1,25 [1,21 :1,30]	1,28 [1,23 :1,34]
P99,9 vs P50		29.7 vs 19.8	1,34 [1,24 :1,41]	1,38 [1,30 :1,46]

### Modèles 2014-2022/indicateurs COVID-19

a) sans prise en compte de la COVID-19

		RR tous âges		RR 75 ans et plus	
Incrément percentiles	en	Incrément en degré °C	2014-2022	2014-2022	2014-2022
P90 vs P50		24,2 vs 19.8	1,07 [1,06 :1,09]		1,08 [1,06 :1,09]
P97,5 vs P50		26.7 vs 19.8	1,18 [1,16 :1,20]		1,21 [1,18 :1,23]
P99 vs P50		27.8 vs 19.8	1,25 [1,22 :1,28]		1,28 [1,25 :1,32]
P99,5 vs P50		28.5 vs 19.8	1,28 [1,25 :1,32]		1,33 [1,28 :1,39]
P99,9 vs P50		29.7 vs 19.8	1,38 [1,32 :1,44]		1,46 [1,38 :1,54]

b) avec l'indicateur pandémie

		RR tous âges		RR 75 ans et plus	
Incrément percentiles	en	Incrément en degré °C	2014-2022	2014-2022	2014-2022
P90 vs P50		24,2 vs 19.8	1,07 [1,06 :1,09]		1,08 [1,06 :1,09]
P97,5 vs P50		26.7 vs 19.8	1,18 [1,16 :1,20]		1,21 [1,18 :1,23]
P99 vs P50		27.8 vs 19.8	1,25 [1,22 :1,28]		1,28 [1,24 :1,32]
P99,5 vs P50		28.5 vs 19.8	1,28 [1,25 :1,32]		1,33 [1,28 :1,38]
P99,9 vs P50		29.7 vs 19.8	1,38 [1,32 :1,44]		1,45 [1,38 :1,54]

c) avec l'indicateur de décès COVID-19

		RR tous âges		RR 75 ans et plus	
Incrément percentiles	en	Incrément en degré °C	2014-2022	2014-2022	2014-2022
P90 vs P50		24,2 vs 19.8	1,07 [1,06 :1,09]		1,08 [1,06 :1,09]
P97,5 vs P50		26.7 vs 19.8	1,18 [1,16 :1,20]		1,21 [1,18 :1,23]
P99 vs P50		27.8 vs 19.8	1,25 [1,22 :1,27]		1,28 [1,24 :1,32]
P99,5 vs P50		28.5 vs 19.8	1,28 [1,25 :1,32]		1,33 [1,28 :1,38]
P99,9 vs P50		29.7 vs 19.8	1,38 [1,32 :1,44]		1,46 [1,38 :1,54]

d) avec l'indicateur d'hospitalisations COVID-19

		RR tous âges		RR 75 ans et plus	
Incrément percentiles	en	Incrément en degré °C	2014-2022	2014-2022	2014-2022
P90 vs P50		24,2 vs 19.8	1,07 [1,06 :1,09]		1,08 [1,06 :1,09]
P97,5 vs P50		26.7 vs 19.8	1,18 [1,16 :1,20]		1,20 [1,18 :1,23]
P99 vs P50		27.8 vs 19.8	1,24 [1,21 :1,27]		1,28 [1,24 :1,32]
P99,5 vs P50		28.5 vs 19.8	1,28 [1,25 :1,32]		1,33 [1,28 :1,38]
P99,9 vs P50		29.7 vs 19.8	1,38 [1,32 :1,44]		1,45 [1,37 :1,53]

e) avec l'indicateur d'incidence COVID-19

		RR tous âges		RR 75 ans et plus	
Incrément percentiles	en	Incrément en degré °C	2014-2022	2014-2022	2014-2022
P90 vs P50		24,2 vs 19.8	1,07 [1,06 :1,09]		1,08 [1,06 :1,10]
P97,5 vs P50		26.7 vs 19.8	1,18 [1,16 :1,21]		1,21 [1,18 :1,24]
P99 vs P50		27.8 vs 19.8	1,25 [1,22 :1,28]		1,29 [1,25 :1,33]
P99,5 vs P50		28.5 vs 19.8	1,29 [1,25 :1,33]		1,34 [1,29 :1,39]
P99,9 vs P50		29.7 vs 19.8	1,39 [1,33 :1,45]		1,47 [1,39 :1,55]

