

**SANTÉ  
ENVIRONNEMENT**

AOÛT 2021

ÉTUDES ET ENQUÊTES

**INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LA  
MORTALITÉ DANS LES DÉPARTEMENTS  
ET RÉGIONS D'OUTRE-MER**

**RÉGION**

**OCÉAN INDIEN (LA RÉUNION, MAYOTTE)**

**ANTILLES (GUADELOUPE, MARTINIQUE)**

**GUYANE**

## Résumé

### Influence de la température sur la mortalité dans les départements et régions d'outre-mer

Il n'existe pas de travaux documentant l'influence de la température sous des climats insulaires tropicaux. Ce défaut de connaissance ne permet pas de comprendre comment dimensionner la prévention des effets de la température dans les départements et régions d'outre-mer français (Drom). Dans un contexte de modification rapide du climat, cette étude vise à établir l'influence de la température sur la mortalité dans les Drom, afin de déterminer les besoins de prévention et d'adaptation à court et à moyen terme.

Une zone d'étude a été constituée pour la Guyane, la Guadeloupe continentale, la Martinique, La Réunion et Mayotte. Un protocole similaire de modélisation de la relation température-mortalité a été appliqué dans chaque zone (à l'exception de Mayotte, où l'absence de données consolidées de mortalité avant 2014 n'a pas permis de finaliser l'analyse), puis les résultats ont été combinés dans une méta-analyse.

La forme générale de la relation température-mortalité et les ordres de grandeurs des risques relatifs (RR) calculés, sont cohérents avec ceux observés dans d'autres zones du monde. Ils confirment une influence de la température sur la mortalité et une augmentation rapide du risque de décès vers les températures les plus inhabituelles.

Le RR cumulé sur 0-10 jours suivant une exposition à une température au percentile 99 de la distribution des températures est de 1,20 [Intervalle de confiance (IC) 95% 1,06 :1,42] (méta-analyse, RR en référence au percentile 50). Près de 5% de la mortalité totale est attribuable à des températures non-optimales, représentant principalement un effet de la chaleur.

Ces résultats plaident pour la mise en place d'une prévention des impacts de la température, et particulièrement de la chaleur dans les Drom et pour l'intégration de ce risque sanitaire dans les politiques d'adaptation au changement climatique.

**MOTS CLÉS :** TEMPÉRATURE, CHALEUR, CHANGEMENT CLIMATIQUE, MORTALITÉ, DÉPARTEMENTS D'OUTRE-MER

**Citation suggérée :** Pascal M, Wagner V, Corso M, Lagarrigue M, Solet JL, Daudens É, *et al.* *Influence de la température sur la mortalité dans les départements et régions d'outre-mer*. Saint-Maurice : Santé publique France, 2021. 57 p. Disponible à partir de l'URL : <https://www.santepubliquefrance.fr> et [http://portaildocumentaire.santepubliquefrance.fr/exl-php/vue-consult/spf\\_internet\\_recherche/SPF00003004/SPF00003155](http://portaildocumentaire.santepubliquefrance.fr/exl-php/vue-consult/spf_internet_recherche/SPF00003004/SPF00003155)

ISSN : 2609-2174 - ISBN-NET : 979-10-289-0726-6 - RÉALISÉ PAR LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION, SANTÉ PUBLIQUE FRANCE - DÉPÔT LÉGAL : AOÛT 2021

## Abstract

### **Influence of temperature on mortality in french overseas departments and regions**

The influence of temperature on mortality in tropical islands remains unexplored. This lack of knowledge limits the capacity to design relevant prevention in the French overseas regions. Under a rapidly changing climate, this report investigates the temperature-mortality relationship in these regions, to better understand and support prevention and adaptation.

Study areas were created in the French Guyana, Guadeloupe, Martinique, La Réunion and Mayotte. Models were developed in each area but Mayotte (where analyses were prevented by the lack of complete mortality data before 2014), and results were combined through a meta-analysis.

The general shape of the temperature-mortality relationship, and the order of magnitude of the relative risks of mortality (RR) were consistent with those observed in other areas of the world. They confirm that temperature influences mortality, with a rapid increase in mortality risk associated with the most unusual temperatures.

RR cumulated 0-10 days following exposure to a temperature corresponding to the 99th percentile of the temperature distribution is 1.20 [Confidence interval 95% 1.06 :1.42] (meta-analysis, RR in reference to the percentile 50). About 5% of the total mortality is attributable to non-optimal temperatures, mostly through a heat effect.

These results advocate for the design of a prevention of temperature, and especially heat-related risks in the French overseas regions. The issue of heat and health should also be integrated in regional adaptation policies.

