



# MÉMOIRE PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU Master 1 TRENT

*Transitions Environnementales dans les Territoires*

*Unité d'enseignement 801 : Stage Professionnel*

*Structure d'accueil : Météo France*

## ÉVALUATION DU RISQUE CLIMATIQUE PAR COMBINAISON DE DONNÉES SOCIO-ÉCONOMIQUES ET CLIMATIQUES

*Étude de cas sur le risque sanitaire des personnes âgées face aux fortes chaleurs*



**BOURDIL Cannelle**

Année universitaire : 2023/2024

Maîtres de stage :

Patrick JOSSE

Mary KERDONCUFF

Michel SCHNEIDER

Responsable pédagogique :

Anne PELTIER

## Résumé :

*Mots clés : aléa - vulnérabilité - risque – score – croisement*

Le changement climatique est en marche, et il est nécessaire de développer des stratégies d'adaptation à certains effets, d'ores et déjà inéluctables. C'est ce que préconise le gouvernement avec la mise en place de la TRACC (Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique). Météo-France, dont la mission principale de contribution à la sécurité des personnes et des biens englobe les échelles météorologique et climatique, est chargé de fournir les informations les plus pertinentes pour cette adaptation. Cela suppose d'évaluer aussi précisément que possible les risques climatiques à l'échelle des territoires et leur évolution. Le risque climatique est le résultat de l'exposition à un aléa climatique et de la vulnérabilité spécifique du territoire considéré.

L'objectif de ce mémoire est de proposer une technique de combinaison entre données socio-économiques et données climatiques apportées par Météo-France afin d'en ressortir des scores de risque. Je chercherai donc à répondre à la problématique suivante : *Comment évaluer les risques engendrés par le changement climatique dans les territoires au travers du croisement d'indicateurs climatiques et socio-économiques ?*

Les notions d'aléa climatique, de vulnérabilité et de risque sont tout d'abord illustrées sur l'exemple de l'impact des fortes chaleurs sur les populations âgées. L'évaluation du risque suppose de combiner les évaluations quantitatives de l'aléa et de la vulnérabilité de façon à établir un « score » de risque. Toujours sur le risque sanitaire lié aux fortes chaleurs pour les populations âgées, différentes possibilités pour établir ce score sont explorées, et une méthode est proposée. Elle est ensuite mise en application pour étudier l'évolution du risque avec le changement climatique d'ici à la fin du siècle. Les résultats sont détaillés pour plusieurs indicateurs climatiques ciblés sur différents volets de l'aléa : vagues de chaleur, températures élevées en journées et nuits dites tropicales. Enfin, l'impact de la prise en compte de l'évolution future de la vulnérabilité est examiné.

Enfin, différentes perspectives à ce travail sont évoquées : évolutions de la méthode de « scoring », déclinaison à l'échelle communale, application à d'autres vulnérabilités pour le même aléa ou encore à d'autres aléas climatiques... Le changement climatique étant inéluctable, il est nécessaire d'entamer une procédure d'adaptation comme le préconise le gouvernement avec la mise en place de la TRACC (Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique).

## Abstract :

*keywords : hazard – vulnerability – risk – score – crossing*

Climate change is here to stay, and we need to develop strategies to adapt to certain effects that are already inevitable. This is what the government is advocating with the introduction of the TRACC (Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique - Reference warming trajectory for adaptation to climate change). Météo-France, whose main mission is to contribute to the safety of people and property on both the meteorological and climatic scales, is responsible for providing the most relevant information for this adaptation. This means assessing climate risks and their evolution as accurately as possible. Climate risk is the result of exposure to a climatic hazard and the specific vulnerability of the territory in question.

The aim of this dissertation is to propose a technique for combining socio-economic data and climatic data provided by Météo-France in order to derive risk scores. My aim is to answer the following question : *How can we assess the risks engendered by climate change in territories by combining climatic and socio-economic indicators?*

The notions of climate hazard, vulnerability and risk are first illustrated using the example of the impact of extreme heat on the elderly. Risk assessment involves combining quantitative evaluations of hazard and vulnerability to establish a risk "score". Still on the subject of heat-related health risk for the elderly, various possibilities for establishing this score are explored, and a method is proposed. It is then applied to study the evolution of the risk with climate change between now and the end of the century. The results are detailed for several climate indicators targeting different aspects of the hazard: heat waves, high daytime temperatures and tropical nights. Finally, the impact of taking future changes in vulnerability into account is examined.

Lastly, various prospects for this work were discussed: further development of the "scoring" method, application on a communal scale, application to other vulnerabilities for the same hazard or to other climate hazards, etc. Climate change being unavoidable, it is necessary to initiate an adaptation procedure, as recommended by the government with the introduction of the TRACC (Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique - Reference warming trajectory for adaptation to climate change).

# Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mes maîtres de stage : Mary KERDONCUFF, Patrick JOSSE ainsi que Michel SCHNEIDER qui m'ont permis de réaliser mon stage dans les meilleures conditions qui puissent être. Je leur suis très reconnaissante d'avoir pris autant de temps pour m'accompagner dans ma mission, avec toujours beaucoup de bienveillance. J'en ressors très enrichie grâce à eux.

Je souhaite aussi remercier toute l'équipe du service de la DCSC (Direction de la Climatologie et des Services Climatiques) au sein duquel j'ai effectué mon stage. J'ai été immédiatement très bien accueillie et intégrée.

Je tiens également à remercier Anne Peltier, mon encadrante pédagogique qui m'a suivie tout au long de la rédaction de mon mémoire et m'a permis de réfléchir à différents angles d'approche autour du stage.

Je souhaite enfin remercier mes proches qui m'ont apporté de l'aide pour la relecture du mémoire.

# Sommaire

Remerciements .....	3
Sommaire .....	4
Liste des sigles et abréviations .....	5
Introduction .....	6
I- Quand la géographie se mêle à la climatologie .....	9
A) Météo France : avec vous dans un climat qui change .....	9
B) Mobilisation croissante des pouvoirs publics concernant l'intégration des données socio-économiques pour l'adaptation au changement climatique .....	12
II- Aléas et vulnérabilités face au changement climatique.....	15
A) La France : un pays inégalement exposé aux impacts du changement climatique .....	15
B) Des populations de plus en plus soumises aux risques naturels : accroissement de la vulnérabilité .....	18
C) Le risque : une notion engendrée par le croisement entre aléa et vulnérabilité.....	20
III- Elaboration d'une méthode de scoring .....	23
A) Approche globale des vulnérabilités associées aux différents aléas climatiques .....	23
B) Fortes chaleurs et populations âgées .....	24
C) Synthèse des deux données .....	28
IV- Les populations âgées face au risque de fortes chaleurs .....	36
A) Evolution du risque avec le changement climatique .....	36
B) Que nous disent les deux autres indicateurs climatiques ?.....	39
C) Projection démographique.....	43
V- Délibération autour du stage .....	46
A) Une méthode à améliorer ?.....	46
B) Une expérience professionnelle très enrichissante .....	48
Conclusion.....	49
Bibliographie.....	50
Annexes.....	53
Liste des figures.....	58
Liste des annexes.....	60

## Liste des sigles et abréviations

DCSC : Direction de la Climatologie et des Services Climatiques

GES : Gaz à Effet de Serre

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

TRACC : Trajectoire de Réchauffement de référence pour l'Adaptation au Changement Climatique

PNACC : Plan National d'Adaptation au Changement Climatique

# Introduction

Les êtres vivants sont conditionnés par le climat dans lequel ils évoluent. Ce dernier est le résultat des interactions entre atmosphère et différentes composantes du système Terre, telles que la biosphère, l'hydrosphère, la cryosphère et les surfaces continentales<sup>1</sup>. La température de la terre est pilotée par un phénomène naturel : l'effet de serre : une partie de l'énergie solaire reçue par la planète est piégée par certains gaz présents dans l'atmosphère terrestre, comme le dioxyde de carbone, méthane, vapeur d'eau... Ce mécanisme naturel est nécessaire pour la vie sur Terre, sans lequel il ne ferait pas plus de  $-18^{\circ}\text{C}$ <sup>2</sup>. Certains écosystèmes comme les forêts ou les océans participent à sa régulation, notamment en absorbant le dioxyde de carbone.

Depuis plusieurs décennies, la concentration de ces GES (Gaz à effet de serre) dans l'atmosphère a drastiquement augmenté, à cause des activités anthropiques telles que l'agriculture intensive, la combustion de matières premières (énergies fossiles) et l'industrie en général<sup>3</sup>. Cette augmentation entraîne une accentuation de l'effet de serre et donc un dérèglement du climat. L'ampleur et la vitesse du changement climatique inquiètent beaucoup car ils sont sans équivalent au regard des ères géologiques précédentes ; les changements ne s'observaient pas à l'échelle d'une vie humaine.

Le changement climatique entraîne sur l'ensemble du globe une accentuation des événements extrêmes tels que les sécheresses, les canicules, ou encore les inondations, qui impactent lourdement les sociétés et les écosystèmes<sup>4</sup>. Les efforts pour réduire ces émissions de gaz à effet de serre seront décisifs concernant l'évolution future du climat. Pour autant, certaines évolutions sont d'ores et déjà inéluctables, en particulier d'ici le milieu du siècle, et il faut s'y adapter.

Pour s'engager dans l'élaboration de stratégies d'adaptation, il est nécessaire de connaître les évolutions climatiques futures, et ce à l'échelle des territoires. En effet, les évolutions climatiques ne seront pas uniformes géographiquement.

---

<sup>1</sup> N.D., 24/02/2020, *Le système climatique mondial*, Météo-France [Le système climatique mondial | Météo-France \(meteofrance.com\)](https://www.meteofrance.com/fr/actualites/le-systeme-climatique-mondial)

<sup>2</sup> N.D., 24/02/2020, *L'effet de serre*, Météo-France [L'effet de serre | Météo-France \(meteofrance.com\)](https://www.meteofrance.com/fr/actualites/l-effet-de-serre)

<sup>3</sup> Ibid

<sup>4</sup> Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, 23/03/2023, *La Trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC)*, [ecologie.gouv, p.4 document-reference-TRACC.pdf \(ecologie.gouv.fr\)](https://www.ecologie.gouv.fr/document-reference-TRACC.pdf)

C'est l'ambition des services climatiques que d'apporter cette information. LE CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) et Météo-France définissent un service climatique comme étant *“la fourniture d'informations climatique basée sur la science pour l'aide à la décision”*<sup>5</sup>. Météo-France met en place depuis plus d'une décennie, de tels services pour aider la société à s'adapter en fonction des différents secteurs d'activité.

Au fur et à mesure de la prise en compte du changement climatique par la société et des besoins croissants d'adaptation, Météo-France cherche en permanence à améliorer ses services climatiques. Un axe de travail nouveau porte sur l'intégration d'éléments socio-économiques dans l'information délivrée, notamment ceux permettant de caractériser la vulnérabilité du secteur. Cette dimension est essentielle pour les politiques locales qui, en matière d'adaptation, doivent prendre en compte les particularités de leur territoire.

Dans le cadre de mon stage de master 1 en Transitions Environnementales dans les Territoires d'une durée de quatre mois, j'ai été amenée à aborder la notion de vulnérabilité des territoires (via des indicateurs socio-économiques comme le nombre de personnes âgées) puis à les mettre en regard d'indicateurs climatiques dans le but d'évaluer des risques socio-climatiques au niveau des territoires. La vulnérabilité *« évalue dans quelle mesure un système socio-spatial risque d'être affecté par les effets d'un aléa et cherche à quantifier ce qui est perdu. »*<sup>6</sup>

Pour cela, j'ai d'abord recensé des indicateurs climatiques pertinents pour une liste d'aléas climatiques prédéfinie en amont du stage (fortes chaleurs, sécheresse, feux de forêt, inondations). Rappelons qu'un aléa climatique est *« la possibilité que se produise un événement impliquant une perturbation de l'équilibre d'un milieu. »*<sup>7</sup>

Ensuite, j'ai été amenée à déterminer les éléments de vulnérabilité concordant pour différents aléas climatiques et d'en rechercher des données disponibles pour les évaluer. Pour finir j'ai travaillé sur une méthode de combinaison de ces deux informations en me concentrant sur le risque sanitaire pour les populations âgées lié aux fortes chaleurs.

Cette étude traitera de l'évaluation conjointe des aléas climatiques que connaissent et connaîtront les populations présentes et à venir et de leurs vulnérabilités face à ces phénomènes, dans le but d'identifier des zones de risque. Rappelons qu'un risque est *« la*

---

<sup>5</sup> LEBRET.M., 29/03/2023, *TRACCS : lancement d'un programme de recherche ambitieux pour transformer la modélisation du climat au service de l'action*, Météo-France [TRACCS : lancement d'un programme de recherche ambitieux pour transformer la modélisation du climat au service de l'action | Météo-France \(meteofrance.fr\)](https://www.meteofrance.fr/tracccs)

<sup>6</sup> N.D, décembre 2015, *Vulnérabilité*, Géoconfluences [Vulnérabilité — Géoconfluences \(ens-lyon.fr\)](https://www.geoconfluences.org/fr/vulnerabilite)

<sup>7</sup> N.D, novembre 2015, *Aléa*, Géoconfluences [Aléa — Géoconfluences \(ens-lyon.fr\)](https://www.geoconfluences.org/fr/alea)

*possibilité qu'un aléa se produise et touche une population vulnérable à cet aléa »<sup>8</sup>. Il ne faut pas perdre de vue que ce n'est pas à l'évolution climatique en tant que telle à laquelle il nous faut nous adapter mais aux impacts et risques qu'elle engendre.*

Ce mémoire cherchera donc à répondre à la problématique suivante :

**Comment évaluer les risques engendrés par le changement climatique dans les territoires au travers du croisement d'indicateurs climatiques et socio- économiques ?**

La première partie nous permettra de présenter l'organisation de Météo-France, sa mission d'appui aux politiques publiques d'adaptation au changement climatique, mission dans laquelle s'inscrit mon travail. Un deuxième temps nous permettra d'approfondir les enjeux du stage et la problématique. Après cela, nous détaillerons la démarche méthodologique suivie pendant le stage pour mener à bien ce travail de combinaison d'informations climatiques et sociologiques en l'illustrant sur un cas concret. Après avoir présenté et analysé les résultats obtenus à l'issue de ma mission, nous consacrerons un temps pour prendre du recul sur le stage, en déceler les atouts et faiblesses et proposer quelques perspectives.

---

<sup>8</sup> N.D., 2005, *Risque*, Géoconfluences [Risque — Géoconfluences \(ens-lyon.fr\)](http://risque.geoconfluences.org)

# I- Quand la géographie se mêle à la climatologie

## A) Météo France : avec vous dans un climat qui change

La France a connu son premier service météorologique en 1855, fondé par Urbain Le Verrier, directeur de l'observatoire de Paris, en conséquence aux dégâts causés par la tempête du 14 novembre 1854 qui fut lourde de conséquences sur la guerre de Crimée. Mais ce n'est qu'en 1878 que la météorologie fut rattachée au ministère de l'Instruction Publique. Après le Bureau Central Météorologique de France, plusieurs institutions se sont succédées, les plus récentes étant la Météorologie Nationale (1945-1993) et depuis 1993 l'Etablissement Public à caractère Administratif (EPA) Météo-France<sup>9</sup>.

Météo-France est placé sous la tutelle du ministère de la transition écologie et la cohésion des territoires (MTECT). Il intervient également sur le plan international ainsi que dans des organismes de coopération météorologique tels que l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) ou le Centre Européen pour les prévisions Météorologiques à Moyen Terme (CEPMMT).

Ce service national français météorologique et climatique a pour mission prioritaire de contribuer à la sécurité des biens et des personnes. Différentes actions illustrent cela comme la diffusion de cartes de vigilance météorologique pour différents phénomènes comme les inondations, les orages, le vent fort, ou encore le grand froid ou les canicules. Ce type d'information permet d'alerter la population précisément et localement afin d'agir en conséquence pour se protéger du potentiel danger.

La structure possède trois principaux clients par lesquels l'établissement est financé :

- Les services étatiques et de la Défense
- Le secteur aéronautique qui englobe la navigation aérienne ainsi que les compagnies et les aéroports
- Les professionnels de différents secteurs économiques tels que les collectivités territoriales, le domaine énergétique ou encore le BTP, sport, activités d'extérieur en général qui dépendent de la météo pour pratiquer leur discipline.

---

<sup>9</sup> N.D. N.D., *L'histoire de Météo-France*, Météo-France [METEO-FRANCE Histoire \(meteofrance.fr\)](https://www.meteofrance.fr)

Météo-France répond au besoin de ses clients, ainsi que de la société en général, et établit notamment, la prévision du temps. Nonobstant, l'étude du climat, la conservation du patrimoine climatologique et le développement des services météorologiques et climatiques constituent également des activités majeures de l'établissement.

Météo-France comporte diverses directions centrales. Elles sont actionnaires des principales missions de la structure. Leur but est entre autres d'assurer le renvoi des grands axes et préconisations de la structure à l'échelle locale.

La Direction générale (DG) est gérée par la présidente-directrice générale, soutenue par le directeur général adjoint et le Comité de direction générale (CDG). La DG intègre le Secrétariat général (SG), la Direction des services régionaux (DSR), la Direction de la communication (DIRCOM), la Direction des relations institutionnelles (DRI), et la Direction de la stratégie (DS). Sept directions centrales administrent l'ensemble de Météo-France, dans leur domaine d'aptitude :

- « la Direction des opérations pour la prévision (DirOP) ;
- la Direction des services météorologiques (DSM) ;
- la Direction de la climatologie et des services climatiques (DCSC) ;
- la Direction des systèmes d'information (DSI) ;
- la Direction des systèmes d'observation (DSO) ;
- la Direction centrale des activités commerciales (D2C) ;
- la Direction de l'enseignement supérieur et de la recherche (DESR) comprenant l'École nationale de la météorologie (ENM) et un pôle de recherche, incluant notamment le Centre national de recherches météorologiques (CNRM), le Laboratoire de l'atmosphère et des cyclones (LACy) et le Service des avions français instrumentés pour la recherche et l'environnement (SAFIRE).»<sup>10</sup>

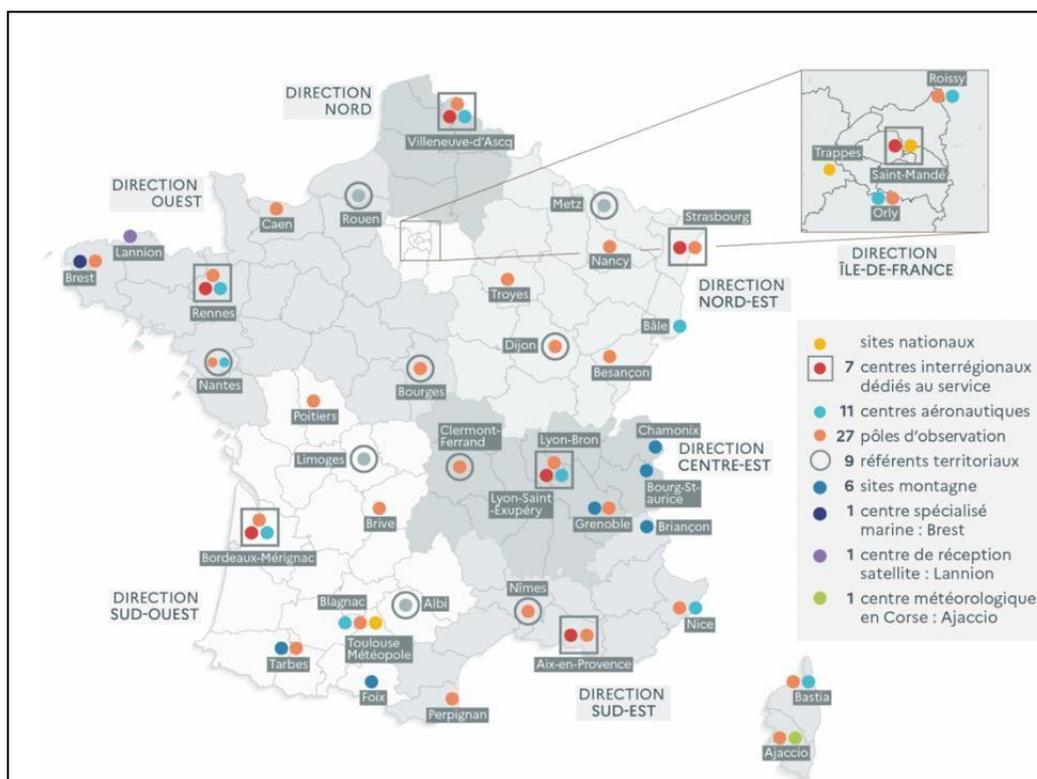
Météo-France est également très présent sur le territoire, avec pour la métropole 7 centres inter-régionaux, 11 centres aéronautiques, 27 pôles d'observation, et différents centres spécialisés (voir carte ci-dessous). Météo-France dispose de quatre directions interrégionales pour l'outre-mer : Antilles-Guyane, La Réunion, Nouvelle-Calédonie et Polynésie française.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> N.D., 02/02/2024, *L'organisation de Météo-France*, Météo-France, [L'organisation de Météo-France | L'organisation de Météo-France \(meteofrance.fr\)](#)

<sup>11</sup> Ibid

Figure n°1 : Implantation de Météo-France dans l'hexagone et en Corse



Source : “L’organisation de Météo-France”, par Météo-France, le 02/02/2024, <https://meteofrance.fr/etablissement/organisation/lorganisation-de-meteo-france>

C’est au sein de la Direction de la Climatologie et des Services Climatiques (DCSC) que j’ai effectué mon stage. Cette Direction est responsable de la conservation pérenne, de l’enrichissement et de l’analyse du patrimoine climatologique et de la caractérisation du climat passé, présent et futur : service dans lequel j’ai effectué mon stage. La DCSC assure également, pour la France métropolitaine mais également l’Outre-Mer la conception du développement et la mise en œuvre des outils et produits utiles à l’étude du climat, à l’élaboration et la mise à disposition de services climatiques<sup>12</sup>. Pour remplir ses missions, Météo-France produit et traite des données scientifiques climatiques. Pour autant, coupler ces données avec des données socio-économiques afin d’identifier concrètement les conséquences du changement climatique sur la population et la biodiversité, est un axe de projet identifié. En effet, avec l’augmentation de l’intensité des phénomènes météorologiques et climatiques, la sécurité des biens et des personnes sera d’autant plus menacée.