<b>Modèles /stratifiés</b>						
a) sans prise en compte de la COVID-19						
Incrément percentiles	en	Incrément en degré °C	RR tous âges		RR 75 ans et plus	
			2014-2019	2020-2022	2014-2019	2020-2022
P90 vs P50		24,2 vs 19.8	1,07 [1,05 :1,09]	1,07 [1,05 :1,10]	1,07 [1,05 :1,09]	1,08 [1,05 :1,11]
P97,5 vs P50		26.7 vs 19.8	1,16 [1,14 :1,19]	1,19 [1,16 :1,23]	1,18 [1,15 :1,21]	1,21 [1,17 :1,26]
P99 vs P50		27.8 vs 19.8	1,22 [1,19 :1,25]	1,26 [1,21 :1,32]	1,24 [1,20 :1,28]	1,30 [1,23 :1,37]
P99,5 vs P50		28.5 vs 19.8	1,25 [1,21 :1,30]	1,31 [1,24 :1,38]	1,28 [1,23 :1,34]	1,35 [1,27 :1,45]
P99,9 vs P50		29.7 vs 19.8	1,34 [1,24 :1,41]	1,42 [1,30 :1,53]	1,38 [1,30 :1,46]	1,49 [1,34 :1,64]

b) avec l'indicateur de décès COVID-19						
Incrément percentiles	en	Incrément en degré °C	RR tous âges		RR 75 ans et plus	
			2014-2019	2020-2022	2014-2019	2020-2022
P90 vs P50		24,2 vs 19.8	1,07 [1,05 :1,09]	1,07 [1,05 :1,10]	1,07 [1,05 :1,09]	1,08 [1,05 :1,11]
P97,5 vs P50		26.7 vs 19.8	1,16 [1,14 :1,19]	1,19 [1,15 :1,23]	1,18 [1,15 :1,21]	1,21 [1,17 :1,26]
P99 vs P50		27.8 vs 19.8	1,22 [1,19 :1,25]	1,26 [1,21 :1,32]	1,24 [1,20 :1,28]	1,30 [1,23 :1,37]
P99,5 vs P50		28.5 vs 19.8	1,25 [1,21 :1,30]	1,31 [1,24 :1,38]	1,28 [1,23 :1,34]	1,35 [1,26 :1,45]
P99,9 vs P50		29.7 vs 19.8	1,34 [1,24 :1,41]	1,41 [1,30 :1,53]	1,38 [1,30 :1,46]	1,48 [1,34 :1,64]