**KEYWORDS:** TEMPERATURE, HEAT, CLIMATE CHANGE, MORTALITY, OVERSEAS REGIONS

## Auteurs

**Mathilde Pascal**

Santé publique France, direction santé environnement travail

**Vérène Wagner**

Santé publique France, direction appui, traitements et analyses de données

**Magali Corso**

Santé publique France, direction santé environnement travail

**Robin Lagarrigue**

Santé publique France, direction santé environnement travail

**Jean-Louis Solet**

Santé publique France - Océan Indien

**Élise Daudens**

Santé publique France - Antilles

**Lydéric Aubert**

Santé publique France - Antilles

**Cyril Rousseau**

Santé publique France - Guyane

## Remerciements

**Grégory Fifre**

Météo-France

**Pascal Jehannin**

Santé publique France, direction des régions

## Relecture scientifique

**Martine Ledrans**

Santé publique France, direction scientifique et international

## Abréviations

<b>CépiDC</b>	Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès
<b>Drom</b>	Départements et région d'outre-mer
<b>GES</b>	Gaz à effet de serre
<b>IC</b>	Intervalle de confiance
<b>GLM</b>	Modèle linéaire généralisé
<b>PNC</b>	Plan national canicule
<b>RR</b>	Risque relatif
<b>Sacs</b>	Système d'alerte canicule et santé
<b>SNDS</b>	Système national des données de santé
<b>SRCAE</b>	Schéma régional climat air énergie
<b>TMM</b>	Température de mortalité minimale

# Sommaire

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>6</b>
1.1 Un manque de connaissance sur des effets de la température sur la mortalité dans les zones insulaires .....	6
1.2 Une modification rapide du climat des Drom .....	8
<b>2. OBJECTIFS</b> .....	<b>10</b>
<b>3. MÉTHODE</b> .....	<b>10</b>
3.1 Zones d'étude .....	10
3.2 Période d'étude .....	10
3.3 Indicateurs météorologiques .....	10
3.4 Indicateurs sanitaires .....	11
3.5 Analyses de la relation température-mortalité .....	12
3.6 Estimation de la fraction de la mortalité attribuable à des températures non-optimales .....	12
<b>4. RÉSULTATS</b> .....	<b>13</b>
4.1 Descriptif des zones d'étude .....	13
4.2 Influence de la température sur la mortalité .....	16
4.3 Influence de l'humidité sur la relation température-mortalité .....	19
4.4 Fraction de la mortalité attribuable à des températures non-optimales .....	20
<b>5. DISCUSSION</b> .....	<b>21</b>
5.1 Synthèse des résultats .....	21
5.2 Limites et perspectives .....	22
5.3 Implications en terme de santé publique .....	23
Annexe 1. Descriptif des zones d'études .....	26
Annexe 2. Relation température-mortalité par zone d'étude, estimation locale et estimation recentrée .....	47
Annexe 3. RR obtenus en considérant des effets retardés jusqu'à 21 jours au lieu de 10 ...	49
Annexe 4. Influence de la modélisation de la saisonnalité .....	51
Annexe 5. Influence de la position des nœuds pour les splines de température .....	52
Annexe 6. Modèle ajusté sur l'humidité relative .....	53
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>55</b>

# 1. INTRODUCTION

## 1.1 Un manque de connaissance sur des effets de la température sur la mortalité dans les zones insulaires

L'influence de la température sur la mortalité a été établie en France métropolitaine par de nombreux travaux [1-6]. L'augmentation importante du risque de décès associée aux températures élevées [2], et pouvant se traduire par un impact considérable lors des vagues de chaleur [4, 7], a conduit au développement du plan national canicule (PNC) et du système d'alerte canicule et santé (Sacs) en 2004 [8, 9].

Cette stratégie de prévention a été déployée en métropole. Dans les départements et régions d'outre-mer (Drom : Martinique, Guadeloupe, Guyane, La Réunion, Mayotte), les faibles variations saisonnières de températures, les distributions de températures plus resserrées qu'en métropole ainsi qu'une « habitude » de la chaleur avaient conduit à juger comme faible le risque de survenue de vague de chaleur potentiellement dangereuse pour la santé.