<sup>12</sup> N.D., 02/02/2024, *L’organisation de Météo-France*, Météo-France, [L’organisation de Météo-France | L’organisation de Météo-France \(meteofrance.fr\)](https://meteofrance.fr/etablissement/organisation/lorganisation-de-meteo-france)

## B) Mobilisation croissante des pouvoirs publics concernant l'intégration des données socio-économiques pour l'adaptation au changement climatique

Le changement climatique cause de plus en plus de dégâts, tant sanitaires que matériels. Les projections indiquent que ce phénomène va se poursuivre et pourrait même s'intensifier, en fonction des actions qui seront mises en place pour réduire les émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial. Malgré l'avancée très importante qu'a constituée la signature des accords de Paris de 2015, il reste beaucoup à faire.

Au sein de ce rassemblement qui a réuni plus de 196 signatures le 12 décembre 2015, 188 pays ont ratifié ce traité international. Cependant, bien qu'un pays ait signé, s'il ne respecte pas l'accord, aucune sanction n'est appliquée. Aussi, les pays peuvent rompre l'accord, comme l'a fait le président des Etats-Unis Donald Trump en 2017. L'objectif des accords de Paris est d'atteindre la neutralité carbone pour les pays signataires d'ici 2050, afin de limiter le réchauffement planétaire sous la barre des 2°C et, si possible, 1,5°C. Cet objectif semble aujourd'hui difficile à atteindre<sup>13</sup>. Des démarches visant à s'adapter à un réchauffement plus important sont donc lancées, tout en maintenant l'effort sur la réduction des émissions de GES. Atténuation et adaptation sont les deux volets de l'action climatique.

En France, l'adaptation est structurée depuis 2011 par un plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC). Après deux plans qui ont couvert respectivement les périodes 2011-2015 et 2018-2022, le gouvernement élabore actuellement le PNACC-3, dont la mise en consultation publique est prévue dans les prochains mois<sup>14</sup>.

Ce plan introduit une notion nouvelle et centrale pour l'élaboration des stratégies d'adaptation au changement climatique : la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC). Il s'agit de définir une trajectoire d'évolution climatique à laquelle il convient de s'adapter, pour que tous les acteurs travaillent avec les mêmes hypothèses.

---

<sup>13</sup> Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, *Qu'est-ce que l'accord de Paris ?* United Nations Climate Change [L'Accord de Paris | CCNUCC \(unfccc.int\)](#)

<sup>14</sup> Centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique, 21/06/2023, *Quelle stratégie nationale pour s'adapter au changement climatique ?* Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires [Quelle stratégie nationale pour s'adapter au changement climatique ? | Centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique \(adaptation-changement-climatique.gouv.fr\)](#)

L'atteinte de l'objectif des accords de Paris étant, on l'a vu, aujourd'hui incertaine, cette trajectoire est plus pessimiste. Cela ne constitue en aucune manière un renoncement : l'effort est maintenu pour atteindre cet objectif, ou s'en rapprocher le plus possible. Cependant, l'évolution climatique dépend des émissions de GES au niveau mondial, et aucun Etat ne les maîtrise individuellement. La TRACC considère trois horizons temporels (2030, 2050, 2100), avec pour chacun la nécessité de s'adapter à un niveau de réchauffement planétaire et une déclinaison sur le territoire français (par rapport à l'ère préindustrielle dans les deux cas) :

- 2030 : réchauffement planétaire +1,5 °C      réchauffement France +2 °C
- 2050 : réchauffement planétaire +2 °C      réchauffement France +2,7 °C
- 2100 : réchauffement planétaire +3 °C      réchauffement France +4 °C<sup>15</sup>

Météo-France a décliné pour chacun des trois horizons ainsi définis « l'état du climat projeté » dans une France à +2 °C, +2,7 °C et +4 °C : températures, mais aussi précipitations, sécheresse...etc. Les informations et données correspondantes sont mises à disposition au travers de différents services, comme le portail DRIAS. Ce site internet permet d'accéder à des cartes représentant les projections climatiques pour plusieurs horizons temporels et différents aléas climatiques tels que les précipitations, les indices de sécheresse ou encore les températures. Avec la simple création d'un compte (gratuit), tout un chacun peut accéder aux données climatiques brutes. Au vu de ce contexte environnemental de plus en plus préoccupant, il paraît donc essentiel de coupler les données climatiques existantes avec des données socio-économiques. En effet, bien que les informations scientifiques soient essentielles, une même projection climatique n'aura pas le même impact sur la société en fonction de différents facteurs tels que la démographie, l'artificialisation des sols et l'anthropisation de la zone en général.

C'est d'ailleurs là tout le sujet de mon mémoire. La TRACC prévoit un réchauffement moyen de +4°C en France à l'horizon 2100. Cependant, le réchauffement, et plus généralement l'évolution climatique ne sera pas homogène sur le territoire, et ses impacts pourront différer en fonction de la géographie française. Il est donc intéressant d'effectuer une étude ciblée qui prend en compte chaque échelon territorial afin d'avoir une analyse qui soit la plus fine possible localement. Un premier temps de ma mission a donc porté sur l'identification de

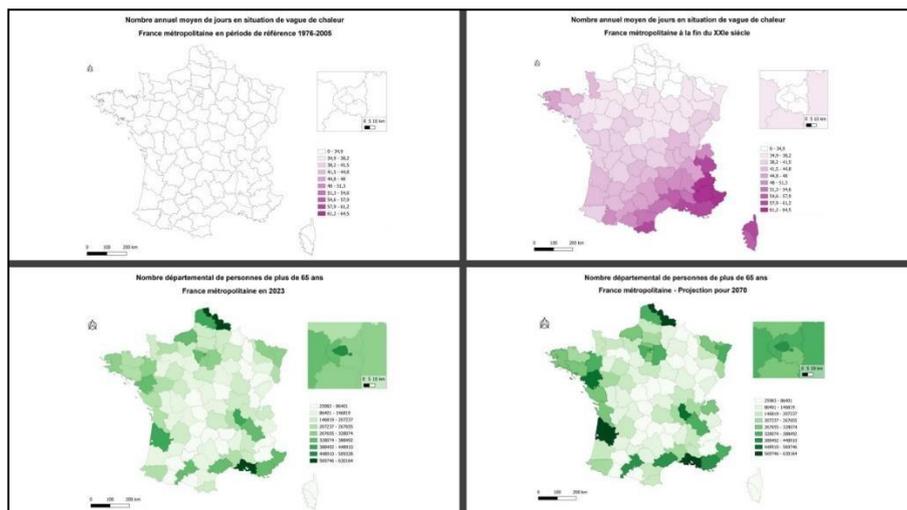
---

<sup>15</sup> Centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique, 21/06/2023, *Quelle stratégie nationale pour s'adapter au changement climatique ?* Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires [Quelle stratégie nationale pour s'adapter au changement climatique ? | Centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique \(adaptation-changement-climatique.gouv.fr\)](https://www.ccrcc.fr/Quelle-strategie-nationale-pour-sadapter-au-changement-climatique-?)

sujets qui pourraient être particulièrement vulnérables face aux aléas climatiques, qui sont de plus en plus exacerbés par le changement climatique. Ce stage était exploratoire, Météo-France n’ayant pas, à ce jour, de service climatique opérationnel évaluant un risque climatique à partir du croisement entre données climatiques et socio-démographiques. De ce fait, ma fiche de stage initiale était assez large avec notamment plusieurs propositions d’aléas à traiter comme les feux de forêt, les sécheresses, les inondations ainsi que les fortes chaleurs. Le deuxième temps a porté sur la définition d'un score de risque permettant de combiner ces deux vecteurs (aléa et vulnérabilité), de façon pertinente. Au cours du processus, j’ai choisi de me concentrer sur l’impact des fortes chaleurs sur les populations âgées. Ce choix sera détaillé dans la partie 3. Enfin, la dernière étape a consisté à assembler ces informations en cartographiant les scores de risques, en associant les données climatiques et les données socio-démographiques.

Voici, ci-dessous, un exemple de cartographie de l’aléa climatique : le nombre de jours en vague de chaleur (cartes violettes) en période de référence (1976-2005) et pour l’horizon lointain 2100, en supposant que la France se soit réchauffée de 4°C comme les estimations le relatent. Les cartes vertes représentent la vulnérabilité à savoir le nombre de personnes de plus de 65 ans par département en 2023, et sa projection en 2070. Les aléas et vulnérabilités sont à la base de toute notre étude, il est donc important de les identifier pour instaurer le contexte.

*Figure n°2 : Assemblage de cartes du nombre de jours en vague de chaleur (en haut) et du nombre de personnes âgées (en bas), pour la période de référence (à gauche) et en fin de siècle (à droite).*



Source : Météo-France, “Estimations de la population au 1er janvier 2023”, INSEE, 24/01/2023.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1893198>, "Projections", INED, <https://www.ined.fr/fr/tout-savoir-population/chiffres/france/evolution-population/projections/> Auteur : Cannelle BOURDIL – Via Qgis

## II- Aléas et vulnérabilités face au changement climatique

Le climat se réchauffe et les populations n'ont parfois pas suffisamment de temps pour s'y habituer. Écosystèmes et populations sont fragilisés à cause de phénomènes extrêmes tels que, par exemple, des pluies diluviennes ou des incendies. Dans cette partie, nous proposerons un état de l'art sur les aléas climatiques en France et la notion de vulnérabilité socio-économique.

### A) La France : un pays inégalement exposé aux impacts du changement climatique

Le dérèglement du climat est aujourd'hui incontestable et ses conséquences manifestes peuvent être évaluées en fonction de différents scénarios d'évolution basés sur des hypothèses d'émissions de gaz à effet de serre. Le réchauffement climatique est actuellement d'1,9°C en France par rapport à l'ère préindustrielle (différence entre la période 2011-2020 et la période 1850-1900), et pourrait atteindre ou dépasser +5°C en France d'ici la fin du siècle selon les projections les plus pessimistes<sup>16</sup>. Au-delà de la température, ce sont tous les paramètres météorologiques qui sont concernés par ce changement climatique et les impacts sont multiples.

Le système climatique met en jeu de nombreuses interactions entre différents éléments. Tout l'équilibre dynamique d'un écosystème peut être perturbé si une donnée dans l'équation est modifiée. C'est notre cas actuellement. Le changement climatique impacte les écosystèmes qui réagissent différemment face aux aléas climatiques. Par exemple, les pluies peuvent devenir plus rares et plus intenses, favorisant l'imperméabilité des sols, ce qui engendre un assèchement accru de ces derniers et un stress hydrique pour les plantes<sup>17</sup>.

La population sera donc plus ou moins touchée par tel ou tel aléa. Pour autant, l'augmentation des températures, elle, concernera l'ensemble de la population.

---

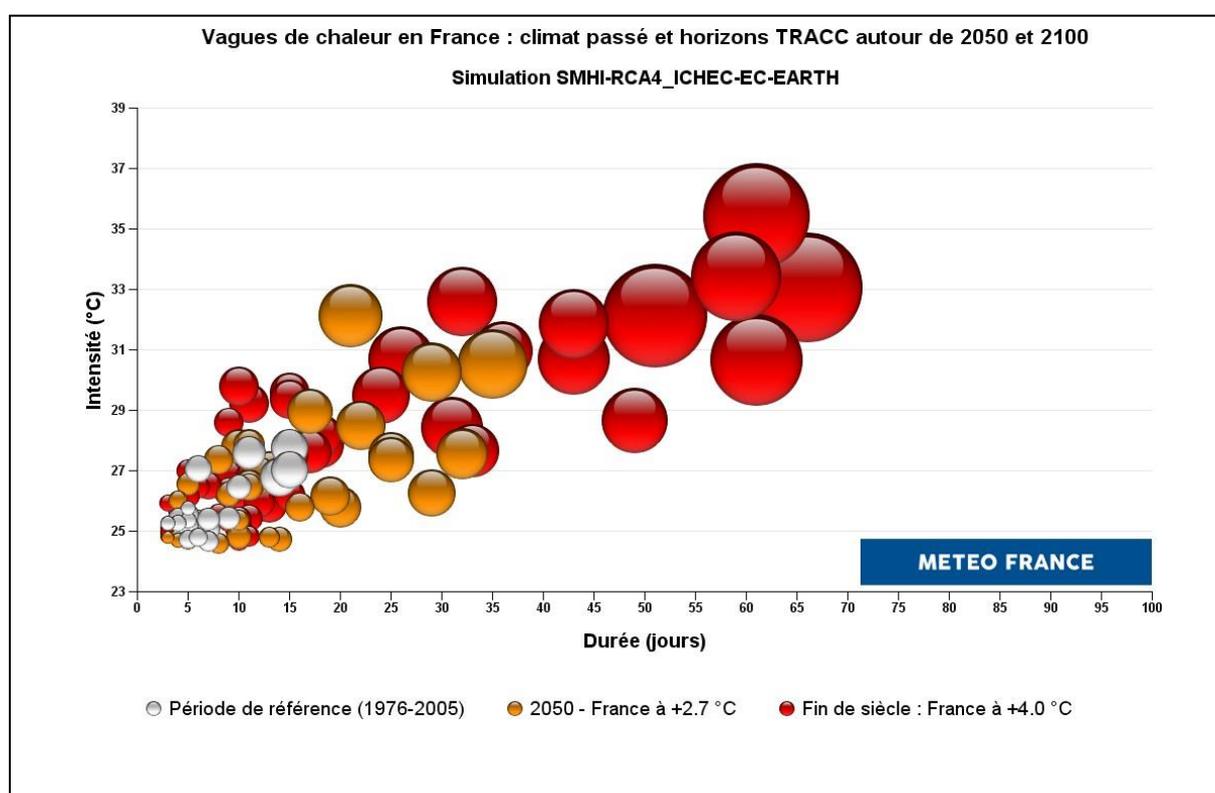
<sup>16</sup> Chiffres clés du climat DATALAB, 2021, *Scénarios et projections climatique*, Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires [Scénarios et projections climatiques | Chiffres clés du climat \(developpement-durable.gouv.fr\)](https://developpement-durable.gouv.fr/scenarios-et-projections-climatiques)

<sup>17</sup> Données et études statistiques, 21/12/2022, *Les effets du changement climatique en France*, Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires [Les effets du changement climatique en France - Synthèse des connaissances en 2022 | Données et études statistiques \(developpement-durable.gouv.fr\)](https://developpement-durable.gouv.fr/les-effets-du-changement-climatique-en-france-synthese-des-connaissances-en-2022)

Illustrons nos propos avec l'exemple des vagues de chaleur.

Une vague de chaleur est identifiée sur une région ou un département lorsque la température moyenne quotidienne reste sensiblement supérieure à sa normale quotidienne durant trois jours consécutifs au moins, tout en atteignant une valeur exceptionnelle un jour au moins. En Gironde par exemple, une vague de chaleur est identifiée si la température moyenne quotidienne dépasse 24.2 °C durant trois jours consécutifs au moins, tout en atteignant 26.7 °C un jour au moins.<sup>18</sup>

*Figure n°3 : Graphe à bulles simulant l'évolution des vagues de chaleurs de la période de référence (1976-2005) à la fin du siècle (2100) en France métropolitaine.*



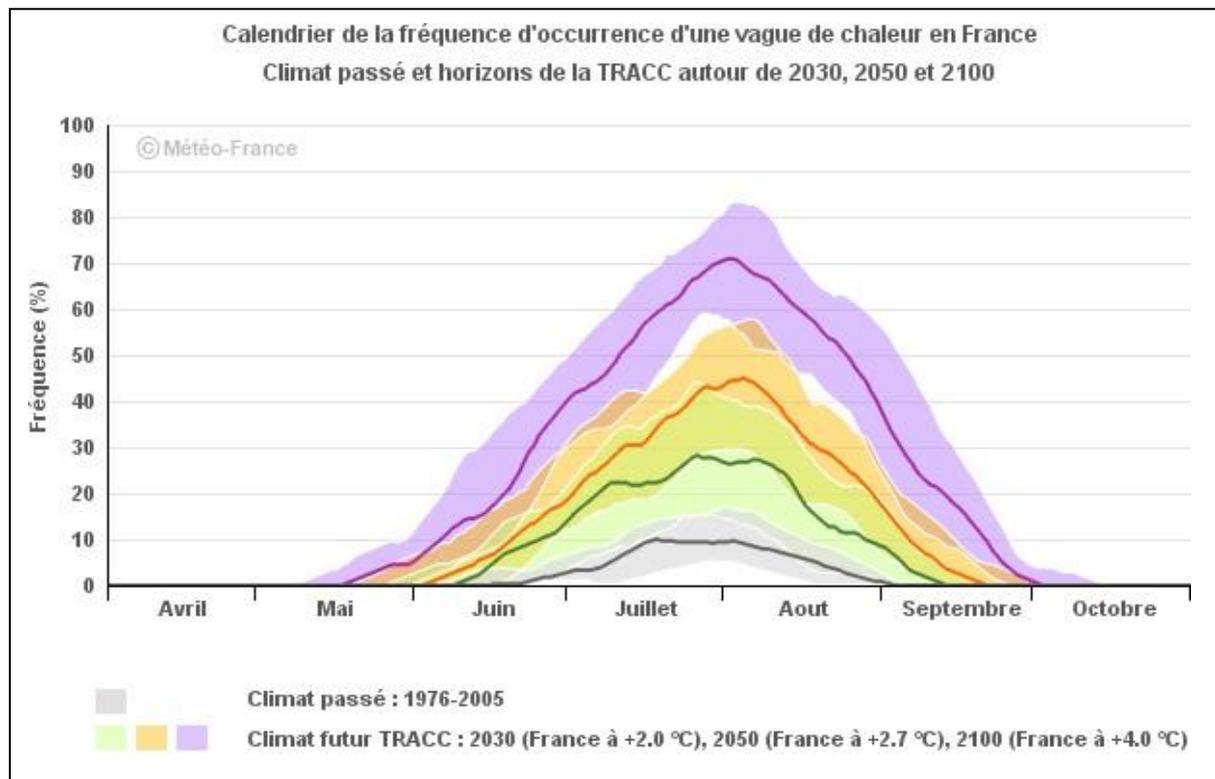
Source : "Évolution des vagues de chaleur en France dans le cadre de la TRACC", Michel Schneider, DRIAS.

<https://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/417>

La figure 3 présente les vagues de chaleur pour la période de référence et pour 2 horizons futurs de la TRACC. Chaque vague est positionnée en fonction de sa durée (sur l'axe horizontal) et de son intensité (température moyenne de la journée la plus chaude de l'épisode). Le diamètre des cercles correspond à la sévérité des épisodes de vagues de chaleur. Nous constatons que les vagues de chaleur qui surviendront en fin de siècle seront beaucoup plus sévères : plus longues et connaîtront des pics de chaleur beaucoup plus élevés.

<sup>18</sup> N.D., 28/09/2023, *Vagues de chaleur et changement climatique*, Météo-France, [Vagues de chaleur et changement climatique | Météo-France \(meteofrance.com\)](#)

Figure n°4 : Courbe représentant la simulation du calendrier de la fréquence d'occurrence pour une vague de chaleur de la période de référence (1976-2005) à la fin du siècle (2100) en France métropolitaine



Source : "Évolution des vagues de chaleur en France dans le cadre de la TRACC", Michel Schneider, DRIAS.

<https://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/417>

La comparaison entre climat passé et climat futur des calendriers de fréquence d'occurrence d'une vague de chaleur un jour donné vient renforcer le message délivré de la figure n°3. En fin de siècle, le risque d'être en vague de chaleur début juin ou mi-septembre deviendra analogue à ce qu'il était au cœur de l'été en climat récent.

## B) Des populations de plus en plus soumises aux risques naturels : accroissement de la vulnérabilité

Pour les êtres humains, l'inégalité face à l'exposition des aléas climatiques peut être conséquente. En effet, même si un phénomène agit dans une zone bien délimitée, les conséquences seront bien différentes en fonction de la personne qui le subit<sup>19</sup>. La capacité à se protéger de l'aléa climatique peut s'avérer décisive. Elle peut se caractériser de différentes manières.