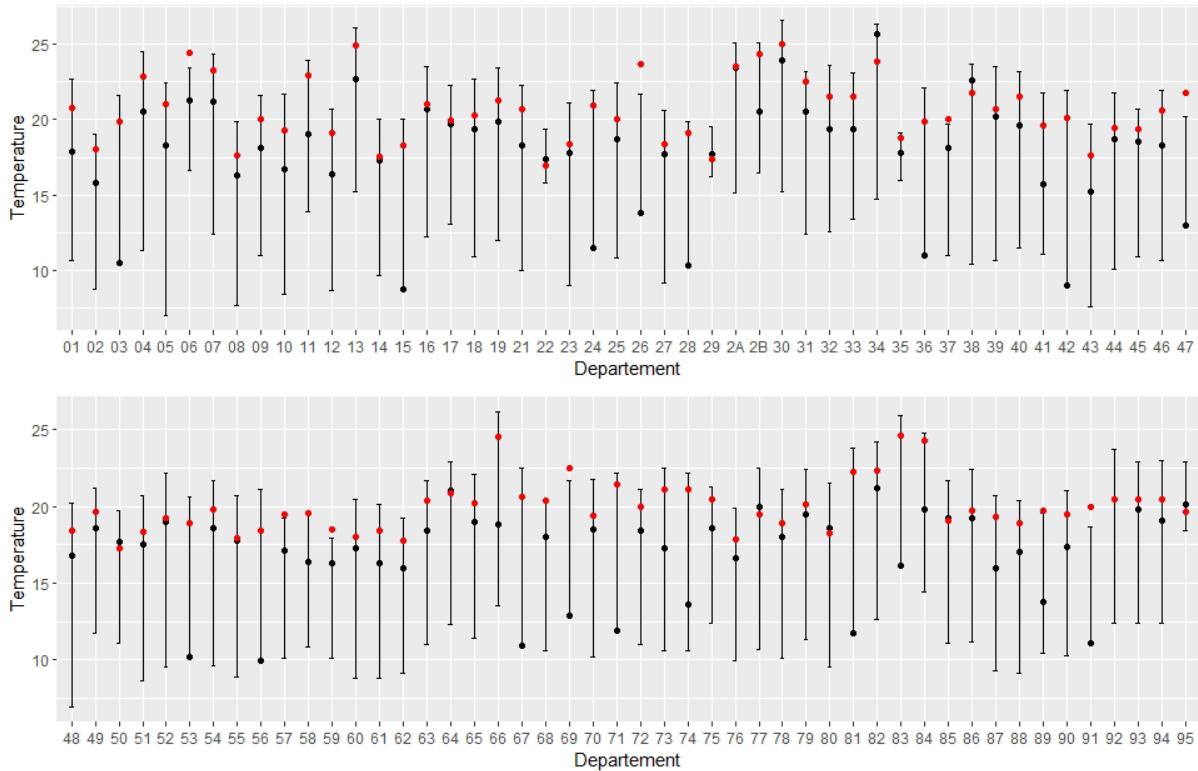
c) avec l'indicateur d'hospitalisations COVID-19						
Incrément percentiles	en	Incrément en degré °C	RR tous âges		RR 75 ans et plus	
			2014-2019	2020-2022	2014-2019	2020-2022
P90 vs P50		24,2 vs 19.8	1,07 [1,05 :1,09]	1,07 [1,05 :1,10]	1,07 [1,05 :1,09]	1,08 [1,05 :1 :11]
P97,5 vs P50		26.7 vs 19.8	1,16 [1,14 :1,19]	1,19 [1,16 :1,23]	1,18 [1,15 :1,21]	1,22 [1,17 :1,26]
P99 vs P50		27.8 vs 19.8	1,22 [1,19 :1,25]	1,26 [1,21 :1,32]	1,24 [1,20 :1,28]	1,30 [1,23 :1,37]
P99,5 vs P50		28.5 vs 19.8	1,25 [1,21 :1,30]	1,31 [1,24 :1,38]	1,28 [1,23 :1,34]	1,35 [1,27 :1,45]
P99,9 vs P50		29.7 vs 19.8	1,34 [1,24 :1,41]	1,41 [1,31 :1,53]	1,38 [1,30 :1,46]	1,49 [1,35 :1,64]

d) avec l'indicateur d'incidence COVID-19						
Incrément percentiles	en	Incrément en degré °C	RR tous âges		RR 75 ans et plus	
			2014-2019	2020-2022	2014-2019	2020-2022
P90 vs P50		24,2 vs 19.8	1,07 [1,05 :1,09]	1,08 [1,05 :1,09]	1,07 [1,05 :1,09]	1,08 [1,05 :1,11]
P97,5 vs P50		26.7 vs 19.8	1,16 [1,14 :1,19]	1,21 [1,17 :1,24]	1,18 [1,15 :1,21]	1,23 [1,19 :1,28]
P99 vs P50		27.8 vs 19.8	1,22 [1,19 :1,25]	1,29 [1,23 :1,34]	1,24 [1,20 :1,28]	1,32 [1,26 :1,40]
P99,5 vs P50		28.5 vs 19.8	1,25 [1,21 :1,30]	1,34 [1,27 :1,41]	1,28 [1,23 :1,34]	1,39 [1,30 :1,48]
P99,9 vs P50		29.7 vs 19.8	1,34 [1,24 :1,41]	1,46 [1,35 :1,58]	1,38 [1,30 :1,46]	1,53 [1,39 :1,69]

## Annexe 4. Décès attribuables à la chaleur selon les différents modèles

Figure 1. Températures de mortalité minimale (TMM et IC 95%) et médiane de la période 2014-2022 (points rouges) par département



**Tableau 1. Nombre de décès attribuables à la chaleur (tous âges et 75 ans et plus) chaque année [IC95 %], pendant l'été (1<sup>er</sup> juin - 15 septembre) et pendant les canicules selon les modèles**

<b>Modèle 2014 – 2019</b>						
<b>Tous âges</b>			<b>75 ans et plus</b>			
<b>1<sup>er</sup> juin – 15 septembre</b>	<b>Pendant les canicules</b>	<b>% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés</b>	<b>1<sup>er</sup> juin – 15 septembre</b>	<b>Pendant les canicules</b>	<b>% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés</b>	
<b>2014 - 2022</b>	31 536 [28 422 : 33 969]	8 644 [8 273 : 8 957]	27	22 018 [19 536 :23 920]	6 225 [5 831 :6 556]	28
<b>2022</b>	6 448[5910 :6 879]	1 899 [1 802 :1 975]	29	4 658 [4 188 : 5 031]	1 410 [1 306 :1 494]	30

<b>Modèles 2014-2022 / indicateurs COVID-19</b>						
a) sans prise en compte de la COVID-19						
<b>Tous âges</b>			<b>75 ans et plus</b>			
<b>1<sup>er</sup> juin – 15 septembre</b>	<b>Pendant les canicules</b>	<b>% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés</b>	<b>1<sup>er</sup> juin – 15 septembre</b>	<b>Pendant les canicules</b>	<b>% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés</b>	
<b>2014 - 2022</b>	34 450 [31 802 : 36 703]	9 267 [8 667 : 9 731]	27	24 528 [22 631 :25 919]	6 807 [6 288 :7 216]	28
<b>2022</b>	6 960 [6 458 : 7 394]	1 983 [1 822 : 2 100]	28	5 137 [4 733 :5 423]	1 520 [1 378 :1 622]	30

b) avec l'indicateur pandémie						
<b>Tous âges</b>			<b>75 ans et plus</b>			
<b>1<sup>er</sup> juin – 15 septembre</b>	<b>Pendant les canicules</b>	<b>% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés</b>	<b>1<sup>er</sup> juin – 15 septembre</b>	<b>Pendant les canicules</b>	<b>% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés</b>	
<b>2014 - 2022</b>	34 743 [32 038 : 37 032]	9 299 [8 726 :9 777]	27	24 533 [22 664 :26 100]	6 799 [6 258 :7 173]	28
<b>2022</b>	7 012 [6 484 : 7 433]	1 995 [1 834 : 2 116]	28	5 134 [4 739 :5 459]	1 517 [1 371 :1 623]	30

c) avec l'indicateur de décès COVID-19						
<b>Tous âges</b>			<b>75 ans et plus</b>			
<b>1<sup>er</sup> juin – 15 septembre</b>	<b>Pendant les canicules</b>	<b>% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés</b>	<b>1<sup>er</sup> juin – 15 septembre</b>	<b>Pendant les canicules</b>	<b>% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés</b>	
<b>2014 - 2022</b>	34 352 [31 681 : 36 640]	9 236 [8 643 :9 691]	27	24 410 [22 635 :25 751]	6 774 [6 269 :7 152]	28
<b>2022</b>	6 939 [6 438 : 7 380]	1 976 [1 816 :2 097]	28	5 110 [4 716 :5 406]	1 510 [1 366 :1 613]	30

d) avec l'indicateur d'hospitalisations COVID-19

Tous âges			75 ans et plus			
1 <sup>er</sup> juin – 15 septembre	Pendant les canicules	% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés	1 <sup>er</sup> juin – 15 septembre	Pendant les canicules	% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés	
<b>2014 - 2022</b>	34 110 [31 436 :36 407]	9 198 [8 610 : 9 646]	27	24 329 [22 564 :25 863]	6 760 [6 241 :7 105]	28
<b>2022</b>	6 893 [6 381 : 7 312]	1 967 [1 808 :2 084]	29	5 093 [4 711 :5 411]	1 507 [1 364 :1 612]	30

e) avec l'indicateur d'incidence

Tous âges			75 ans et plus			
1 <sup>er</sup> juin – 15 septembre	Pendant les canicules	% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés	1 <sup>er</sup> juin – 15 septembre	Pendant les canicules	% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés	
<b>2014 - 2022</b>	34 712 [32 249 :36 996]	9 464 [8 891 : 9 901]	27	24 802 [23 003 :26 127]	6 934 [6 439 :7 280]	28
<b>2022</b>	7 018 [6 553 :7 458]	2021 [1 875 : 2 136]	29	5 193 [4 806 :5 488]	1 544 [1 402 :1 644]	30