La condition économique de la personne touchée en est un exemple. Un logement modeste est généralement moins bien isolé et les personnes vivant à l'intérieur deviennent donc vulnérables aux fortes chaleurs. Les logements mal isolés peuvent être en proie au phénomène de bouilloire thermique. Ce terme signifie que le logement mal isolé rencontre durant au moins 25 jours dans l'année une température supérieure ou égale à 30°C le jour et 28°C la nuit.<sup>20</sup>

Aussi, une personne plus aisée pourra installer la climatisation et pourra donc se rafraîchir. Rappelons tout de même que la climatisation est une fausse bonne idée car elle rejette de la chaleur à l'extérieur et contribue aux émissions de GES. La climatisation consomme beaucoup d'énergie, surtout pour les commerces. Pour autant, ce n'est pas la seule cause d'émissions. En effet, les climatisations sont composées de fluides frigorigènes qui participent au réchauffement du climat. Rappelons que les fluides émettent deux fois plus de gaz à effet de serre que la consommation d'électricité.<sup>21</sup>

Beaucoup d'autres facteurs entrent également en jeu comme l'environnement social. Face à un aléa climatique, les personnes qui sont les plus à risques sont en général les plus isolées qui n'ont personne à contacter en cas d'urgence et qui n'ont personne chez qui aller lorsque le danger est prévu. La condition physique est aussi un facteur déclenchant de vulnérabilité.

---

<sup>19</sup> Clément V., Jaurand E., mai 2005, *Risques « naturels » et territoires en France*, *Géoconfluences*, <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/doc/transv/Risque/RisqueScient.htm>

<sup>20</sup> Jegousse P., 21/06/2024, *Bouilloire thermique : définition & solutions pour ne plus souffrir de la chaleur*, Habitat presto [Bouilloire thermique : définition & solutions contre la chaleur \(habitatpresto.com\)](http://habitatpresto.com)

<sup>21</sup> N.D., 30/06/2021, *La climatisation : vers une utilisation raisonnée pour limiter l'impact sur l'environnement*, ADEME [La climatisation : vers une utilisation raisonnée pour limiter l'impact sur l'environnement – ADEME Presse](http://ademe.fr)

La chaleur dilate les vaisseaux sanguins de manière à refroidir le sang dans les veines et augmente donc naturellement la pression artérielle<sup>22</sup>. Ce mécanisme est naturel mais peut être très dangereux en présence de certaines pathologies. Les personnes particulièrement sédentaires ont souvent une pression artérielle élevée et la chaleur l'accroît. Les problèmes cardiaques sont donc plus probables<sup>23</sup>.

Prenons l'exemple de la canicule de 2003. C'était la canicule la plus importante depuis 1947, faisant près de 15 000 victimes.<sup>24</sup> Cet événement a duré deux semaines et les températures ont atteint les 44°C à Conqueyrac, commune située dans le Gard. Toute l'Europe a été touchée plus ou moins intensément mais c'est en France que la canicule fut la plus remarquable. Avant cette canicule, il n'y avait pas vraiment de système d'alerte, mais nous verrons par la suite que cette canicule a été à l'origine de la création de la « vigilance canicule ».

Le nombre élevé de victimes s'explique par plusieurs facteurs. Tout d'abord, certaines personnes ne ressentent pas la soif et meurent de déshydratation. Le corps étant composé à 70% environ d'eau, si l'eau perdue par la sudation plus intense n'est pas régénérée, cela peut s'avérer très dangereux pour le métabolisme. Ce dysfonctionnement s'observe principalement chez les personnes âgées. Aussi, le corps a besoin de fraîcheur pour se reposer pleinement. Les nuits tropicales, qui ne baissent pas en dessous des 20°C, participent à la fatigue corporelle car les nuits sont moins réparatrices. Les personnes dépendantes et souffrant d'un handicap physique ou mental ont également été particulièrement touchées par la canicule<sup>25</sup>. Les personnes souffrant de maladies cardio-vasculaires sont également très vulnérables.

Beaucoup d'autres personnes peuvent être particulièrement vulnérables face aux canicules comme les nourrissons, les femmes enceintes, les personnes obèses ou encore asthmatiques par exemple<sup>26</sup>. Les personnes étant particulièrement exposées à la chaleur comme celles qui travaillent en extérieur ou à proximité de fours sont également à prendre en considération.

La canicule de 2003 a fait émerger des problématiques nouvelles notamment concernant l'isolation des infrastructures hospitalières, surtout celles orientées vers des personnes âgées

---

<sup>22</sup> N.D., 06/06/2023, *Canicules et fortes chaleurs, définition et conséquences sur la santé*, Améli [Canicule et fortes chaleurs : conséquences sur la santé | ameli.fr | Assuré](#)

<sup>23</sup> N.D., 02/04/2024, *Définition et causes de la pression artérielle (HTA)*, Améli [Définition et facteurs favorisants de l'HTA | ameli.fr | Assuré](#)

<sup>24</sup> N.D., 06/09/2019, *La vague de chaleur d'août 2003 : que s'est-il passé ?* Santé Publique France [La vague de chaleur d'août 2003 : que s'est-il passé ? \(santepubliquefrance.fr\)](#)

<sup>25</sup> Ibid

<sup>26</sup> N.D., 06/06/2023, *Canicules et fortes chaleurs, définition et conséquences sur la santé*, Améli [Canicule et fortes chaleurs : conséquences sur la santé | ameli.fr | Assuré](#)

ou gravement malades. La vulnérabilité des EHPAD (Etablissement d'Hébergement pour Personnes Âgées Dépendantes) a été mise en exergue et de nouveaux moyens ont été mis en place pour lutter contre la déshydratation chez les personnes âgées. Les boissons sont beaucoup plus accessibles par exemple.<sup>27</sup> De nombreux enseignements ont été tirés de la canicule de 2003, comme la nécessité d'anticiper au mieux la survenue des vagues de chaleur de façon et l'information des populations.

L'instauration de la vigilance canicule et les différentes mesures semblent avoir été efficaces : la France a de nouveau connu une canicule en 2006, avec une surmortalité d'environ un millier de personnes. C'est près de 15 fois moins que la canicule de 2003. Pourtant, avec une durée de 21 jours, elle fut significativement plus longue que la canicule précédente. Les températures étaient néanmoins plus basses donc l'intensité moins élevée<sup>28</sup>.

### C) Le risque : une notion engendrée par le croisement entre aléa et vulnérabilité

Comme nous venons de l'évoquer, une autre mesure importante à la suite de la canicule de 2003 a été la mise en place par Météo-France de la vigilance canicule. Plus précisément, Météo-France a inclus la canicule dans les phénomènes pris en compte dans le dispositif de vigilance météorologique.

Le système de vigilance météorologique a été mis en place en 2001, à la suite d'un événement climatique extrême : les tempêtes de décembre 1999. En effet, les deux tempêtes successives Lothar et Martin, à un jour d'intervalle ont, à un jour d'intervalle, causé la mort 92 personnes, et blessé environ 2 000 personnes<sup>29</sup>.

Ce nouveau dispositif a émergé le 1<sup>er</sup> octobre 2001 mais ne prenait en compte que les vigilances concernant les orages, les fortes pluies, les vents violents et la neige-verglas. C'est suite à la canicule d'août 2003 que les vigilances évoluent avec notamment la création d'une vigilance canicule, grand froid ou avalanche. Le but de l'annonce d'une vigilance sur un aléa climatique permet de rendre les populations moins vulnérables, en favorisant l'adaptation des comportements.

---

<sup>27</sup> Pouteau V., 02/2023, *La déshydratation en EPHAD*, ERVMA [ERVMA-2023-fiche-pratique-la-deshydratation.pdf \(chu-tours.fr\)](#)

<sup>28</sup> Schneider M., 05/06/2007, *La vague de chaleur de juillet 2006 en France : aspects météorologiques*, Santé Publique France [La vague de chaleur de juillet 2006 en France : aspects météorologiques. Numéro thématique. Été 2006 : premier épisode caniculaire majeur après la catastrophe de 2003 \(santepubliquefrance.fr\)](#)

<sup>29</sup> N.D., 05/03/2020, *Tempêtes de 1999, retour sur un événement exceptionnel*, Météo-France [Tempêtes de 1999 : retour sur un événement exceptionnel | Météo-France \(meteofrance.com\)](#)

Une caractéristique essentielle de la vigilance météorologique est d'évaluer un risque et non uniquement l'intensité d'un phénomène météorologique. Les seuils pour les différents niveaux de vigilance intègrent en effet la vulnérabilité du département.

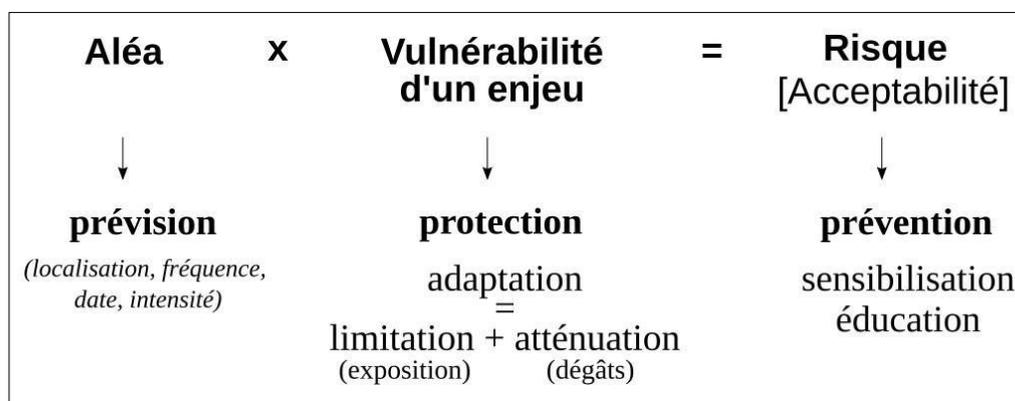
Le Finistère, plus habitué aux tempêtes et forts coups de vent pourra avoir des seuils plus élevés pour la vigilance vent fort qu'un département moins accoutumé dans lequel les arbres pourront par exemple être plus facilement déracinés. A intensité égale, des pluies intenses pourront avoir un impact plus important dans un département très urbanisé et densément peuplé que dans un département plus rural. Le seuil de vigilance canicule sera également plus élevé dans les départements du sud, plus habitués.

Le croisement aléa et vulnérabilité permet également d'accompagner les acteurs dans leur politique pour maximiser la protection des citoyens et des biens. Ce principe, illustré sur l'exemple de la vigilance météorologique, à 24 ou 48h d'échéance, peut se décliner à l'échelle de l'évolution climatique. L'impact de telle ou telle évolution climatique doit être évalué en fonction des spécificités et des vulnérabilités du territoire concerné.

Par exemple, Climadiag commune est un service climatique en ligne de Météo-France qui met à disposition des élus et des citoyens les principales évolutions climatiques associées à une commune ou un Établissement Public de Coopération Intercommunale (EPCI) : en lien avec les vulnérabilités identifiées dans la base nationale Géorisques. Climadiag Commune se contente cependant de signaler à l'utilisateur l'existence d'une vulnérabilité spécifique en regard de la présentation d'un aléa climatique.

Un risque est la combinaison entre un aléa et une vulnérabilité :

*Figure n°5 : Schéma de la construction d'un risque*



Source : "Aléas et risques", Olivier Dequinsey, 2017, ENS LYON. <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/FEL2017.xml>

Le schéma ci-dessus montre qu'un risque est caractérisé par la combinaison entre aléa et vulnérabilité. En effet, cette formule précise qu'un aléa, (dont nous avons donné la définition dans l'introduction) est difficilement prévisible et peut donc échapper à tout contrôle. D'autre part, la vulnérabilité apparaît lorsqu'un sujet est peu protégé et n'a pas les moyens de s'adapter immédiatement pour se protéger de l'aléa en question. L'aléa combiné à la vulnérabilité donne le risque.

Avec le vécu, la vulnérabilité peut parfois être amoindrie grâce à de la prévention ou de la sensibilisation (ne pas sortir lors de tempêtes...). C'est donc pour toutes ces raisons qu'il est vraiment utile de croiser aléa et vulnérabilité afin d'établir des scores de risque pour l'éviter et prévenir la population. La prochaine partie servira à démontrer comment adjoindre les deux.

### III- Elaboration d'une méthode de scoring

Ma mission s'est opérée en trois parties bien distinctes, que je présenterai sous forme de sous-parties.

#### A) Approche globale des vulnérabilités associées aux différents aléas climatiques

La problématique de mon stage couvrait un domaine extrêmement vaste, avec de nombreux aléas climatiques à considérer et pour chacun d'entre eux, le plus souvent, plusieurs domaines de vulnérabilité.

La première phase de mon stage a consisté à mener une réflexion sur les vulnérabilités associées aux 4 aléas climatiques suggérés par mes maîtres de stage (fortes chaleurs, inondations, sécheresse, feux de forêt). Cette réflexion a rapidement confirmé qu'il était nécessaire de définir un périmètre et des objectifs plus compatibles avec la durée de mon stage.

Nous avons donc choisi de commencer par l'aléa des fortes chaleurs. J'ai mené une étude bibliographique pour identifier les sujets potentiellement vulnérables aux fortes chaleurs et synthétisé cette analyse au travers d'une carte mentale. (Voir annexe 1)

Quatre thématiques particulièrement vulnérables aux fortes chaleurs en sont ressorties :

- La santé et surtout les personnes âgées, femmes enceintes, enfants de moins de 3 ans, et personnes souffrant de maladies chroniques<sup>30</sup>,
- Le fonctionnement de la vie quotidienne comme la fréquentation de bâtiments non protégés des fortes chaleurs recevant du public (milieu scolaire : conditions pour passer un examen...), le milieu touristique, les campings (tentes), les personnes travaillant en extérieur...
- Les infrastructures avec la mauvaise isolation des bâtiments qui rend vulnérables les habitants des logements concernés ou la détérioration des équipements de transports (routes, rails...)<sup>31</sup>,

---

<sup>30</sup> N.D., 06/06/2023, *Canicules et fortes chaleurs, définition et conséquences sur la santé*, Améli [Canicule et fortes chaleurs : conséquences sur la santé | ameli.fr | Assuré](#)

<sup>31</sup> Feldzer G., 14/11/2021, *Les transports causes et victimes du dérèglement climatique*, FranceInfo [Les transports causes et victimes du dérèglement climatique \(francetvinfo.fr\)](#)

- La biodiversité avec par exemple le développement d'insectes nuisibles lors de fortes chaleurs (scolytes), l'agriculture....,

Lors de mes recherches, chaque nouvelle vulnérabilité potentielle que je découvrais en mettait d'autres en exergue. Bien que nous ne puissions pas traiter tous les sujets, il était néanmoins important d'avoir le maximum d'informations sur chaque thématique pour estimer son degré de vulnérabilité vis-à-vis des fortes chaleurs. Après plusieurs réunions avec mes maîtres de stage, nous avons décidé de nous concentrer sur une seule thématique, le temps imparti du stage ne nous permettant pas de traiter l'ensemble des thématiques. Nous avons choisi la vulnérabilité des personnes âgées aux fortes chaleur. Le souvenir de la canicule de 2003 est encore très présent, et la conjonction du réchauffement climatique et du vieillissement de la population rend le sujet particulièrement préoccupant.

## B) Fortes chaleurs et populations âgées

Maintenant que le sujet d'études est précisé, nous allons rentrer plus en détails. Après avoir choisi l'aléa des fortes chaleurs et les populations âgées comme domaine de vulnérabilité, il a fallu déterminer plusieurs autres facteurs.

### III-B)1. Pour l'aléa :

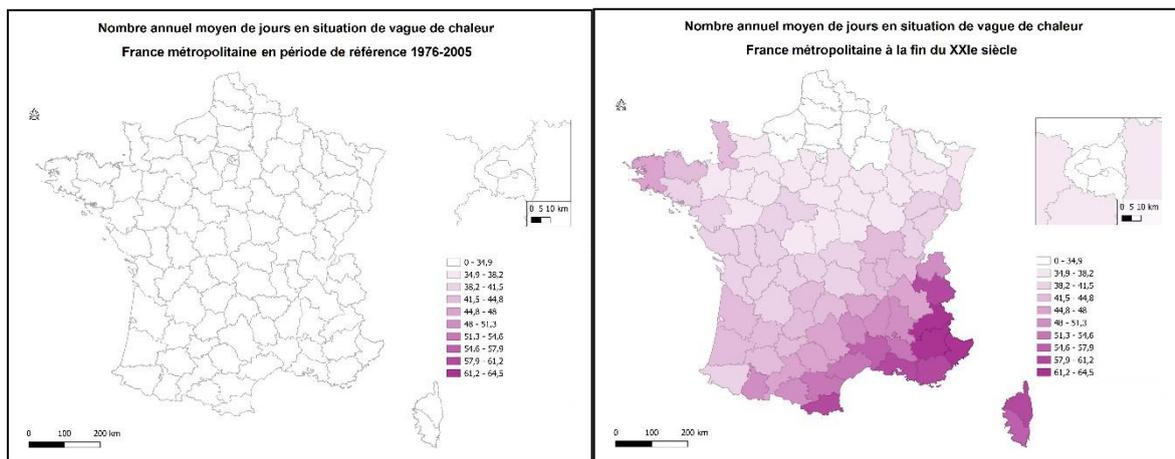
Pour un aléa donné, plusieurs indicateurs climatiques peuvent être mobilisés. Ces derniers sont élaborés à partir des variables calculées par les modèles de climat (précipitations, températures, vent, pression, humidité...) pour délivrer une information plus directement utilisable. Par exemple, plutôt que de parler de l'évolution de la température moyenne en été, un indicateur climatique pourra décrire l'évolution du nombre de jours de vague de chaleur. Dans le cadre de notre étude, trois indicateurs paraissent judicieux pour représenter l'aléa des fortes chaleurs : le nombre de nuits tropicales (température nocturne ne descendant pas sous les 20°C), le nombre de jours de fortes chaleur (température diurne supérieure à 35°C), ainsi que le nombre de jours en vague de chaleur (séquence de plusieurs jours consécutifs remarquablement chaud). C'est sur ce dernier indicateur que le travail méthodologique a été effectué. Une fois définie, la méthodologie a été appliquée aux deux autres indicateurs climatiques.

La finalité de ce travail portant sur l'adaptation au changement climatique, nous avons ensuite précisé les horizons temporels à considérer. Comme je l'ai présenté dans la première partie (I.b), la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique

comprend trois horizons : autour de 2030, autour de 2050 et en fin de siècle. Nous avons retenu l’horizon le plus lointain de façon à avoir une évolution climatique plus nette (par rapport à la période de référence centrée sur les années 1990 (moyenne 1976-2005)).

Voici un exemple avec le nombre de jours en vague de chaleur en période de référence et à l’horizon lointain : Par la suite, on représentera toujours l’indicateur climatique en violet.

*Figure n°6 : Cartes du nombre annuel moyen de jours en situation de vague de chaleur pour la période de référence et pour la fin du siècle en France métropolitaine*



Source : Météo-France, Auteur : Cannelle BOURDIL - via QGIS,

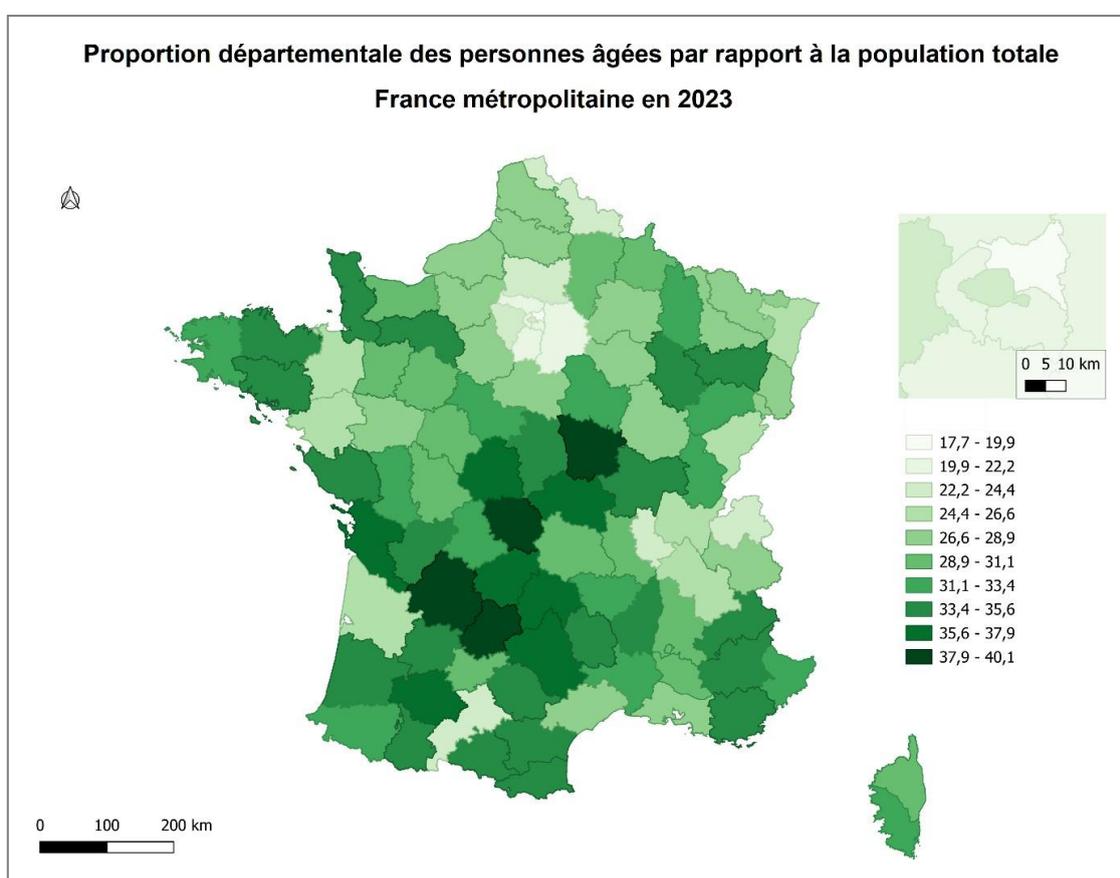
### III-B)2. Pour la vulnérabilité :

Il a été convenu de se focaliser sur la France métropolitaine avec une approche à l’échelle départementale. En effet, une mise en œuvre à l’échelle communale était utopique au regard du temps dont je disposais car cette échelle aurait engendré de multiples complications comme par exemple, la fusion chaque année de certaines communes. De ce fait, trouver un fichier avec exactement les mêmes communes que le fichier avec des données exploitables sur les personnes âgées, était une tâche très complexe. Pour faire la jointure attributaire dans Qgis et concevoir les cartes, il faut que les deux tableaux à joindre soient munis d’une colonne similaire. Si ce n’est pas le cas, la jointure ne se fait pas et rien n’est exploitable dans le logiciel. A l’échelle départementale, il n’y a pas ce genre de problèmes car les départements sont stables. Après examen des données disponibles notamment sur l’INSEE ou sur l’Observatoire des territoires, nous avons choisi d’évaluer la vulnérabilité des personnes de

plus de 65 ans par département<sup>32</sup>. En effet, c'est à cette âge qu'une personne est considérée comme âgée<sup>33</sup>.