### Modèles stratifiés

a) sans prise en compte de la COVID-19

Tous âges			75 ans et plus			
1 <sup>er</sup> juin – 15 septembre	Pendant les canicules	% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés	1 <sup>er</sup> juin – 15 septembre	Pendant les canicules	% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés	
<b>2014 - 2022</b>	32 658 [29 612 :34 975]	9 018 [8 434 :9 374]	28	23 080 [21 076 :24 556]	6 565 [6 095 :6 855]	28
<b>2022</b>	6 969 [6 277 :7 445]	2051 [1 791 :2 214]	29	5 173 [4 751 :5 467]	1 578 [1 359 :1 708]	31

b) avec l'indicateur de décès COVID-19

Tous âges			75 ans et plus			
1 <sup>er</sup> juin – 15 septembre	Pendant les canicules	% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés	1 <sup>er</sup> juin – 15 septembre	Pendant les canicules	% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés	
<b>2014 - 2022</b>	32 646 [29 476 :34 923]	8 995 [8 394 :9 365]	28	23 015 [21 025 :24 480]	6 541 [6 068 :6 838]	28
<b>2022</b>	6 961 [6 295 :7 410]	2 039 [1 777 :2 201]	29	5 138 [4 712 :5 432]	1 563 [1 337 :1 694]	30

c) avec l'indicateur d'hospitalisations COVID-19

Tous âges			75 ans et plus			
1 <sup>er</sup> juin – 15 septembre	Pendant les canicules	% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés	1 <sup>er</sup> juin – 15 septembre	Pendant les canicules	% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés	
<b>2014 - 2022</b>	32 850 [29 628 : 35 234]	9 040 [8 449 :9 411]	28	23 233 [21230 :24 741]	6 574 [6 104 :6 864]	28



<b>2022</b>	7067 [6 370 :7 557]	2 065 [1 807 :2 232]	29	5 251 [4 811 :5 554]	1 585 [1 363 :1 721]	30
d) avec l'indicateur d'incidence						
	<b>Tous âges</b>			<b>75 ans et plus</b>		
	<b>1<sup>er</sup> juin – 15 septembre</b>	<b>Pendant les canicules</b>	<b>% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés</b>	<b>1<sup>er</sup> juin – 15 septembre</b>	<b>Pendant les canicules</b>	<b>% des décès estivaux liés à la chaleur observés pendant les canicules et dans les départements concernés</b>
<b>2014 - 2022</b>	33 246 [30078 :35 612]	9 306 [8 736 :9 666]	28	23 646 [21 666 :25 097]	6 759 [6 302 :7 047]	29
<b>2022</b>	7 311 [6 646 :7 777]	2 211 [1 971 :2 367]	30	5 492 [5 092 :5 777]	1 689 [1 483 :1 813]	31