D'autre part, le choix de la métrique pour les personnes âgées a également été source de discussions. En effet, plusieurs choix se présentaient. Pour décider du type d'informations à exploiter par la suite, j'ai conçu différentes cartes : nombre total de personnes âgées, densité géographique (annexe 2), proportion de la population totale. J'ai également produit une carte par anamorphose qui s'est cependant avérée délicate à exploiter (annexe 3). Je pensais que la technique par proportion était pertinente. En observant les résultats, je me suis aperçue qu'analyser la population comme ceci complique l'interprétation :

*Figure n°7 : Carte de la proportion du nombre de personnes de plus de 65 ans par rapport à la population totale en France métropolitaine pour 2023*



Source des données : "Estimations de la population au 1er janvier 2023", INSEE, 24/01/2023.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1893198>, Auteur : Cannelle BOURDIL - via QGIS

<sup>32</sup> 08/01/2024, *Projection de population 2018-2070*, INSEE, [Projections de population 2018-2070 – Tableaux détaillés pour les départements – Projections de population 2018-2070 | Insee](#)

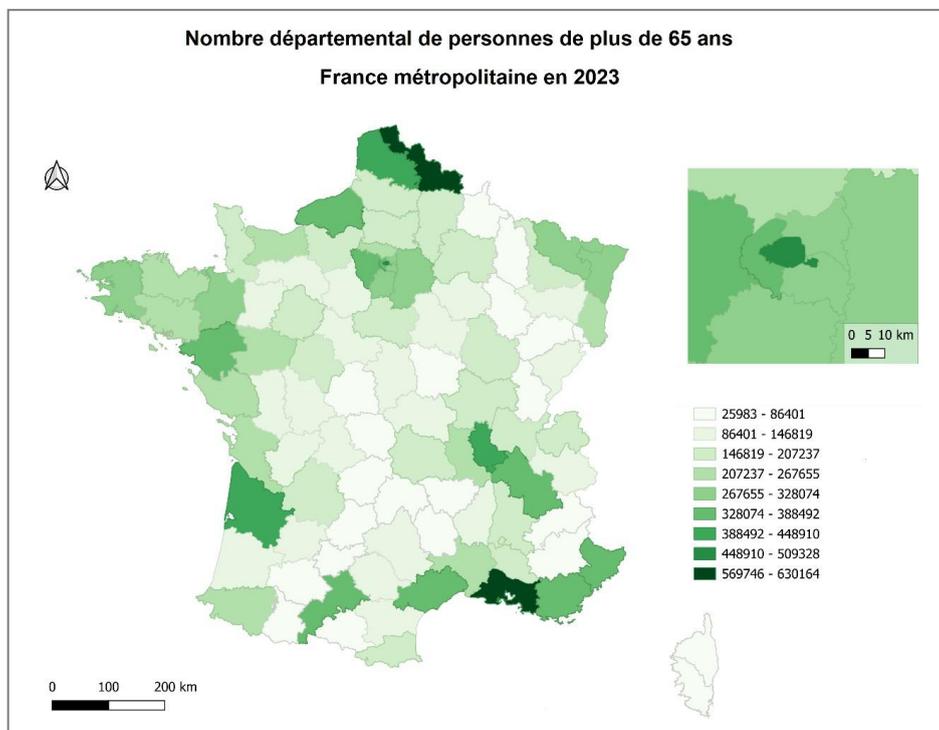
<sup>33</sup> Ennuyer, B. (2011). *À quel âge est-on vieux : La catégorisation des âges : ségrégation sociale et réification des individus*. *Gérontologie et société*, vol.34(n°138), p.131, Cairn [À quel âge est-on vieux ? | Cairn.info](#)

Lorsque nous observons la carte, nous constatons que les départements qui ressortent le plus sont la Creuse (23), la Dordogne (24), le Lot (46) et la Nièvre (58). Pour autant, ces départements font partie des moins peuplés de France. La proportion est intéressante mais il faut d'abord voir sur quel nombre total elle a été calculée. Les départements ici pointés connaissent les proportions les plus importantes car ils ont un faible bassin d'emploi et ne sont pas attractifs à l'heure actuelle.

De ce fait, les habitants actifs migrent vers des départements offrant plus de services, baissant ainsi le nombre de personnes jeunes. Les départements englobant les métropoles françaises sont en général dans les tons les plus clairs. Cependant, même si la proportion est moins élevée, le nombre brut le sera davantage dans les départements plus peuplés en général.

J'ai également testé sur la densité de population mais c'était également difficilement exploitable car les nombres varient entre 5 habitants au km<sup>2</sup> pour la Lozère et plus de 4500 habitants au km<sup>2</sup> pour Paris. La plage est trop grande pour que les cartes soient concluantes. Les cartes représentant la vulnérabilité seront toujours en vert. Nous avons donc décidé de retenir comme indicateur de vulnérabilité le nombre de personnes de plus de 65 ans. La carte ci-dessous l'illustre :

*Figure n°8 : Carte du nombre de personnes de plus de 65 ans en France métropolitaine pour l'année 2023*



Source des données : "Estimations de la population au 1er janvier 2023", INSEE, 24/01/2023.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1893198>, Auteur : Cannelle BOURDIL - via QGIS

Précisons néanmoins qu'il n'y a pas une seule bonne réponse ou choix et que la méthodologie sur laquelle porte mon mémoire peut être appliquée à différents types de données, en fonction de ce que l'on veut analyser. Cependant, pour la vulnérabilité des personnes de plus de 65 ans, c'est le nombre brut qui m'a paru le plus adéquat.

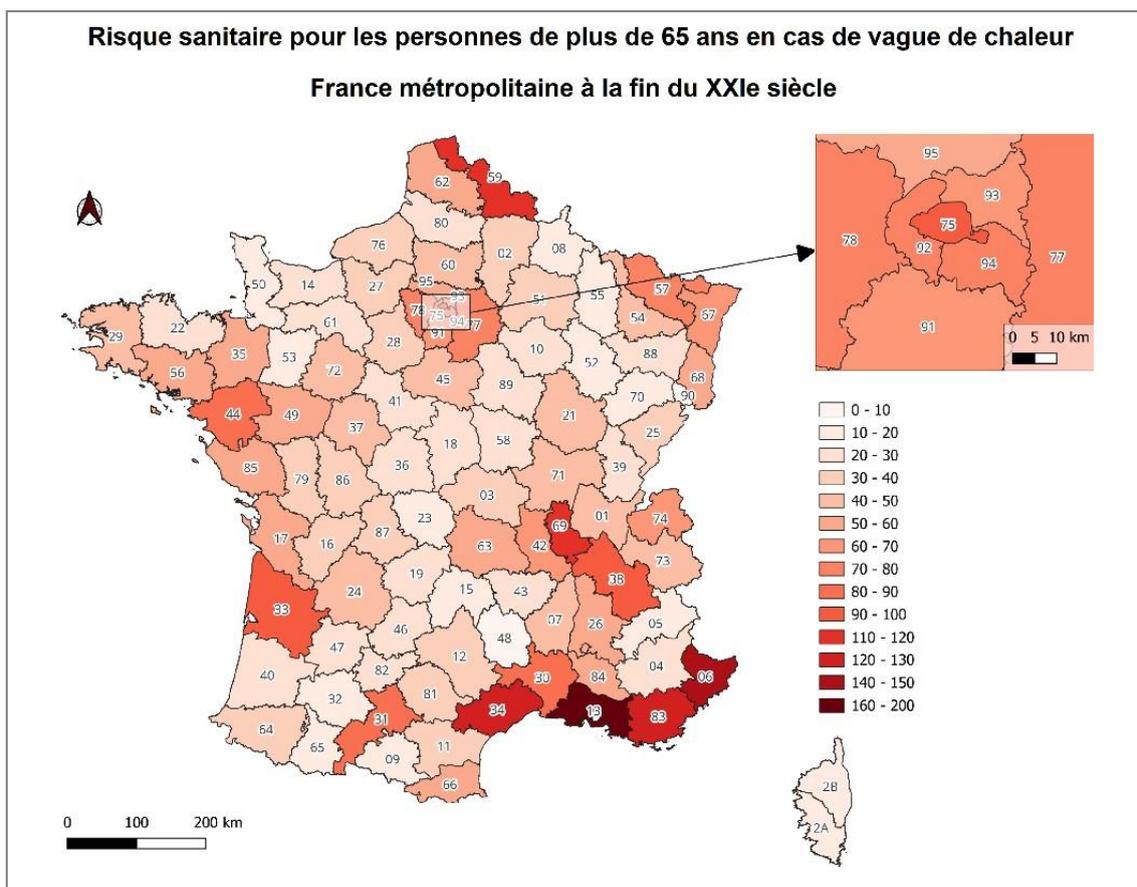
## C) Synthèse des deux données

Après avoir défini précisément les indicateurs climatiques et de vulnérabilité que nous allions exploiter, l'étape suivante a consisté à combiner les deux pour établir un score de risque. Pour cela, j'ai d'abord fait beaucoup de recherches bibliographiques pour voir si cela existait déjà ou s'il y avait des pistes équivalentes. Ces recherches n'ont pas permis d'identifier une méthode de "scoring" qui fasse autorité. C'est ainsi qu'a commencé la troisième phase, à savoir : trouver une technique de croisement ! Cette technique est basée sur une population constante (de 2023) mais l'aléa climatique est analysé à différents horizons temporels.

### III-C)1. Première approche : la multiplication

La première idée qui me fut la plus intuitive était de multiplier les deux valeurs. En effet, sur la figure n°5 page 21, le score de risque est représenté par une multiplication entre aléa et vulnérabilité. C'est donc ce que j'ai fait avant de diviser le résultat par 100 000 pour obtenir des chiffres maniables. Le score oscillait entre 0,5 pour la Haute-Corse et 17,3 pour le Nord en période de référence et 9,6 en pour le territoire de Belfort et 163.8 en maximum pour les Bouches-du-Rhône à la fin du XXIe siècle. J'ai donc cartographié ces résultats. Les cartes de score de risque seront toujours représentées par une palette rouge.

Figure n°9 : Carte représentant le risque sanitaire pour les personnes de plus de 65 ans en cas de vague de chaleur, d'ici la fin du siècle, en France métropolitaine. Croisement effectué par multiplication puis division par 100 000



Sources : Météo-France, "Estimations de la population au 1er janvier 2023", INSEE, 24/01/2023.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1893198>, Auteur : Cannelle BOURDIL – Via QGis

A l'issue de ces essais je me suis aperçue que les cartes ressemblaient considérablement à la carte de vulnérabilité seule, que vous pouvez voir sur la page 27. Ce comportement des cartes de risque se retrouve pour les deux horizons temporels (période de référence et fin de siècle). En effet, les plages de variation des deux indicateurs sont très différentes. Pour le nombre de personnes de plus de 65 ans, les valeurs sont comprises entre 25 983 et 630 164 habitants. Parallèlement à cela, le nombre de jours en vague de chaleur sur la période de référence ou l'horizon lointain, varie entre 9,8 et 43,1. De ce fait, le nombre de personnes de plus de 65 ans prenait toujours le dessus dans le calcul du risque. C'est à l'issue de cette constatation que j'ai testé la même formule en normalisant les chiffres.

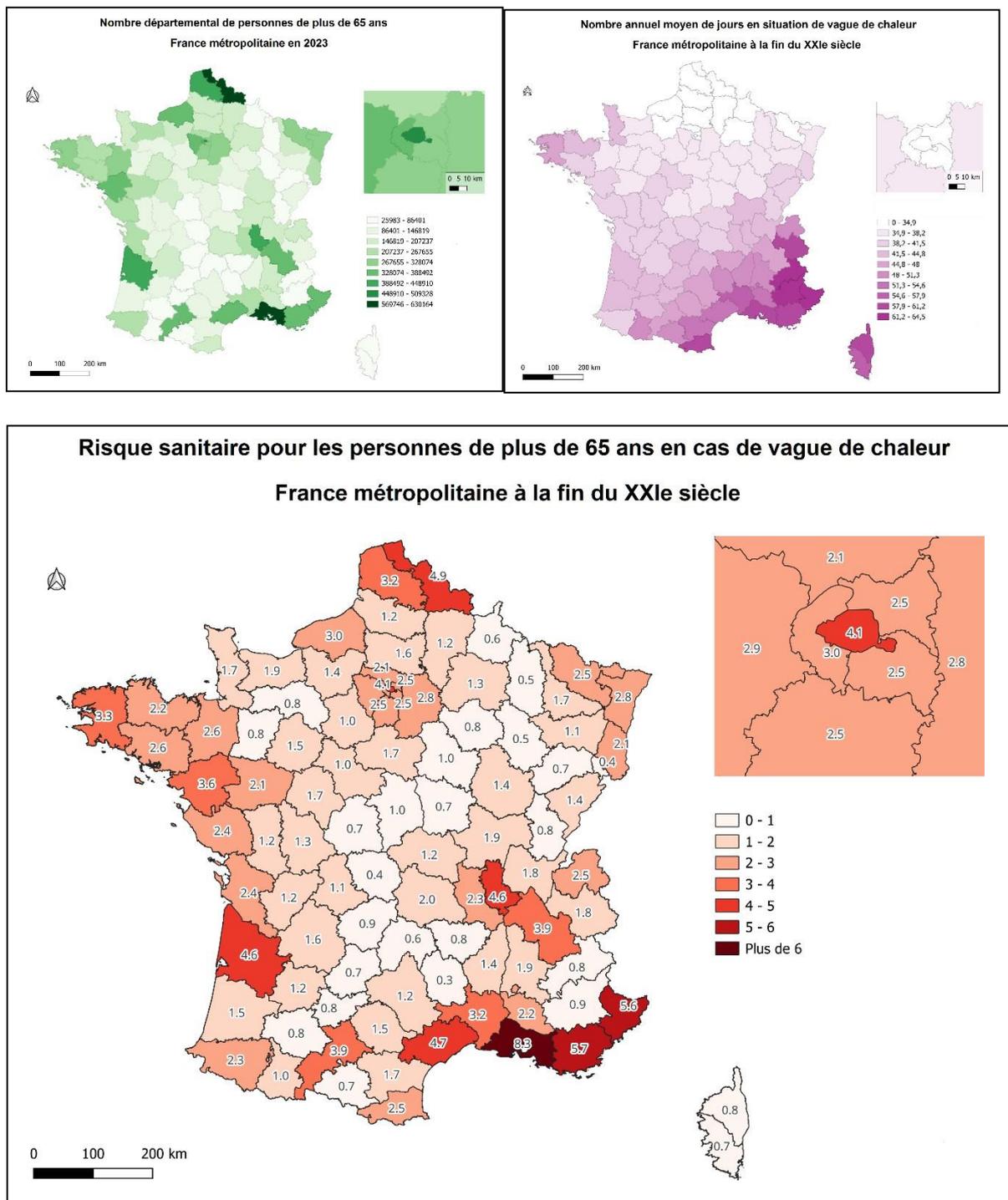
### III-C)2. Deuxième approche : multiplication par normalisation

L'objectif de la normalisation permettait de faire varier l'indicateur de vulnérabilité ET l'indicateur climatique sur des plages identiques (on a choisi une plage de 0 à 10). Pour cela, on normalise les valeurs départementales par la valeur maximale et on multiplie par 10. Ce qui donne :

- *Indicateur de vulnérabilité normalisé : indicateur de vulnérabilité / valeur maximale de l'indicateur de vulnérabilité \* 10*
  
- *Indicateur climatique normalisé : indicateur climatique / valeur maximale de l'indicateur climatique \* 10*

Étant donné que je travaillais sur deux échelles temporelles (période de référence et en fin de siècle) je pouvais normaliser l'indicateur climatique par la valeur maximale de la période de référence ou par la valeur maximale en fin de siècle. Il m'a semblé plus approprié de normaliser l'indicateur climatique par la valeur en fin de siècle. Ce choix a été dicté par la finalité de mon travail : on cherche à élaborer une information utile pour l'adaptation, et c'est bien au climat futur qu'il faut s'adapter. Il était donc plus pertinent de choisir une normalisation qui permette d'obtenir des valeurs lisibles pour le risque en fin de siècle. Voici ci-dessous la carte du score de risque pour l'horizon lointain ainsi obtenue. Les étiquettes correspondent au score de risque.

Figure n°10 : assemblage de cartes du nombre de personnes âgées en 2023, du nombre de jours en vague de chaleur d'ici la fin du siècle et du score de risque qu'il engendre avec l'approche par multiplication normalisée



Sources : Météo-France, "Estimations de la population au 1er janvier 2023", INSEE, 24/01/2023.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1893198>, Auteur : Cannelle BOURDIL – Via QGIS

Arrêtons-nous un instant sur l'assemblage des résultats ci-dessus. On constate que, malgré la normalisation, la carte de risque obtenue reste très similaire à la carte de vulnérabilité. Ce résultat démontre bien que la normalisation n'est pas adaptée.

Le département du Nord possède un score de risque de 4,9 alors que c'est un des départements qui sera le moins touché par le phénomène de nombre de jours en vague de chaleur. Bien que ce soit le département avec le plus de personnes de plus de 65 ans, le niveau de l'aléa climatique étant faible, le score de risque ne devrait pas être aussi élevé. Par ailleurs, l'Aude ne se distingue pas sur la carte de risque, alors que c'est un département très impacté. Comprenant donc que le problème du "poids" des valeurs n'avait pas été résolu avec cette méthode il a fallu trouver une autre idée à tester.

L'inefficacité de la normalisation appliquée s'explique par le fait que c'est le rapport entre les valeurs max et min de l'indicateur climatique et de la mesure de vulnérabilité qui détermine l'équilibre. Nous avons un facteur  $\sim 4$  pour l'indicateur climatique et un facteur  $\sim 25$  pour l'indicateur de vulnérabilité. Or la normalisation appliquée ne change pas ce rapport. Nous avons donc choisi une autre approche.

### III-C)3. Troisième approche : matrices de risque

J'ai donc adopté une méthode par classes. On parle également de matrice de risque.

Cette méthode consiste à convertir l'indicateur climatique et l'indicateur de vulnérabilité de chaque département en une « note » (on a choisi une note de 1 à 5) et à combiner ensuite ces deux notes. Pour cela on définit 5 classes pour l'indicateur d'aléa et 5 classes pour l'indicateur de vulnérabilité. Une partie du tableau est accessible à l'annexe 4.

J'ai séparé en premier temps le nombre de personnes de plus de 65 ans en 5 classes régulières, ce qui correspondait à une classe tous les 125 000 habitants environ. J'ai ensuite arrondi ce qui a donné ces classes : 0 – 125 000 – 250 000 – 375 000 – 500 000 – 630 164. Avec cette technique, les dernières classes pouvaient ne contenir que 2 ou 3 départements et les autres 40. De prime abord j'ai pensé que ce n'était pas équilibré.

J'ai donc testé avec le même nombre de départements pour chaque classe : par centile, avec 19 ou 20 départements dans chaque classe. Les classes étaient plus rapprochées et ont donné : 0 – 81 619 – 129 537 – 188 724 – 297 199 – 630 164

Après réflexion, ranger les départements par classe en centile pouvait fausser les chiffres. Avec cette technique, la dernière classe accueillait des valeurs telles que 297 199 habitants pour le Finistère et 630 164 pour le Nord. Cette méthode lissait les résultats et ne mettait pas en exergue les départements les plus exposés.

Après avoir classé la vulnérabilité de 1 à 5, j'ai fait de même pour l'aléa, avec là aussi, les techniques par centile et par valeurs arrondies. J'ai eu la même conclusion que pour la vulnérabilité à savoir que les classes par valeurs étaient plus adaptées dans le cadre de notre étude. Ces deux « notes » de 1 à 5 étant établies pour chaque département, il faut les combiner. Une approche classique consiste à les additionner.

On obtient donc un score de risque susceptible de varier entre 2 et 10. Voici une matrice de risque qui la représente :

*Figure n°11 : matrice du score de risque avec l'approche par addition*

Somme					
classes	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6
2	3	4	5	6	7
3	4	5	6	7	8
4	5	6	7	8	9
5	6	7	8	9	10

*Source : Cannelle BOURDIL – Via Excel*

Pour avoir une idée concrète, j'ai tracé les cartes selon la méthode par classes en valeurs. Avant cela, observons le tableau ci-dessous qui vous indique la répartition des classes :

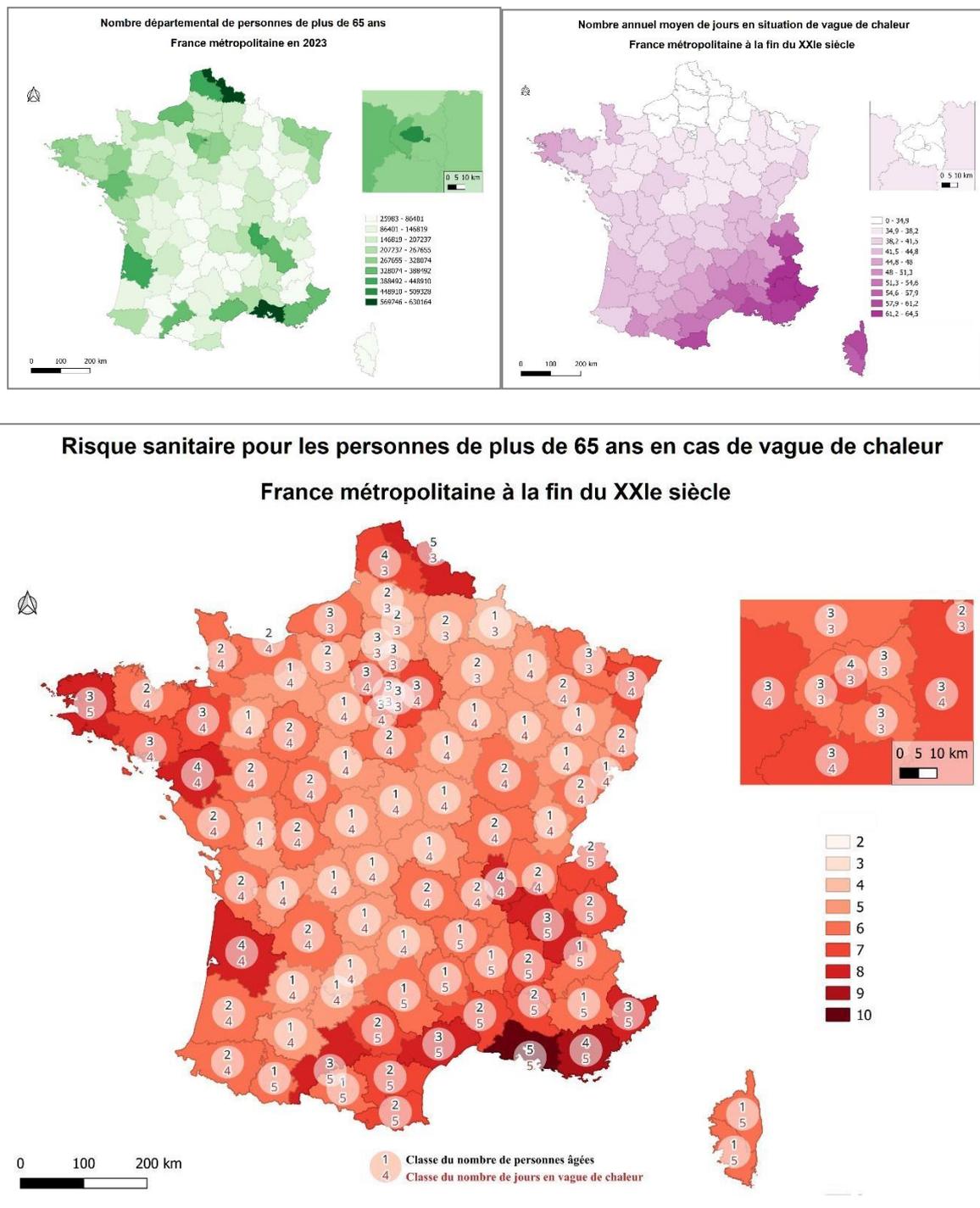
*Figure n°12 : tableau de la répartition des classes de valeurs pour le nombre de jours en vague de chaleur pour l'aléa et le nombre de personnes de plus de 65 ans pour la vulnérabilité*

	sommet classe 1	sommet classe 2	sommet classe 3	sommet classe 4	sommet classe 5
Vulnérabilité	125000	250000	375000	500000	630164
Aléa	15,0	25,0	35,0	45,0	64,5

*Source : Cannelle BOURDIL – Via Excel*

Voici l'exemple de la carte de score de risque avec classes en valeurs arrondies pour le nombre de jours en vague de chaleur en fin du siècle.

Figure n°13 : assemblage de cartes du nombre de personnes âgées en 2023, du nombre de jours en vague de chaleur d'ici la fin du siècle et du score de risque qu'il engendre avec l'approche par classes puis addition



Sources : Météo-France, "Estimations de la population au 1er janvier 2023", INSEE, 24/01/2023.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1893198>, Auteur : Cannelle BOURDIL – Via QGIS

Les étiquettes permettent d'identifier la composition du risque et donc de savoir comment est construit le score. Il est alors plus facile de déterminer qui est le plus impactant dans le score de risque, entre l'aléa et la vulnérabilité. Cette représentation cartographique nous permet de

constater que le poids semble bien plus équilibré. En effet, la carte pour l'horizon lointain ne ressemble pas seulement à la carte de vulnérabilité. L'assemblage suivant nous l'illustre bien.

La partie résultats permettra de détailler ces premières réponses à la problématique et de les appliquer aux autres indicateurs climatiques choisis, ainsi que d'adapter ces résultats avec la projection démographique.

---

Vous trouverez en annexe n°5 un diagramme de Gantt avec le déroulé chronologique des tâches effectuées durant ma mission. La répartition des trois phases fut très équilibrée, de l'ordre d'environ un mois chacune comme vous pourrez le constater. Étant donné que c'est un stage exploratoire, la mission peut être déclinée à d'autres sujets et ainsi durer bien plus longtemps, mais j'ai pu rendre un premier travail sur un aléa et une vulnérabilité en particulier. J'ai été très bien intégrée au sein de la structure et j'ai pu élargir mon champ d'horizon en me rendant par exemple à une conférence au Centre national de Recherches Météorologiques sur l'évolution en changement climatique des extrêmes de température, chauds et froids, ou assister à des réunions avec l'INSEE sur la problématique entre chaleur et logement.

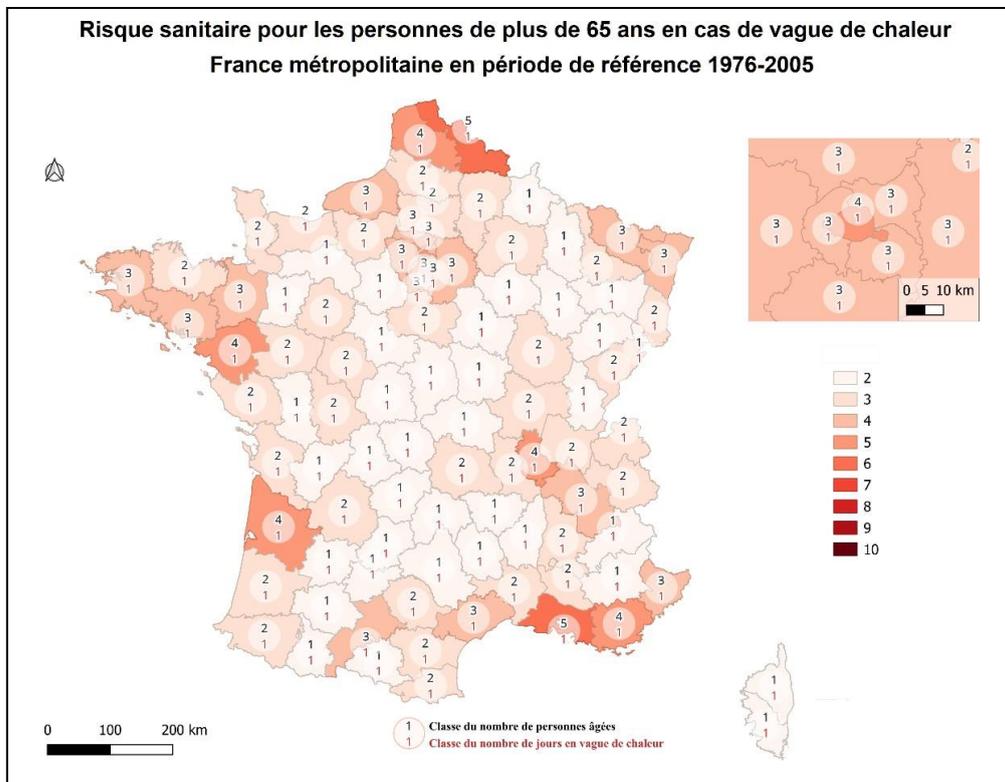
## IV- Les populations âgées face au risque de fortes chaleurs

### A) Evolution du risque avec le changement climatique

Maintenant que nous avons mis au point une technique de croisement qui permette de combiner aléa et vulnérabilité, de façon équilibrée, pour évaluer le risque, nous pouvons nous pencher sur l'évolution de ce risque avec le changement climatique d'ici à la fin du siècle. Pour cela, il est nécessaire de comparer les cartes élaborées pour la période de référence et pour la fin du siècle.

La carte de risque pour la période de référence ressemble à la carte de vulnérabilité seule. Cela s'explique par le fait que les classes d'aléa climatique ont été calibrées sur les données en fin de siècle. En période de référence, tous les départements ont eu une note de 1 pour l'aléa (car il y a relativement peu de vagues de chaleur sur la période 1976-2005). Il n'y a donc que les notes de vulnérabilité qui diffèrent.

*Figure n°14 : carte du score de risque du nombre de personnes âgées en 2023, face au nombre de jours en vague de chaleur en période de référence avec l'approche par classes puis addition*



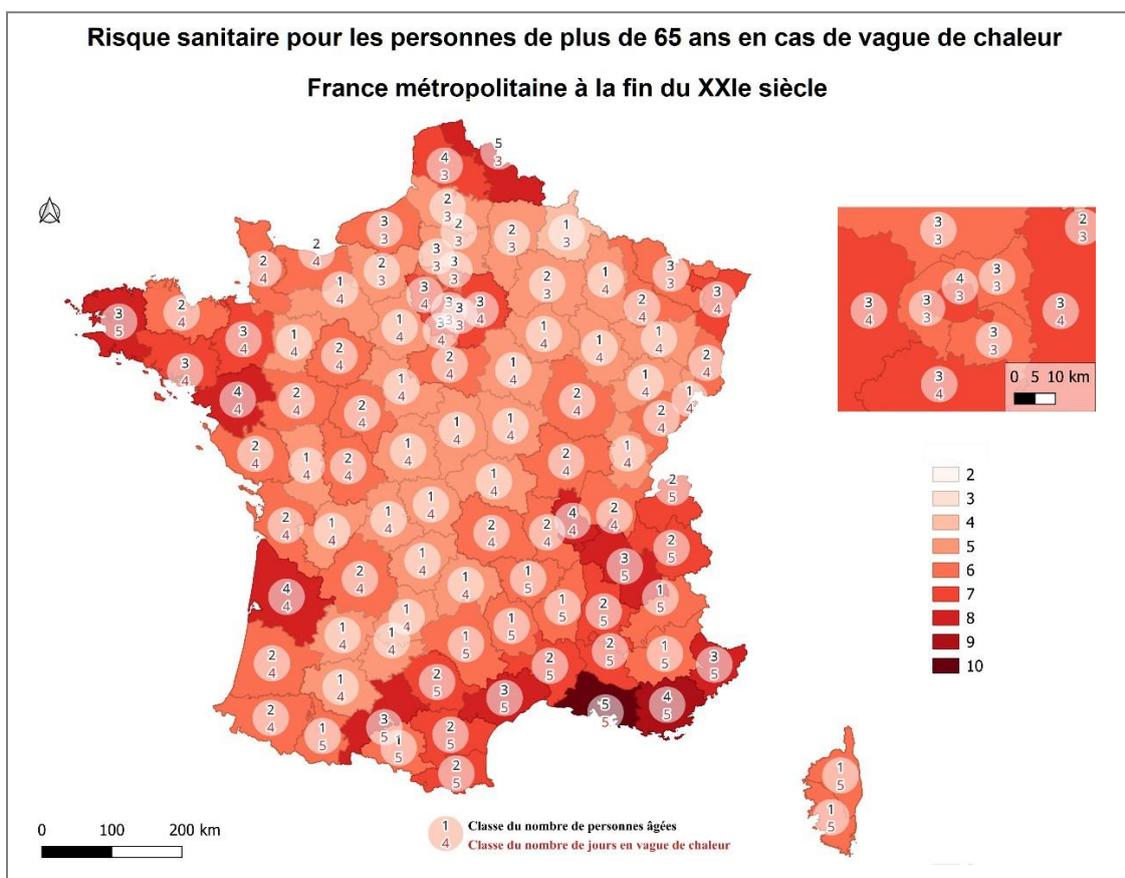
Sources : Météo-France, "Estimations de la population au 1er janvier 2023", INSEE, 24/01/2023.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1893198>, Auteur : Cannelle BOURDIL – Via QGIS

Le score de risque ne dépasse pas la note de 6 car la classe maximale est de 5 en vulnérabilité mais tous les départements ont la note de 1 en aléa. Le risque est donc piloté uniquement par l'indicateur de vulnérabilité. Avec des populations de plus de 65 ans comparables, les Bouches-du-Rhône et le Nord ont le même score de risque. Les classes qui ont permis d'élaborer la carte correspondent au tableau de la figure n°12 page 31.

En fin de siècle, le résultat est bien différent. Même si on considère que la vulnérabilité ici ne change pas au cours du siècle (première hypothèse que l'on reprendra par la suite), le risque sanitaire se généralise sur l'ensemble du territoire, y compris sur les départements où il était antérieurement faible. Le score de risque 5 qui n'était franchi que sur huit départements en période de référence sera atteint ou dépassé sur quatre-vingt-quinze départements à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. Le risque se renforce par ailleurs sensiblement sur de nombreux départements où il était déjà marqué en période de référence. C'est ainsi le cas pour les Bouches-du-Rhône, le Var, le Rhône, la Gironde, l'Ille-et-Vilaine, le Pas-de-Calais, le Nord et Paris.

*Figure n°15 : carte du score de risque du nombre de personnes âgées en 2023, face au nombre de jours en vague de chaleur en fin de siècle avec l'approche par classes puis addition*



Sources : Météo-France, "Estimations de la population au 1er janvier 2023", INSEE, 24/01/2023.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1893198>, Auteur : Cannelle BOURDIL – Via QGis

On remarque également sur la carte de risque en fin de siècle que les départements de montagne (Savoie, Haute-Savoie, ou encore Pyrénées Orientales) présentent un niveau de risque élevé, s'expliquant par la note d'aléa climatique. Cela peut sembler contre-intuitif dans la mesure où les zones d'altitude sont généralement perçues comme plutôt protégées des fortes chaleurs.

Cela s'explique par l'indicateur climatique utilisé. En effet, les vagues de chaleur sont ici identifiées en fonction de l'écart de la température quotidienne avec sa normale, calculée sur la période de référence 1976-2005. Or les projections climatiques nous indiquent que le réchauffement d'ici la fin du siècle sera légèrement plus marqué en montagne qu'en plaine. De ce fait, les écarts entre les températures quotidiennes et leurs normales 1976-2005 deviendront plus importants en montagne qu'en plaine d'ici la fin du siècle. Malgré tout, les températures resteront bien plus élevées en plaine qu'en montagne.

La carte du risque en fin de siècle concernant le nombre de jours en vague de chaleur est intéressante. En effet, une vague de chaleur est identifiée comme telle en fonction de l'écart de la température avec sa normale. Si l'on observe les résultats, nous constatons que les zones d'altitude apparaissent les plus à risques avec cet indicateur (Savoie, Haute-Savoie, Pyrénées Orientales).

Le réchauffement climatique s'opère plus intensément et rapidement en zone d'altitude<sup>34</sup> créant ainsi des écarts plus marqués avec les températures moyennes. Pour autant, le climat est naturellement plus frais en montagne qu'en plaine et une vague de chaleur y est donc beaucoup moins dangereuse pour la santé. J'ai donc testé la formule sur les deux autres indicateurs climatiques (nuits tropicales et nombre de jours supérieurs à 35°C), qui paraissent avoir un impact sanitaire plus direct.

Ce comportement de l'indicateur climatique « nombre de jours en vagues de chaleur », nous a conduit à réaliser la même comparaison passé/futur avec deux autres indicateurs climatiques pertinents pour l'aléa fortes chaleurs : le nombre jours avec une température diurne supérieure à 35°C et le nombre de jours avec une température nocturne restant supérieure à 20°C (nuits dites « tropicales »).

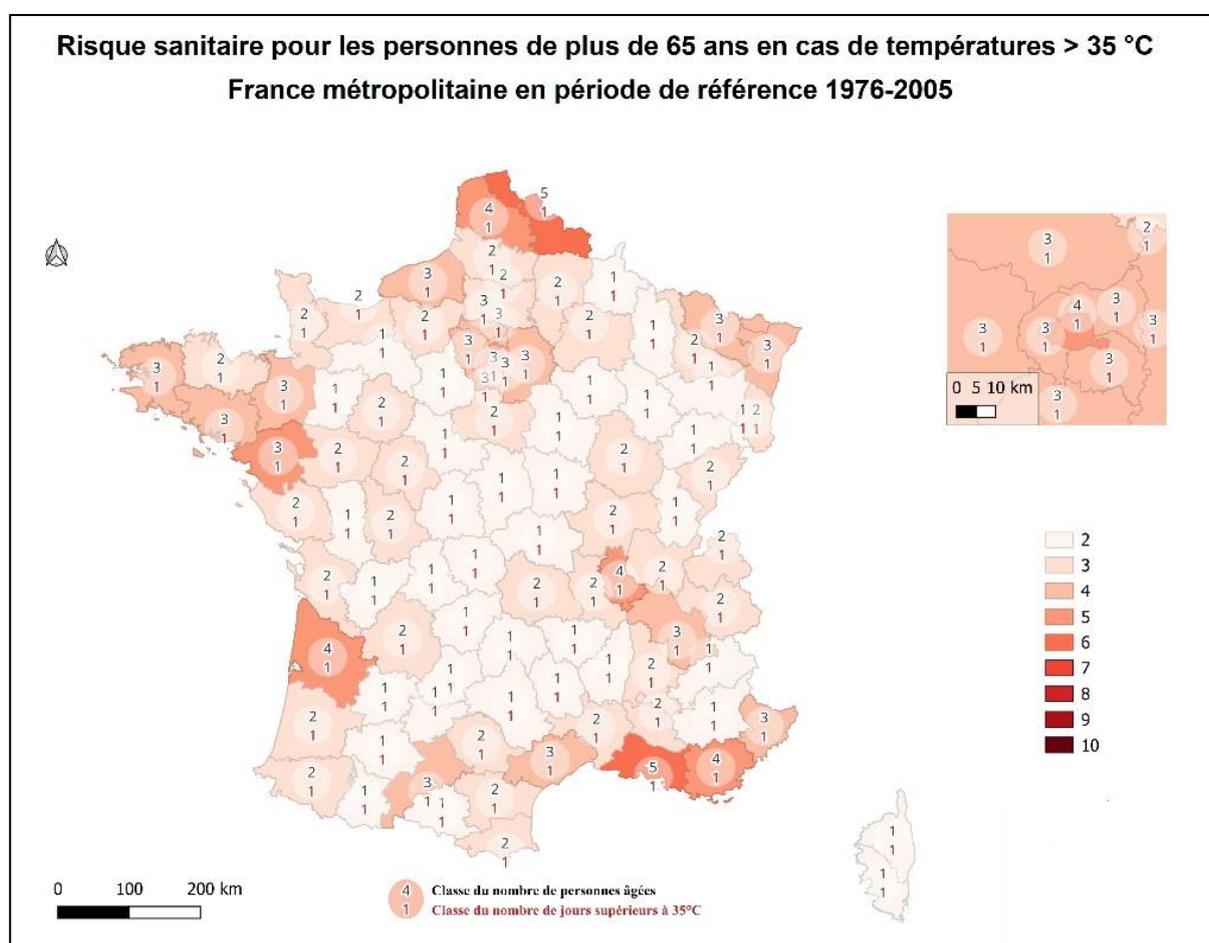
---

<sup>34</sup> Morin S., 2022, *les enjeux transverses du changement climatique en montagne*. Le virus de la recherche, p.4  
Cairn [Les enjeux transverses du changement climatique en montagne | Cairn.info](https:// Cairn.info)