## Références

1. Pörtner H-O, D.C. Roberts, H. Adams, I. Adelekan, C. Adler, R. Adrian, P. Aldunce, E. Ali, R. Ara Begum, B. Bednar-Friedl, R. Bezner Kerr, R. Biesbroek, J. Birkmann, K. Bowen, M.A. Caretta, J. Carnicer, E. Castellanos, T.S. Cheong, W. Chow, G. Cissé, S. Clayton, A. Constable, S. Cooley, M.J. Costello, M. Craig, W. Cramer, R. Dawson, D. Dodman, J. Efitre, M. Garschagen, E.A. Gilmore, B. Glavovic, D. Gutzler, M. Haasnoot, S. Harper, T. Hasegawa, B. Hayward, J.A. Hicke, Y. Hirabayashi, C. Huang, K. Kalaba, W. Kiessling, A. Kitoh, R. Lasco, J. Lawrence, M.F. Lemos, R. Lempert, C. Lennard, D. Ley, T. Lissner, Q. Liu, E. Liwenga, S. Lluch-Cota, S. Lösckke, S. Lucatello, Y. Luo, B. Mackey, K. Mintenbeck, A. Mirzabaev, V. Möller, M. Moncassim Vale, M.D. Morecroft, L. Mortsch, A. Mukherji, T. Mustonen, M. Mycoo, J. Nalau, M. New, A. Okem (South Africa), J.P. Ometto, B. O'Neill, R. Pandey, C. Parmesan, M. Pelling, P.F. Pinho, J. Pinnegar, E.S. Poloczanska, A. Prakash, B. Preston, M.-F. Racault, D. Reckien, A. Revi, S.K. Rose, E.L.F. Schipper, D.N. Schmidt, D. Schoeman, R. Shaw, N.P. Simpson, C. Singh, W. Solecki, L. Stringer, E. Totin, C.H. Trisos, Y. Trisurat, M. van Aalst, D. Viner, M. Wairu, R. Warren, P. Wester, D. Wrathall, and Z. Zaiton Ibrahim. Technical Summary. [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösckke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H-O Pörtner, DC Roberts, M Tignor, ES Poloczanska, K Mintenbeck, A Alegría, M Craig, S Langsdorf, S Lösckke, V Möller, A Okem, B Rama (eds)]. Cambridge University Press 2022
2. Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, Lavigne E, Zanobetti A, Schwartz J, et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: A multicountry observational study. *The Lancet*. 2015;386(9991):369-75
3. Pascal M, Wagner V, Corso M, Laaidi K, Ung A, Beaudreau P. Heat and cold related-mortality in 18 French cities. *Environment International*. 2018;121:189-98
4. Pascal M, Lagarrigue R, Tabai A, Bonmarin I, Camail S, Laaidi K, et al. Evolving heat waves characteristics challenge heat warning systems and prevention plans. *International Journal of Biometeorology*. 2021;65(10):1683-94
5. Robine JM, Cheung SLK, Le Roy S, Van Oyen H, Griffiths C, Michel JP, et al. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus - Biologies*. 2008;331(2):171-8
6. Fouillet A, Rey G, Laurent F, Pavillon G, Bellec S, Guihenneuc-Jouyaux C, et al. Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2006;80(1):16-24
7. Santé publique France. Bulletin de santé publique canicule. Bilan été 2022. Saint Maurice, France; 2022
8. Santé publique France. Bulletin de santé publique canicule. Bilan été 2019. Saint Maurice, France; 2019
9. Santé publique France. Bulletin de santé publique canicule. Bilan été 2021. Saint Maurice, France; 2021
10. Santé publique France. Bulletin de santé publique canicule. Bilan été 2020. Saint Maurice, France; 2020
11. Kotharkar R, Ghosh A. Progress in extreme heat management and warning systems: A systematic review of heat-health action plans (1995-2020). *Sustainable Cities and Society*. 2022;76:103487
12. Pascal M, Laaidi K, Ledrans M, Baffert E, Caserio-Schönemann C, Le Tertre A, et al. France's heat health watch warning system. *International Journal of Biometeorology*. 2006;50(3):144-53
13. Pascal M, Wagner V, Le Tertre A, Laaidi K, Honoré C, Bénichou F, et al. Definition of temperature thresholds: The example of the French heat wave warning system. *International Journal of Biometeorology*. 2013;57(1):21-9
14. Hanna EG, Tait PW. Limitations to Thermoregulation and Acclimatization Challenge Human Adaptation to Global Warming. *Int J Environ Res Public Health*. 2015;12(7):8034-74