## B) Que nous disent les deux autres indicateurs climatiques ?

Les jours supérieurs à 35°C causent beaucoup de problèmes dans la vie quotidienne. Les personnes en moins bonne santé ou condition physique se sentent affaiblies et beaucoup d'activités doivent être aménagées comme le sport ou le travail en extérieur. Les jours dépassant cette température touchent considérablement la société, et ce, dans tous les domaines. Les personnes de plus de 65 ans sont donc particulièrement vulnérables à ces fortes chaleurs. Voici les cartes de score de risque en période de référence du nombre de jours supérieurs à 35°C, en période de référence et en fin de siècle :

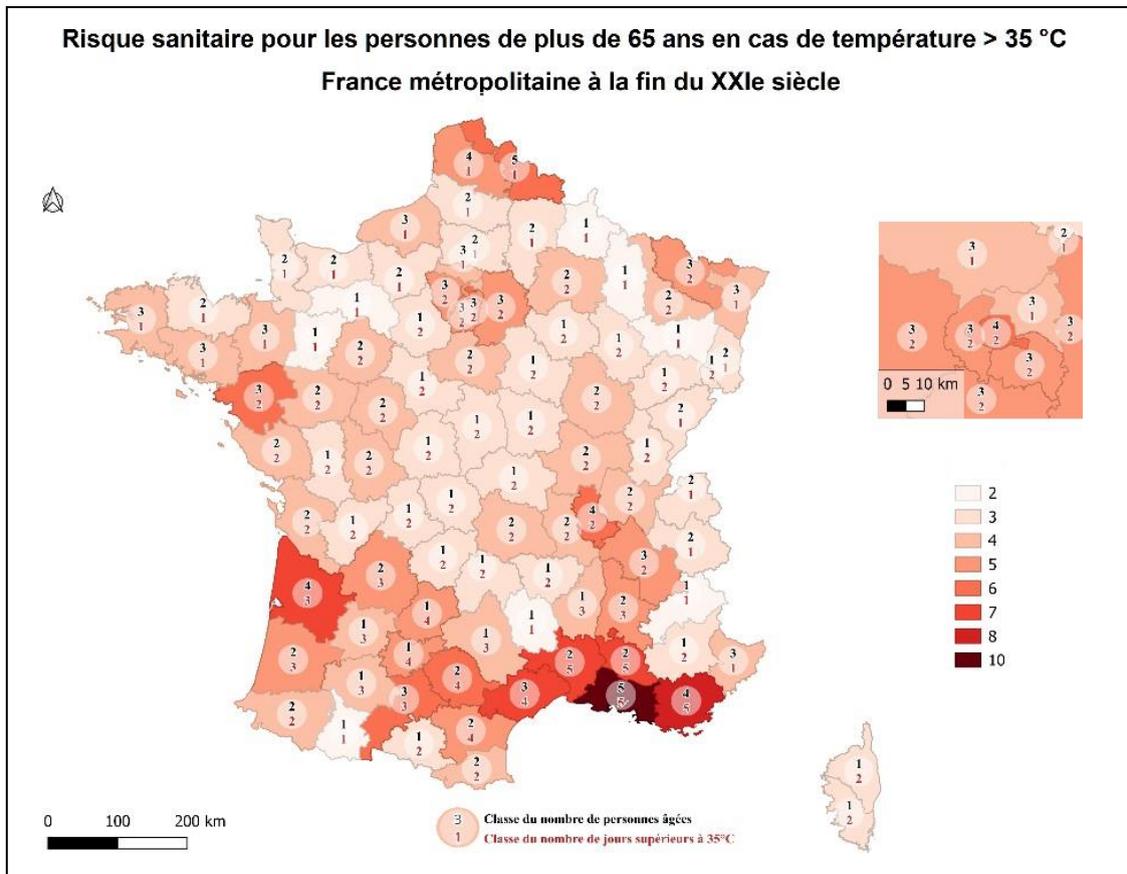
*Figure n°16 : Carte représentant le risque sanitaire pour les personnes de plus de 65 ans en cas de température supérieure à 35°C, en période de référence, en France métropolitaine. Approche par classes puis addition*



Sources : Météo-France, "Estimations de la population au 1er janvier 2023", INSEE, 24/01/2023.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1893198>, Auteur : Cannelle BOURDIL – Via Qgis

*Figure n°17 : Carte représentant le risque sanitaire pour les personnes de plus de 65 ans en cas de température supérieure à 35°C, pour la fin de siècle, en France métropolitaine. Approche par classes puis addition*



Sources : Météo-France, "Estimations de la population au 1er janvier 2023", INSEE, 24/01/2023.

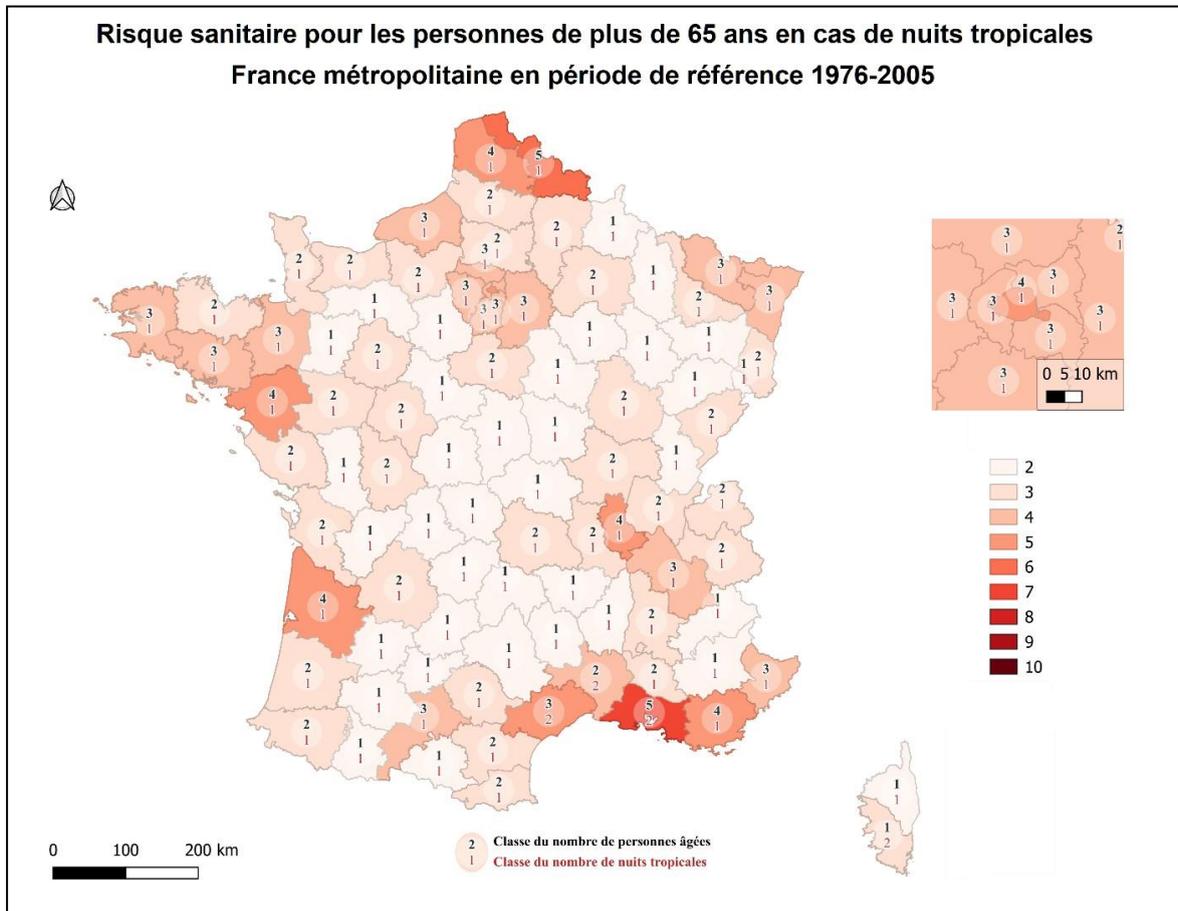
<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1893198>, Auteur : Camille BOURDIL – Via QGIS

On constate une augmentation du risque globalement de plus en plus marquée du nord au sud du pays. Plus précisément, l'augmentation est marquée au sud d'une ligne s'étendant de l'estuaire de la Gironde aux Alpes maritimes. A l'inverse le risque n'augmente pas ou peu au nord sur l'extrême nord-ouest (de la pointe du Finistère aux Ardennes).

On note par ailleurs qu'en Corse, le risque en fin de siècle est sensiblement moins marqué que pour le littoral méditerranéen (c'est d'ailleurs également visible en période de référence). Cela peut s'expliquer par le caractère insulaire, susceptible de limiter l'augmentation des températures en journée.

Le nombre de nuits tropicales constitue également un indicateur climatique particulièrement pertinent d'un point de vue sanitaire. La figure n°18 ci-dessous présente les cartes de risque en période de référence et en fin du siècle.

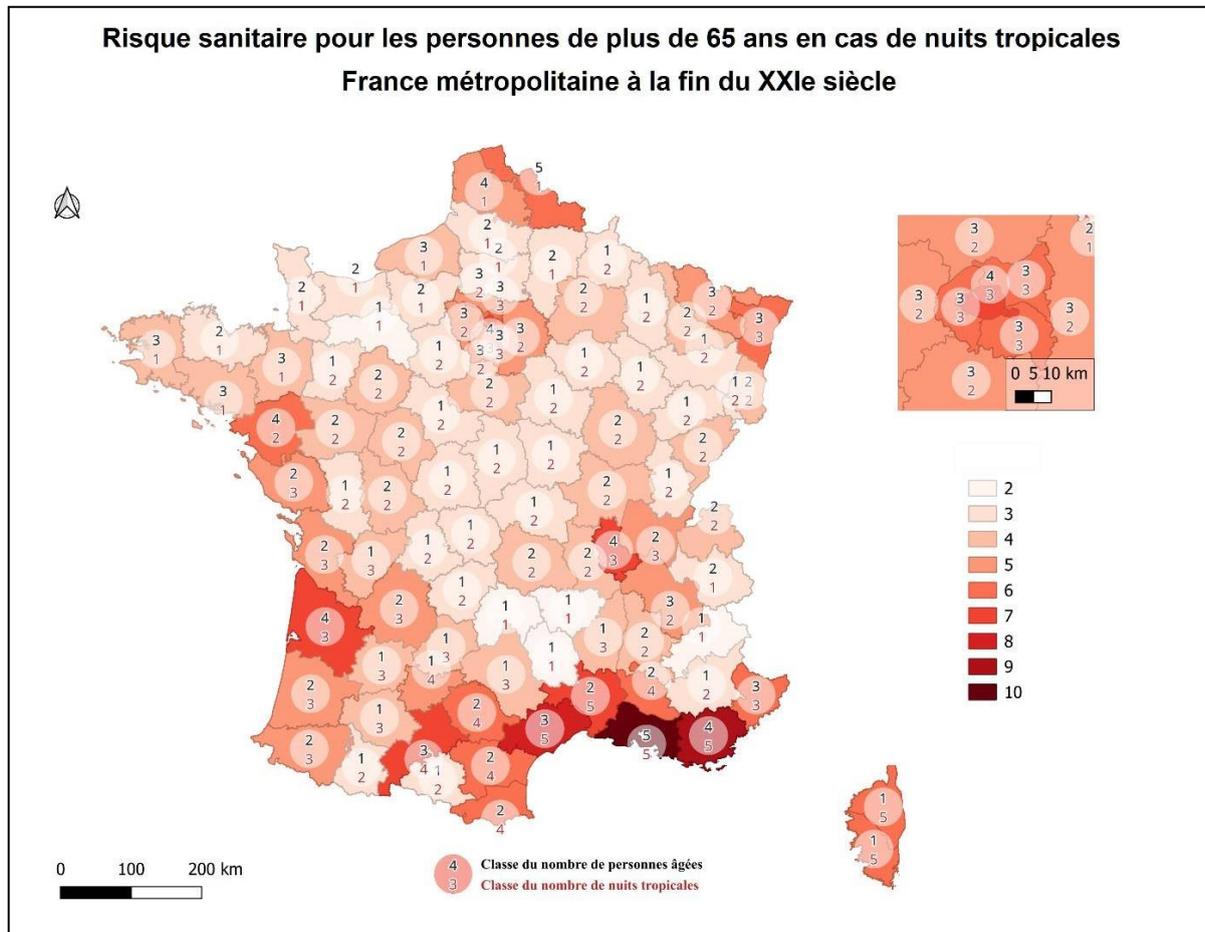
*Figure n°18 : Carte représentant le risque sanitaire pour les personnes de plus de 65 ans en cas de nuits tropicales, pour période de référence, en France métropolitaine. Approche par classes puis addition*



Sources : Météo-France, "Estimations de la population au 1er janvier 2023", INSEE, 24/01/2023.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1893198>, Auteur : Cannelle BOURDIL – Via Qgis

*Figure n°19 : Carte représentant le risque sanitaire pour les personnes de plus de 65 ans en cas de nuits tropicales, pour la fin du siècle, en France métropolitaine. Approche par classes puis addition*



Sources : Météo-France, "Estimations de la population au 1er janvier 2023", INSEE, 24/01/2023.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1893198>, Auteur : Cannelle BOURDIL – Via Qgis

Au premier ordre, le risque évalué à partir du nombre de nuits tropicales est très comparable au risque évalué à partir des journées très chaudes, qu'il s'agisse de l'état en fin de siècle ou de son évolution par rapport à la période de référence. C'est tout à fait cohérent d'un point de vue météorologique : lorsque les températures dépassent les 35°C en journée, il n'est pas rare que ces dernières franchissent les 20°C la nuit, entraînant le phénomène de nuits tropicales. On peut cependant pointer quelques différences. En fin de siècle, le risque en Corse est bien plus élevé. En effet, le mécanisme de limitation évoqué plus haut ne s'applique pas aux températures nocturnes. Au contraire, les températures de la mer en été ne favorisent pas un refroidissement nocturne sous les 20°C.

C'est ce même phénomène qui explique le niveau de risque légèrement plus élevé sur la façade atlantique quand on considère l'indicateur climatique sur les nuits tropicales.

Enfin, on note un niveau de risque plus élevé sur les départements de la petite couronne parisienne, ou encore dans le département du Rhône. L'effet d'îlot de chaleur urbain peut constituer une explication : dans les zones fortement urbanisées, les bâtiments restituent en fin de nuit la chaleur accumulée durant la journée ce qui contrarie fortement le refroidissement nocturne.

Jusqu'ici, les évolutions du risque entre la période de référence 1976-2005 et la fin du siècle n'étaient envisagées qu'au travers de l'évolution de l'aléa climatique, puisque nous avons, dans un premier temps, travaillé à population constante.

Notre méthode permet cependant d'intégrer aussi l'évolution de la vulnérabilité, sous réserve que des données soient disponibles. C'est le cas ici grâce à l'INED : Institut National d'Etudes Démographiques qui étudie notamment les projections de population.

### C) Projection démographique

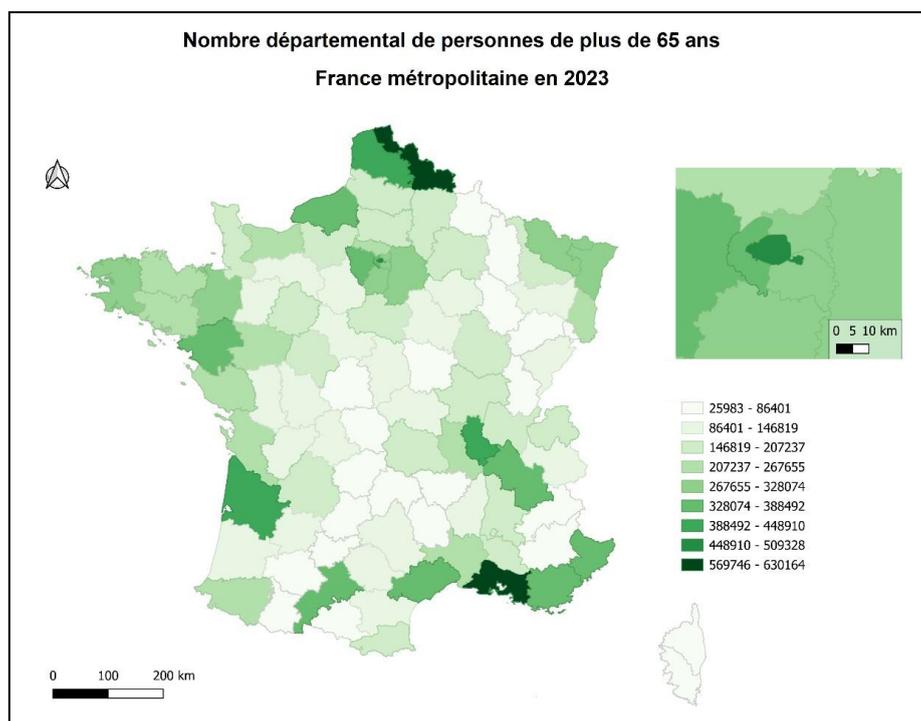
Étant donné que les scores de risque élaborés à partir des indicateurs sur les nuits tropicales et sur le nombre de jours supérieurs à 35°C se ressemblent fortement, nous n'allons considérer qu'un seul indicateur climatique à savoir le nombre de jours supérieurs à 35°C.

Commençons par comparer les cartes de la population de 2023 avec les projections de 2070.<sup>35</sup>

---

<sup>35</sup> 12/2021, *Projections*, INED [Projections - Evolution de la population - France - Les chiffres - Ined - Institut national d'études démographiques](#)

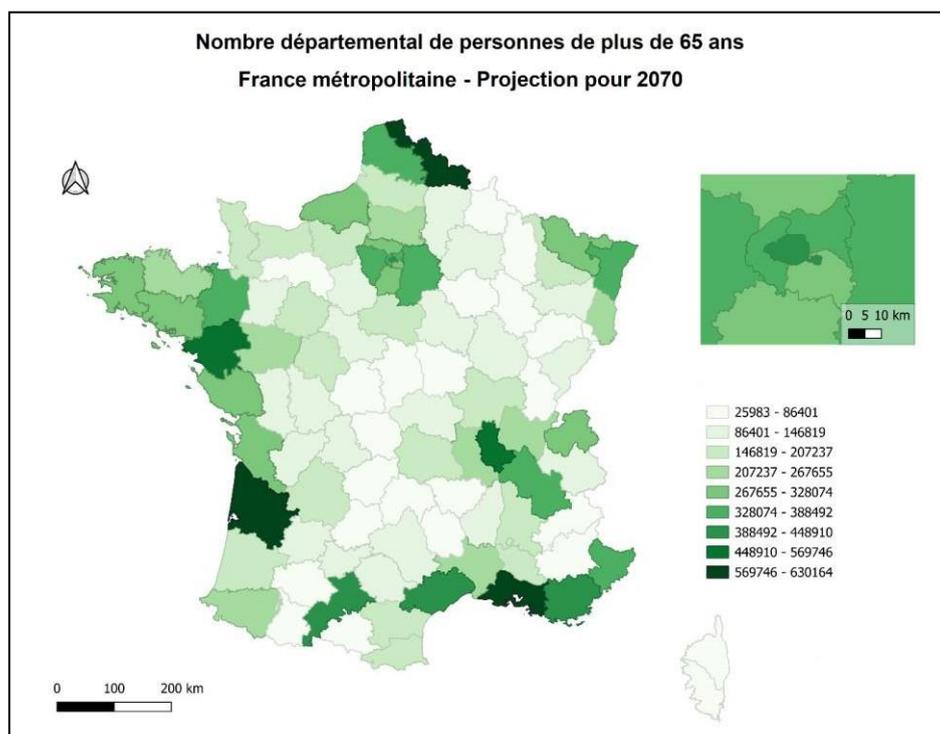
Figure n°20 : Carte du nombre de personnes de plus de 65 ans en France métropolitaine en 2023



Source : "Estimations de la population au 1er janvier 2023", INSEE, 24/01/2023.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1893198>, Auteur : Cannelle BOURDIL – Via QGis

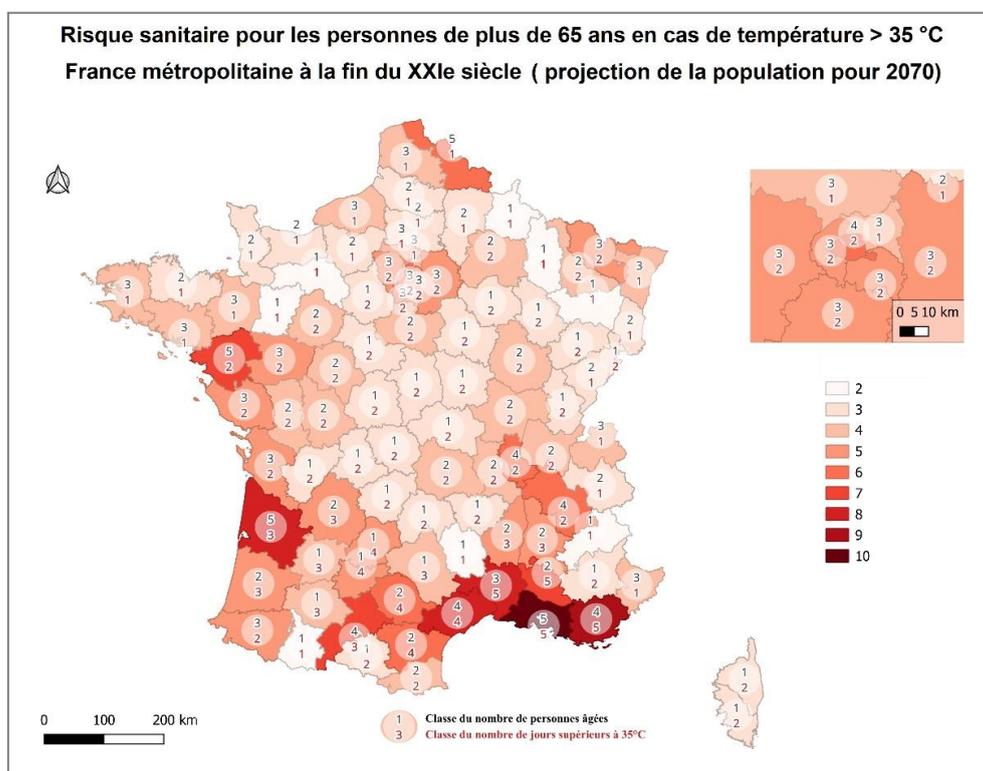
Figure n°21 : Carte du nombre de personnes de plus de 65 ans en France métropolitaine : projection à 2070



Source : "Projections", INED, <https://www.ined.fr/fr/tout-savoir-population/chiffres/france/evolution-population/projections/> Auteur : Cannelle BOURDIL – Via QGis

Comme nous le savons, la population est vieillissante. En effet, l'espérance de vie augmente et le taux de natalité ne cesse de diminuer. Actuellement, la population de plus de 65 ans est d'environ 13,5 millions et les projections indiquent qu'elle pourrait 19 à 20 millions d'ici 2070.<sup>36</sup> Globalement, les écarts géographiques devraient se creuser, les départements peu peuplés le seront encore moins et les plus peuplés le seront davantage. Fort de cette constatation, examinons la carte du score de risque pour les personnes de plus de 65 ans en 2070 face aux nombres de jours annuels moyens supérieurs à 35°C, en fin de siècle.

*Figure n°22 : Carte représentant le risque sanitaire pour les personnes de plus de 65 ans : projection de population de 2070 en cas de températures supérieures à 35°C, pour la fin du siècle, en France métropolitaine.*



Sources : Météo-France, "Projections", INED, <https://www.ined.fr/fr/tout-savoir-population/chiffres/france/evolution-population/projections/> Auteur : Cannelle BOURDIL – Via Qgis

La carte avec projection démographique indique que la côte atlantique sera plutôt vulnérable, notamment la Gironde, tout comme les Bouches-du-Rhône et ses départements limitrophes. Globalement, la carte ressemble à la carte avec la population constante. Elle est cohérente avec la carte de projection démographique seule. Les départements qui étaient déjà vulnérables en prenant la carte à population constante se retrouvent encore plus vulnérables dû à l'augmentation de la population âgée dans le département.

<sup>36</sup> 20/11/2018, France, portrait social, INSEE, [De 2.8 millions de seniors en 1870 en France à 21.9 millions en 2070 ? – France, portrait social | Insee](#)

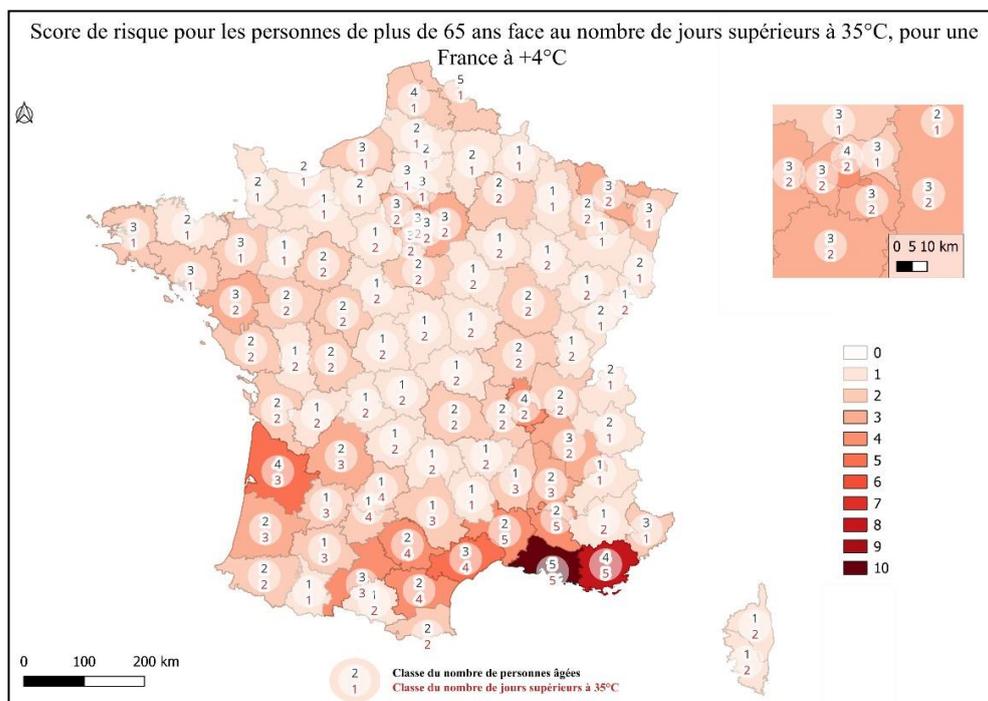
## V- Délibération autour du stage :

### A) Une méthode à améliorer ?

Lors de mon stage, plusieurs approches ont été testées pour répondre à la problématique. La méthode de croisement finale peut toujours être améliorée. En effet, bien que le poids entre l'aléa et la vulnérabilité soit équilibré, les départements qui possèdent une très haute note de vulnérabilité présentent parfois un risque pouvant paraître surévalué. C'est le cas par exemple pour le département du Nord. Ce dernier, ayant une note de 5/5 en vulnérabilité, présentera toujours un niveau de risque au moins modéré, même si l'aléa est très faible voire inexistant. C'est par exemple le cas pour l'indicateur climatique sur le nombre de jours avec une température supérieure à 35°C.

A la fin de mon stage, j'ai commencé à réfléchir à une adaptation de la méthode qui permettrait d'éviter ce comportement. Cette nouvelle approche consiste à multiplier les notes d'aléa et de vulnérabilité plutôt que de les additionner. On normalise ensuite par 2,5 pour obtenir une note de risque sur 10. En effet, la note maximale de l'aléa et de la vulnérabilité est de 5 :  $5^2 = 25$ . Cela permet d'obtenir un score allant jusqu'à 10.

*Figure n°23 : Carte représentant le risque sanitaire pour les personnes de plus de 65 ans en cas de température supérieure à 35°C, d'ici la fin du siècle, en France métropolitaine. Croisement effectué par classes puis multiplication*



Sources : Météo-France, "Estimations de la population au 1er janvier 2023", INSEE, 24/01/2023.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1893198>, Auteur : Cannelle BOURDIL – Via QGis

La carte ci-dessus présente des résultats plus contrastés qu’avec la méthode par addition des notes (voir figure n°17 page 38). Comme attendu, les résultats sont plus contrastés, ce que nous pouvons le voir sur la carte ci-dessous. La méthode par multiplication permet de diminuer le poids des départements qui combinent une faible exposition à l’aléa et une note de vulnérabilité élevée. Le département du Nord par exemple, obtient un score de risque de 2/10 avec cette approche contre 6/10 avec la méthode par addition. Pour autant, cette méthode tend à « tirer » les scores de risque moyens vers les faibles valeurs. La comparaison des matrices de notation par addition et par multiplication (figure n°24 ci-dessous) illustre parfaitement ce comportement.

*Figure n°24 : matrice du score de risque avec l’approche par addition et par multiplication*

Somme						Produit x 10 / 25					
classes	1	2	3	4	5	classes	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	1	0,4	0,8	1,2	1,6	2
2	3	4	5	6	7	2	0,8	1,6	2,4	3,2	4
3	4	5	6	7	8	3	1,2	2,4	3,6	4,8	6
4	5	6	7	8	9	4	1,6	3,2	4,8	6,4	8
5	6	7	8	9	10	5	2	4	6	8	10

*Source : Cannelle BOURDIL – Via Excel*

Cette méthode permet donc de faire mieux ressortir les zones qui combinent une forte exposition à l’aléa ET une vulnérabilité élevée, mais au détriment des zones intermédiaires. Une analyse plus approfondie serait nécessaire pour éclairer le choix entre ces deux variantes de la méthode par matrice de risque. J’ai eu l’occasion de faire un peu de bibliographie sur les méthodes de « croisement » de l’information et il en existe de nombreuses. A l’issue de ce stage, nous avons le sentiment que notre méthode pourrait encore être améliorée.

Comme évoqué en début de mémoire, mes maitres de stage et moi avons choisi de nous concentrer pour ce stage sur le risque pour les personnes de plus de 65 ans face aux fortes chaleurs. Pour la suite, il serait très intéressant d’appliquer cette méthode à d’autres vulnérabilités pour le même aléa (nombre d’enfants de moins de trois ans face aux fortes chaleurs, nombre de logements mal isolés, présence de campings... ), mais aussi à d’autres aléas climatiques.

D'autres échelles géographiques pourraient également être explorées. En effet, j'ai choisi de travailler au niveau départemental car les données étaient plus accessibles et plus simples à manipuler dans le temps imparti pour mon stage. Cependant, il serait très intéressant d'étudier les résultats à l'échelle communale. Les départements qui englobent des métropoles peuvent avoir des valeurs biaisées sous l'influence de ces dernières. Ce travail pourrait par exemple être partagé sur Climadiag commune afin d'être accessible à tout citoyen cherchant des informations sur la ville de son choix. L'utilisation de projections futures de la vulnérabilité pourrait également être développée. Dans mon travail de stage, j'ai pour l'essentiel travaillé avec des chiffres de population observés, plus fiables, en particulier pour la mise au point de la méthode de combinaison.

## B) Une expérience professionnelle très enrichissante

Le stage que j'ai eu la chance d'effectuer à Météo-France m'a beaucoup appris. Tout d'abord, Météo-France est une structure à caractère scientifique, qui ne correspond pas vraiment à mon domaine de compétences initial. De ce fait, j'ai beaucoup appris sur des thématiques que je n'avais pas l'habitude d'aborder, comme les indicateurs climatiques par exemple, et j'ai pu assister à des réunions qui m'ont ouvert l'esprit. J'ai découvert beaucoup d'outils que Météo-France met à disposition du grand public comme DRIAS ou Climat-HD ou ClimaDiag Commune. Ces outils me seront sûrement utiles pour des prochains travaux au sein de l'université ou ailleurs. Mon stage a mêlé deux disciplines qui, pour l'instant, ne sont pas encore très associées dans la recherche : la climatologie et la géographie. Pour autant, mon mémoire démontre que les deux matières sont intrinsèquement liées.

A l'issue de cette expérience, j'ai pris beaucoup plus conscience de l'avancée du changement climatique ainsi que de ses impacts. En effet, bien que nous ayons des cours là-dessus en master, le fait d'être entourée de climatologues, d'accéder à des projections climatiques concrètes et de porter une réflexion autour des potentiels risques sur la société n'a rien à voir. De plus, comparer par exemple les conséquences des canicules passées avec les risques des canicules à venir accentue cette prise de conscience.

Lors de mon stage, j'ai acquis de nouvelles compétences en informatique qui me manquaient. La cartographie m'a été très utile et j'ai pu également enrichir mes connaissances dans ce domaine. Il s'inscrit tout à fait dans une dynamique de transition environnementale. En effet, élaborer de nouvelles approches pour mieux anticiper les risques engendrés par le changement climatique, permettra à la société de s'adapter plus efficacement.

## Conclusion

Ce stage avait pour objectif d'élaborer une méthode pour croiser des données climatiques et des données socio-économiques. Le but était d'évaluer l'évolution des risques induits par certains aléas climatiques, et non plus uniquement l'évolution de l'aléa lui-même. Pour répondre à la problématique, l'étude s'est concentrée sur le risque que font peser les fortes chaleurs sur les populations âgées.

Plusieurs techniques ont été expérimentées durant le stage. Après différents tests, une méthode de croisement a été retenue. Elle consiste à évaluer séparément l'exposition à l'aléa et la vulnérabilité en définissant des classes (nous avons choisi d'en utiliser cinq) pour les deux indicateurs utilisés. Ensuite, une matrice de risque a été mobilisée pour établir un score de risque à partir de la classe d'aléa et de la classe de vulnérabilité. Cette approche a été mise en œuvre sur le nombre de personnes âgées par département en France métropolitaine et pour différents indicateurs climatiques. Les résultats obtenus se sont avérés très intéressants.

L'impact de l'évolution de la vulnérabilité (ici les populations âgées) sur l'évolution du risque d'ici à la fin du siècle a été étudié. Sur notre cas d'étude, le risque vient s'accroître dans les zones où il était déjà élevé. De même, un département considéré comme peu risqué en période de référence (1976-2005) pourrait atteindre, en fin de siècle, un score de risque équivalent à un département très risqué en période de référence. Les départements où le nombre de personnes âgées est déjà important augmentera d'autant plus. Les résultats nous indiquent que la côte méditerranéenne sera particulièrement risquée pour les personnes âgées, tout comme une partie de la côte atlantique.

L'étude sur le risque lié aux fortes chaleurs pour les personnes âgées ouvre des perspectives assez larges que la Direction de la Climatologie et des Services Climatiques pourra explorer, pour d'autres échelles géographiques, pour d'autres vulnérabilités, et surtout pour d'autres aléas climatiques. La liste des aléas climatiques qui vont se renforcer dans les prochaines décennies est longue (précipitations intenses, inondations, sécheresse, feux de forêt...).

L'identification et la priorisation des enjeux d'adaptation correspondants nécessitera d'identifier aussi précisément que possible les différents risques, et donc d'intégrer les risques et vulnérabilités spécifiques à chaque territoire. La combinaison d'informations climatiques et socio-économiques, sur laquelle mon travail a apporté quelques premiers éléments, restera donc un sujet central pour le développement de services climatiques pour l'adaptation au changement climatique.

# Bibliographie

## Références scientifiques

Centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique, 21/06/2023, *Quelle stratégie nationale pour s'adapter au changement climatique ?* Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires [Quelle stratégie nationale pour s'adapter au changement climatique ? | Centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique \(adaptation-changement-climatique.gouv.fr\)](#)

Chiffres clés du climat DATALAB, 2021, *Scénarios et projections climatique*, Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires [Scénarios et projections climatiques | Chiffres clés du climat \(developpement-durable.gouv.fr\)](#)

Clément V., Jaurand E., mai 2005, *Risques « naturels » et territoires en France*, *Géoconfluences*, <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/doc/transv/Risque/RisqueScient.htm>

Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, *Qu'est-ce que l'accord de Paris ?* United Nations Climate Change [L'Accord de Paris | CCNUCC \(unfccc.int\)](#)

Données et études statistiques, 21/12/2022, *Les effets du changement climatique en France*, Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires [Les effets du changement climatique en France - Synthèse des connaissances en 2022 | Données et études statistiques \(developpement-durable.gouv.fr\)](#)

Ennuyer, B. (2011). *À quel âge est-on vieux : La catégorisation des âges : ségrégation sociale et réification des individus*. *Gérontologie et société*, vol.34(n°138), p.131, Cairn [À quel âge est-on vieux ? | Cairn.info](#)

LEBRET.M., 29/03/2023, *TRACCS : lancement d'un programme de recherche ambitieux pour transformer la modélisation du climat au service de l'action*, Météo-France [TRACCS : lancement d'un programme de recherche ambitieux pour transformer la modélisation du climat au service de l'action | Météo-France \(meteofrance.fr\)](#)

Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, 23/03/2023, *La Trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC)*, [ecologie.gouv](http://ecologie.gouv.fr), p.4 [document-reference-TRACC.pdf \(ecologie.gouv.fr\)](#)

Morin S., 2022, *les enjeux transverses du changement climatique en montagne*. Le virus de la recherche, p.4 Cairn [Les enjeux transverses du changement climatique en montagne | Cairn.info](#)

N.D. N.D., *L'histoire de Météo-France*, Météo-France [METEO-FRANCE Histoire \(meteofrance.fr\)](#)

N.D., 2005, *Risque*, Géoconfluences [Risque — Géoconfluences \(ens-lyon.fr\)](#)

N.D, novembre 2015, *Aléa*, Géoconfluences [Aléa — Géoconfluences \(ens-lyon.fr\)](#)

N.D, décembre 2015, *Vulnérabilité*, Géoconfluences [Vulnérabilité — Géoconfluences \(ens-lyon.fr\)](#)

N.D., 24/02/2020, *Le système climatique mondial*, Météo-France [Le système climatique mondial | Météo-France \(meteofrance.com\)](#)

N.D., 24/02/2020, *L'effet de serre*, Météo-France [L'effet de serre | Météo-France \(meteofrance.com\)](#)

N.D., 05/03/2020, *Tempêtes de 1999, retour sur un évènement exceptionnel*, Météo-France [Tempêtes de 1999 : retour sur un événement exceptionnel | Météo-France \(meteofrance.com\)](#)

N.D., 28/09/2023, *Vagues de chaleur et changement climatique*, Météo-France, [Vagues de chaleur et changement climatique | Météo-France \(meteofrance.com\)](#)

N.D., 02/02/2024, *L'organisation de Météo-France*, Météo-France, [L'organisation de Météo-France | L'organisation de Météo-France \(meteofrance.fr\)](#)

Schneider M., 05/06/2007, *La vague de chaleur de juillet 2006 en France : aspects météorologiques*, Santé Publique France [La vague de chaleur de juillet 2006 en France :](#)

aspects météorologiques. Numéro thématique. Été 2006 : premier épisode caniculaire majeur après la catastrophe de 2003 (santepubliquefrance.fr)

### Autres sources

Jegousse P., 21/06/2024, *Bouilloire thermique : définition & solutions pour ne plus souffrir de la chaleur*, Habitat presto [Bouilloire thermique : définition & solutions contre la chaleur \(habitatpresto.com\)](#)

N.D., 06/09/2019, *La vague de chaleur d'août 2003 : que s'est-il passé ?* Santé Publique France [La vague de chaleur d'août 2003 : que s'est-il passé ? \(santepubliquefrance.fr\)](#)

N.D., 30/06/2021, *La climatisation : vers une utilisation raisonnée pour limiter l'impact sur l'environnement*, ADEME [La climatisation : vers une utilisation raisonnée pour limiter l'impact sur l'environnement – ADEME Presse](#)

N.D., 06/06/2023, *Canicules et fortes chaleurs, définition et conséquences sur la santé*, Améli [Canicule et fortes chaleurs : conséquences sur la santé | ameli.fr | Assuré](#)

N.D., 02/04/2024, *Définition et causes de la pression artérielle*, Améli [Définition et facteurs favorisants de l'HTA | ameli.fr | Assuré](#)

Pouteau V., 02/2023, *La déshydratation en EPHAD*, ERVMA [ERVMA-2023-fiche-pratique-la-deshydratation.pdf \(chu-tours.fr\)](#)

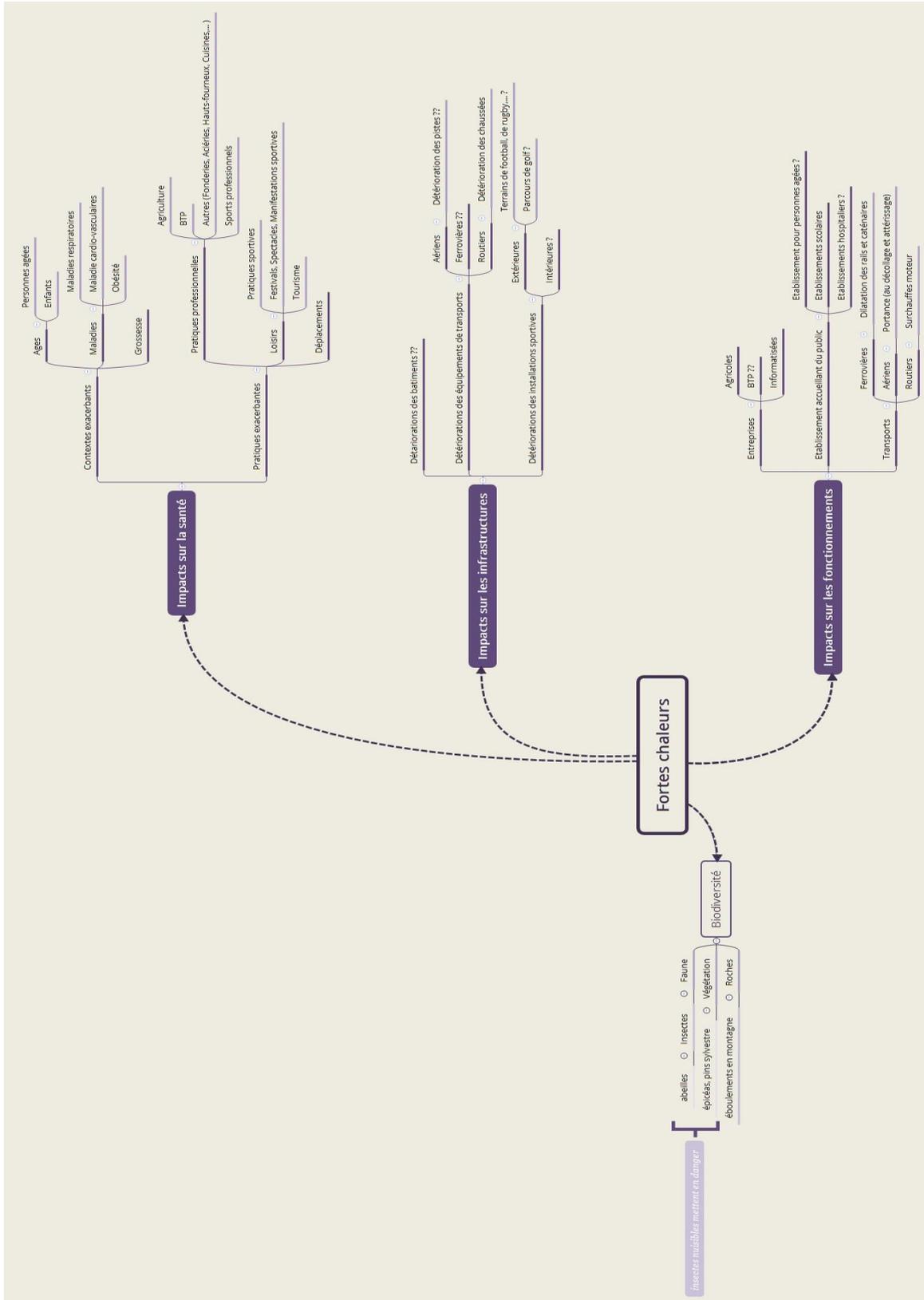
12/2021, *Projections*, INED [Projections - Evolution de la population - France - Les chiffres - Ined - Institut national d'études démographiques](#)