15. Ebi KL, Capon A, Berry P, Broderick C, de Dear R, Havenith G, et al. Hot weather and heat extremes: health risks. *The Lancet*. 2021;398(10301):698-708
16. Schaeffer L, de Crouy-Chanel P, Wagner V, Desplat J, Pascal M. How to estimate exposure when studying the temperature-mortality relationship? A case study of the Paris area. *International Journal of Biometeorology*. 2016;60(1):73-83
17. Barnett AG, Tong S, Clements ACA. What measure of temperature is the best predictor of mortality? *Environmental Research*. 2010;110(6):604-11
18. Armstrong B, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, Abrutzky R, Åström DO, Bell ML, et al. The Role of Humidity in Associations of High Temperature with Mortality: A Multiauthor, Multicity Study. *Environmental health perspectives*. 2019;127(9):97007
19. Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Distributed lag non-linear models. *Statistics in medicine*. 2010;29(21):2224-34
20. Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Multivariate meta-analysis for non-linear and other multi-parameter associations. *Statistics in medicine*. 2012;31(29):3821-39
21. Gasparrini A, Armstrong B. Reducing and meta-analysing estimates from distributed lag non-linear models. *BMC Medical Research Methodology*. 2013;13(1)
22. Gasparrini A, Leone M. Attributable risk from distributed lag models. *BMC Medical Research Methodology*. 2014;14(1)
23. Wagner V, Ung A, Calmet C, Pascal M. Évolution des vagues de chaleur et de la mortalité associée en France, 2004-2014. *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*. 2018(16-17):320-5
24. Lancet Countdown in Europe. Heat-related mortality in Europe 2022 [Available from: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/observatory/++aq++metadata/indicators/heat-related-mortality-in-europe?bs=0>]
25. van Daalen K, Romanello M, Rocklöv J, Semenza J, Tonne C, Markandya A, et al. The 2022 Europe report of the <em>Lancet</em> Countdown on health and climate change: towards a climate resilient future. *The Lancet Public Health*. 2022;7(11):e942-e65
26. Pascal M, Wagner V, Corso M. Évolution de la relation température-mortalité en France depuis 1970. Saint-Maurice: Santé publique France; 2022
27. Sousa PM, Trigo RM, Russo A, Geirinhas JL, Rodrigues A, Silva S, et al. Heat-related mortality amplified during the COVID-19 pandemic. *International Journal of Biometeorology*. 2022;66(3):457-68
28. Son JY, Liu JC, Bell ML. Temperature-related mortality: A systematic review and investigation of effect modifiers. *Environmental Research Letters*. 2019;14(7)
29. Scortichini M, De Sario M, De'donato FK, Davoli M, Michelozzi P, Stafoggia M. Short-term effects of heat on mortality and effect modification by air pollution in 25 Italian cities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018;15(8)
30. Pascal M, Wagner V, Alari A, Corso M, Le Tertre A. Extreme heat and acute air pollution episodes: A need for joint public health warnings? *Atmospheric Environment*. 2021;249
31. Armstrong B, Bell ML, Coelho MSZS, Guo YLL, Guo Y, Goodman P, et al. Longer-term impact of high and low temperature on mortality: An international study to clarify length of mortality displacement. *Environmental Health Perspectives*. 2017;125(10)
32. Toulemon L, Barbieri M. The Mortality Impact of the August 2003 Heat Wave in France: Investigating the 'Harvesting' Effect and Other Long-Term Consequences. *Population Studies*. 2008;62(1):39-53

33. Conti A, Valente M, Paganini M, Farsoni M, Ragazzoni L, Barone-Adesi F. Knowledge Gaps and Research Priorities on the Health Effects of Heatwaves: A Systematic Review of Reviews. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(10)
34. Lo YTE, Mitchell DM, Thompson R, O'Connell E, Gasparrini A. Estimating heat-related mortality in near real time for national heatwave plans. *Environmental Research Letters*. 2022;17(2)
35. Medina S, et. al. Impact de pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine. Réduction en lien avec le confinement du printemps 2020 et nouvelles données sur le poids total pour la période 2016-2019. Saint-Maurice: Santé publique France; 2021

**Citation suggérée** : Estimation de la fraction de la mortalité attribuable à l'exposition de la population générale à la chaleur en France métropolitaine. Application à la période de surveillance estivale (1<sup>er</sup> juin - 15 septembre) 2014-2022. Saint-Maurice : Santé publique France, 2023. 35 p. [www.santepubliquefrance.fr](http://www.santepubliquefrance.fr)

ISSN : 2534-6539 / ISBN-NET : 979-10-289-0848-5 / RÉALISÉ PAR LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION,  
SANTÉ PUBLIQUE FRANCE / DÉPÔT LÉGAL : MAI 2023