20/11/2018, *France, portrait social*, INSEE, [De 2,8 millions de seniors en 1870 en France à 21,9 millions en 2070 ? – France, portrait social | Insee](#)

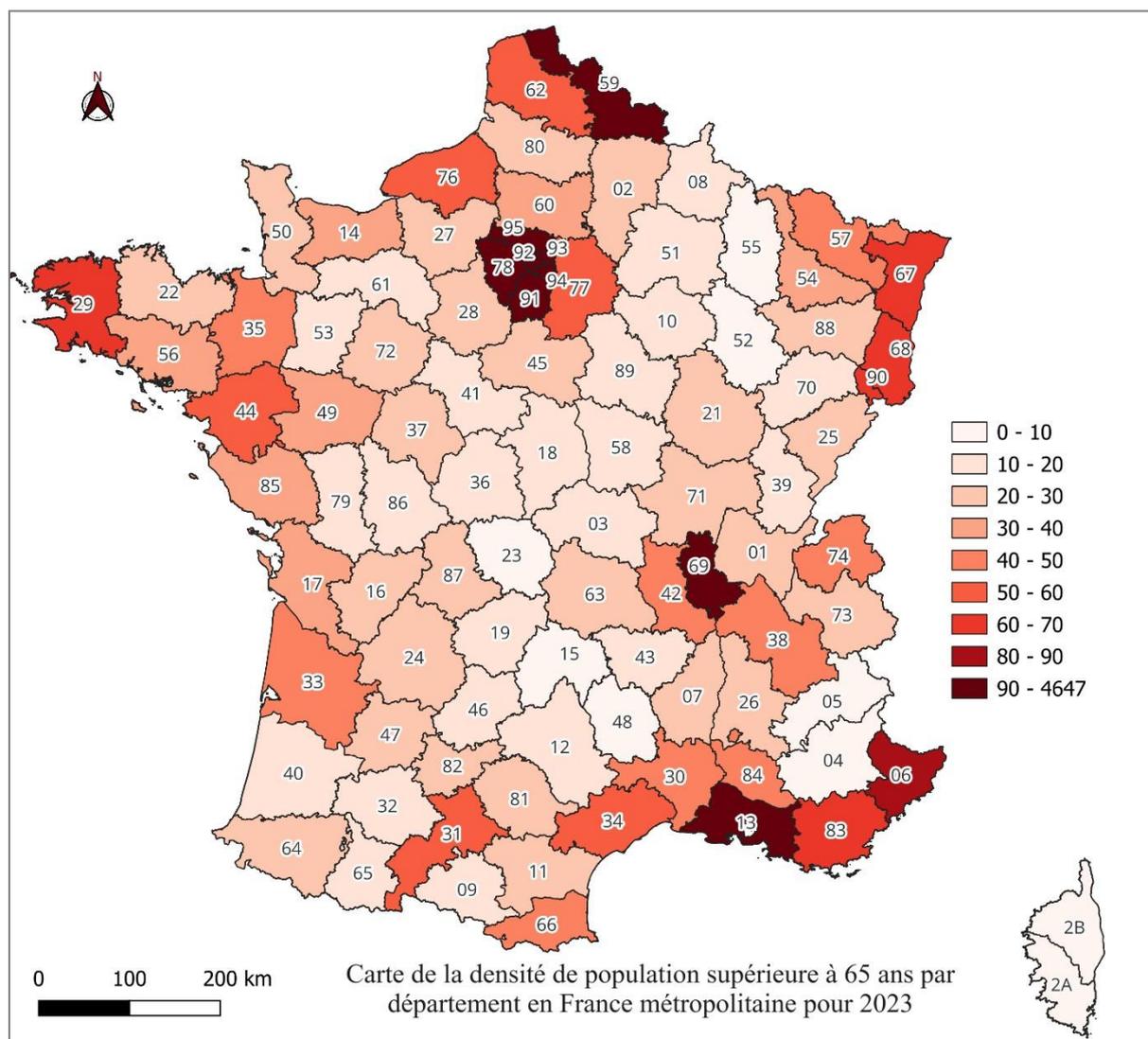
08/01/2024, *Projection de population 2018-2070*, INSEE, [Projections de population 2018-2070 – Tableaux détaillés pour les départements – Projections de population 2018-2070 | Insee](#)

# Annexes

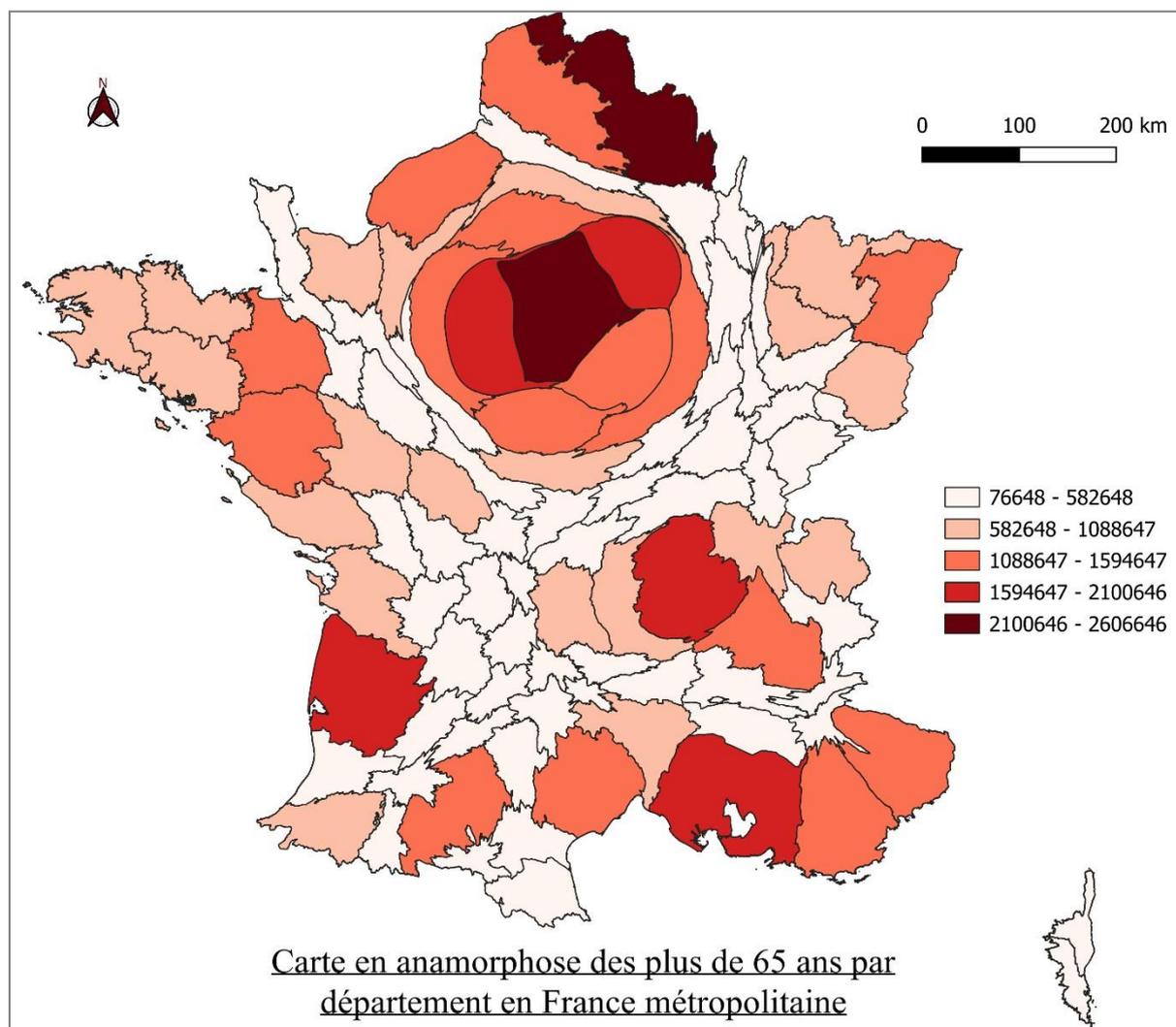
## Annexe 1 : Carte mentale des sujets potentiellement vulnérables aux fortes chaleurs



## Annexe 2 : carte de densité des personnes de plus de 65 ans en France métropolitaine par département



Annexe 3 : carte en anamorphose du nombre de personnes de plus de 65 ans en France métropolitaine par département



Annexe 4 : tableau d'élaboration des classes pour la méthode en valeurs arrondies : exemple sur les 17 premiers départements

A	B	C	D	H	I	J	M	N	
1	<u>INSEE DEP</u>								
2	01	Ain	168123	2	1	3	42,50	4	6
3	02	Aisne	151263	2	1	3	32,90	3	5
4	03	Allier	121413	1	1	2	40,50	4	5
5	04	Alpes-de-Haute-Provence	58691	1	1	2	61,70	5	6
6	05	Hautes-Alpes	48955	1	1	2	64,50	5	6
7	06	Alpes-Maritimes	352638	3	1	4	64,30	5	8
8	07	Ardeche	113236	1	1	2	50,40	5	6
9	08	Ardennes	80678	1	1	2	32,10	3	4
10	09	Ariege	54500	1	1	2	48,70	5	6
11	10	Aube	89782	1	1	2	36,30	4	5
12	11	Aude	132092	2	1	3	51,50	5	7
13	12	Aveyron	101034	1	1	2	46,50	5	6
14	13	Bouches-du-Rhone	571324	5	1	6	59,00	5	10
15	14	Calvados	207707	2	1	3	36,50	4	6
16	15	Cantal	53569	1	1	2	43,20	4	5
17	16	Charente	119379	1	1	2	39,40	4	5
18	17	Charente-Maritime	244132	2	1	3	40,70	4	6

## Annexe 5 : Diagramme de Gantt

PHASE	Tâche	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	
		8.04-12.04	15.04-19.04	22.04-26.04	29.04-03.05	06.05-10.05	13.05-17.05	20.05-24.05	27.05-31.05	03.06-07.06	10.06-14.06	17.06-21.06	24.06-28.06	01.07-05.07	08.07-12.07	15.07-19.07	22.07-26.07	29.07-31.07	
INTRODUCTION	Présentation structure																		
	premiers infos fortes chaleurs																		
	recensement fortes chaleurs																		
	recherche thèmes précisément																		
METHODOLOGIE	Tra des thèmes																		
	choix des thèmes																		
	recherche idées de croisement de données																		
	réflexion autour de seuils																		
CUL PAR INDICATEUR	Cartes d'identification des vulnérabilités																		
	précision sur les personnes âgées																		
	lecture biblio/recherche indicateur																		
	indicateur trouvé le 24/05/2024 - Cartographie																		
FIN	Recherche autre indicateur																		
	Test indicateur par classe																		
	Cartographie d'indicateurs par classe par addition																		
	Cartographie d'indicateurs par classe par multiplication																		
FIN	cartographie avec projection de la population																		
	rédaction mémoire + derniers ajustements																		

## Liste des figures

Figure n°1 : Implantation de Météo-France dans l'hexagone .....	p.11
Figure n°2 : Assemblage de cartes du nombre de personnes âgées et du nombre de jours en vague de chaleur.....	p.14
Figure n°3 : Graphe à bulles simulant l'évolution des vagues de chaleurs de la période de référence (1976-2005) à la fin du siècle (2100) en France métropolitaine.....	p.16
Figure n°4 : Courbe de la simulation du calendrier de la fréquence d'occurrence d'une vague de chaleur de la période de référence (1976-2005) à la fin du siècle (2100) en France métropolitaine.....	p.17
Figure n°5 : Schéma de la construction d'un risque.....	p.21
Figure n°6 : Cartes du nombre annuel de jours en situation de vague de chaleur pour la période de référence et pour la fin du siècle.....	p.24
Figure n°7 : Carte de la proportion du nombre de personnes de plus de 65 ans par rapport à la population totale en France métropolitaine pour 2023.....	p.25
Figure n°8 : Carte du nombre de personnes de plus de 65 ans en France métropolitaine pour 2023.....	p.26
Figure n°9 : Carte représentant le risque sanitaire pour les personnes de plus de 65 ans en cas de vague de chaleur, d'ici la fin du siècle, en France métropolitaine. Croisement effectué par multiplication puis division par 100 000.....	p.27
Figure n°10 : assemblage de cartes du nombre de personnes âgées en 2023, du nombre de jours en vague de chaleur d'ici la fin du siècle et du score de risque qu'il engendre avec l'approche par multiplication normalisée.....	p.29
Figure n°11 : matrice du score de risque avec l'approche par addition.....	p.31
Figure n°12 : tableau de la répartition des classes de valeurs pour le nombre de jours en vague de chaleur pour l'aléa et le nombre de personnes de plus de 65 ans pour la vulnérabilité	p31
Figure n°13 : assemblage de cartes du nombre de personnes âgées en 2023, du nombre de jours en vague de chaleur d'ici la fin du siècle et du score de risque qu'il engendre avec l'approche par classes puis addition.....	p.32

Figure n°14 : carte du score de risque du nombre de personnes âgées en 2023, face au nombre de jours en vague de chaleur en période de référence avec l’approche par classes puis addition.....	p.34
Figure n°15 : carte du score de risque du nombre de personnes âgées en 2023, face au nombre de jours en vague de chaleur en fin de siècle avec l’approche par classes puis addition.....	p.35
Figure n°16 : Carte représentant le risque sanitaire pour les personnes de plus de 65 ans en cas de température supérieure à 35°C, en période de référence, en France métropolitaine. Approche par classes puis addition.....	p.37
Figure n°17 : Carte représentant le risque sanitaire pour les personnes de plus de 65 ans en cas de température supérieure à 35°C, pour la fin de siècle, en France métropolitaine. Approche par classes puis addition.....	p.38
Figure n°18 : Carte représentant le risque sanitaire pour les personnes de plus de 65 ans en cas de nuits tropicales, pour période de référence, en France métropolitaine. Approche par classes puis addition.....	p.39
Figure n°19 : Carte représentant le risque sanitaire pour les personnes de plus de 65 ans en cas de nuits tropicales, pour la fin du siècle, en France métropolitaine. Approche par classes puis addition.....	p.40
Figure n°20 : Carte du nombre de personnes de plus de 65 ans en France métropolitaine en 2023.....	p.42
Figure n°21 : Carte du nombre de personnes de plus de 65 ans en France métropolitaine : projection à 2070.....	p.42
Figure n°22 : Carte représentant le risque sanitaire pour les personnes de plus de 65 ans d’après la projection de population de 2070 en cas de températures supérieures à 35°C, pour la fin du siècle, en France métropolitaine. Approche par classes puis addition.....	p.43
Figure n°23 : Carte représentant le risque sanitaire pour les personnes de plus de 65 ans en cas de température supérieure à 35°C, d’ici la fin du siècle, en France métropolitaine. Croisement effectué par classes puis multiplication.....	p.44
Figure n°24 : matrice du score de risque avec l’approche par addition et par multiplication.....	p.45

## Liste des annexes

Annexe 1 : Carte mentale des sujets potentiellement vulnérables aux fortes chaleurs .....	53
Annexe 2 : carte de densité des personnes de plus de 65 ans en France métropolitaine par département .....	54
Annexe 3 : carte en anamorphose du nombre de personnes de plus de 65 ans en France métropolitaine par département.....	55
Annexe 4 : tableau d'élaboration des classes pour la méthode en valeurs arrondies : exemple sur les 17 premiers départements .....	56
Annexe 5 : Diagramme de Gantt .....	57

# Table des matières

Remerciements .....	3
Table des matières .....	4
Liste des sigles et abréviations .....	6
Introduction .....	7
I- Quand la géographie se mêle à la climatologie .....	10
A) Météo France : avec vous dans un climat qui change .....	10
B) Mobilisation croissante des pouvoirs publics concernant l'intégration des données socio-économiques pour l'adaptation au changement climatique .....	13
II- Aléas et vulnérabilités face au changement climatique.....	16
A) La France : un pays inégalement exposé aux impacts du changement climatique .....	16
B) Des populations de plus en plus soumises aux risques naturels : accroissement de la vulnérabilité.....	19
C) Le risque : une notion engendrée par le croisement entre aléa et vulnérabilité.....	21
III- Elaboration d'une méthode de scoring .....	24
A) Approche globale des vulnérabilités associées aux différents aléas climatiques .....	24
B) Fortes chaleurs et populations âgées .....	25
III-B)1. Pour l'aléa .....	25
III-B)2. Pour la vulnérabilité .....	26
C) Synthèse des deux données .....	29
III-C)1. Premier test : la multiplication .....	29
III-C)2. Deuxième test : multiplication par normalisation .....	31
III-C)3. Troisième test : matrices de risque.....	33
IV- Les populations âgées face au risque de fortes chaleurs .....	37
A) Evolution du risque avec le changement climatique .....	37
B) Que nous disent les deux autres indicateurs climatiques ?.....	40
C) Projection démographique.....	44
V- Délibération autour du stage .....	47
A) Une méthode à améliorer ?.....	47
B) Une expérience professionnelle très enrichissante.....	49
Conclusion.....	50
Bibliographie.....	51
Annexes.....	54

Annexe 1 : Carte mentale des sujets potentiellement vulnérables aux fortes chaleurs ....	54
Annexe 2 : carte de densité des personnes de plus de 65 ans en France métropolitaine par département .....	55
Annexe 3 : carte en anamorphose du nombre de personnes de plus de 65 ans en France métropolitaine par département.....	56
Annexe 4 : tableau d'élaboration des classes pour la méthode en valeurs arrondies : exemple sur les 17 premiers départements.....	57
Annexe 5 : Diagramme de Gantt.....	58
Liste des figures.....	59
Liste des annexes.....	61

Le changement climatique est en marche, et il est nécessaire de développer des stratégies d'adaptation à certains effets, d'ores et déjà inéluctables. C'est ce que préconise le gouvernement avec la mise en place de la TRACC (Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique). Météo-France, dont la mission principale de contribution à la sécurité des personnes et des biens englobe les échelles météorologique et climatique, est chargé de fournir les informations les plus pertinentes pour cette adaptation. Cela suppose d'évaluer aussi précisément que possible les risques climatiques à l'échelle des territoires et leur évolution. Le risque climatique est le résultat de l'exposition à un aléa climatique et de la vulnérabilité spécifique du territoire considéré.

L'objectif de ce mémoire est de proposer une technique de combinaison entre données socio-économiques et données climatiques apportées par Météo-France afin d'en ressortir des scores de risque. Je chercherai donc à répondre à la problématique suivante : *Comment évaluer les risques engendrés par le changement climatique dans les territoires au travers du croisement d'indicateurs climatiques et socio-économiques ?*

Les notions d'aléa climatique, de vulnérabilité et de risque sont tout d'abord illustrées sur l'exemple de l'impact des fortes chaleurs sur les populations âgées. L'évaluation du risque suppose de combiner les évaluations quantitatives de l'aléa et de la vulnérabilité de façon à établir un « score » de risque. Toujours sur le risque sanitaire lié aux fortes chaleurs pour les populations âgées, différentes possibilités pour établir ce score sont explorées, et une méthode est proposée. Elle est ensuite mise en application pour étudier l'évolution du risque avec le changement climatique d'ici à la fin du siècle. Les résultats sont détaillés pour plusieurs indicateurs climatiques ciblés sur différents volets de l'aléa : vagues de chaleur, températures élevées en journées et nuits dites tropicales. Enfin, l'impact de la prise en compte de l'évolution future de la vulnérabilité est examiné.

Enfin, différentes perspectives à ce travail sont évoquées : évolutions de la méthode de « scoring », déclinaison à l'échelle communale, application à d'autres vulnérabilités pour le même aléa ou encore à d'autres aléas climatiques... Le changement climatique étant inéluctable, il est nécessaire d'entamer une procédure d'adaptation comme le préconise le gouvernement avec la mise en place de la TRACC (Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique).

*Mots clés : aléa - vulnérabilité - risque – score – croisement*