Les travaux des dix dernières années viennent questionner ces hypothèses. L'idée d'une supposée acclimatation à la chaleur dans les climats chauds est remise en cause par la mise en évidence de l'existence d'une température de mortalité minimale (TMM) dans toutes les zones où elle a été étudiée [10-12]. Un effet de la température sur la mortalité est observé au-delà et en deçà de cette TMM, qui est bien prédite par la température la plus fréquemment observée de la zone [12]. Autrement dit, l'épidémiologie conclut actuellement que les températures inhabituelles constituent un risque pour la santé, quel que soit le climat sous-jacent. L'effet des températures supérieures à la TMM est classiquement interprété par les études épidémiologiques comme un effet de la chaleur, et l'effet des températures inférieures à la TMM comme un effet du froid. Chaleur et froid sont ainsi définis traditionnellement relativement à la TMM par l'épidémiologie [10]. Sous les climats tropicaux, la TMM semble être autour du 60<sup>e</sup> percentile de la distribution des températures [10, 11].

Les connaissances physiologiques apportent un éclairage complémentaire en mettant en évidence les mécanismes mobilisés pour maintenir la stabilité de la température interne de l'organisme, en produisant ou en évacuant de la chaleur. Ces mécanismes dépendent notamment de l'âge, de l'état de santé, et du niveau de sédentarité de chaque personne [13]. Toute personne peut être soumise à une température ambiante qui va mettre en difficulté sa capacité de thermorégulation, et éventuellement conduire à l'apparition de symptômes graves, voir au décès. À l'échelle d'une population, plus la température ambiante est élevée, plus il est probable que les effets sanitaires observés soient les conséquences d'une température interne trop importante ou d'un épuisement physiologique suite à une sur-sollicitation des mécanismes de thermorégulation visant à évacuer la chaleur. On peut alors parler d'effet direct de la chaleur. Plus la température ambiante est faible, plus les effets sanitaires observés découleront d'une température interne trop faible ou d'un épuisement physiologique à la suite d'une sur-sollicitation des mécanismes de thermorégulation visant à préserver et produire de la chaleur. On peut alors parler d'effet direct du froid. Pour les températures ambiantes intermédiaires, on peut supposer que la diversité des situations d'exposition va conduire à une grande diversité des besoins de thermorégulation dans la population, et que les effets observés sont principalement le reflet de l'épuisement des organismes mettant en œuvre cette thermorégulation, qu'elle vise à refroidir ou à réchauffer l'organisme. Enfin, des effets indirects de la température, notamment des températures basses, sont pressentis, via une influence sur le système immunitaire par exemple [14].

Ainsi, la TMM peut être interprétée comme la température la plus favorable à une thermorégulation pour la majorité de la population étudiée. Elle témoigne de l'acclimatation

moyenne de la population au climat local, mais masque la diversité des capacités d'acclimatation individuelle. Plus la température ambiante s'éloigne de la TMM, plus le nombre de personnes éprouvant des difficultés à maintenir leur température interne stable augmente, et plus des effets sanitaires délétères peuvent être observés. La Figure 1 illustre comment différentes populations vont être capables ou non de conserver une bonne acclimatation lorsque la température augmente.

## I FIGURE N° 1 I

### Évolution des groupes de personnes vulnérables à un effet direct de la chaleur en fonction de l'intensité de la chaleur (diminution de leur acclimatation)

#### AUGMENTATION DE LA POPULATION À RISQUE EN FONCTION DE L'INTENSITÉ DE LA CHALEUR

CHALEUR MODÉRÉE	CHALEUR FORTE	CHALEUR INTENSE
→ Personnes sans-abri	→ Personnes sans-abri	→ Personnes sans-abri
→ Personnes fragiles (mauvaise santé, habitat surexposé à la chaleur)	→ Personnes fragiles (mauvaise santé, habitat surexposé à la chaleur)	→ Personnes fragiles (mauvaise santé, habitat surexposé à la chaleur)
→ Travailleurs surexposés à la chaleur	→ Travailleurs surexposés à la chaleur	→ Travailleurs surexposés à la chaleur
→ Nourrissons et personnes âgées	→ Nourrissons et personnes âgées	→ Nourrissons et personnes âgées
→ Adultes et enfants en bonne santé, passant beaucoup de temps à l'intérieur et plutôt sédentaires	→ Adultes et enfants en bonne santé, passant beaucoup de temps à l'intérieur et plutôt sédentaires	→ Adultes et enfants en bonne santé, passant beaucoup de temps à l'intérieur et plutôt sédentaires
→ Adultes et enfants en bonne santé et pratiquant une activité physique régulière	→ Adultes et enfants en bonne santé et pratiquant une activité physique régulière	→ Adultes et enfants en bonne santé et pratiquant une activité physique régulière
→ Adultes en très bonne santé et pratiquant une activité physique régulière et soutenue	→ Adultes en très bonne santé et pratiquant une activité physique régulière et soutenue	→ Adultes en très bonne santé et pratiquant une activité physique régulière et soutenue

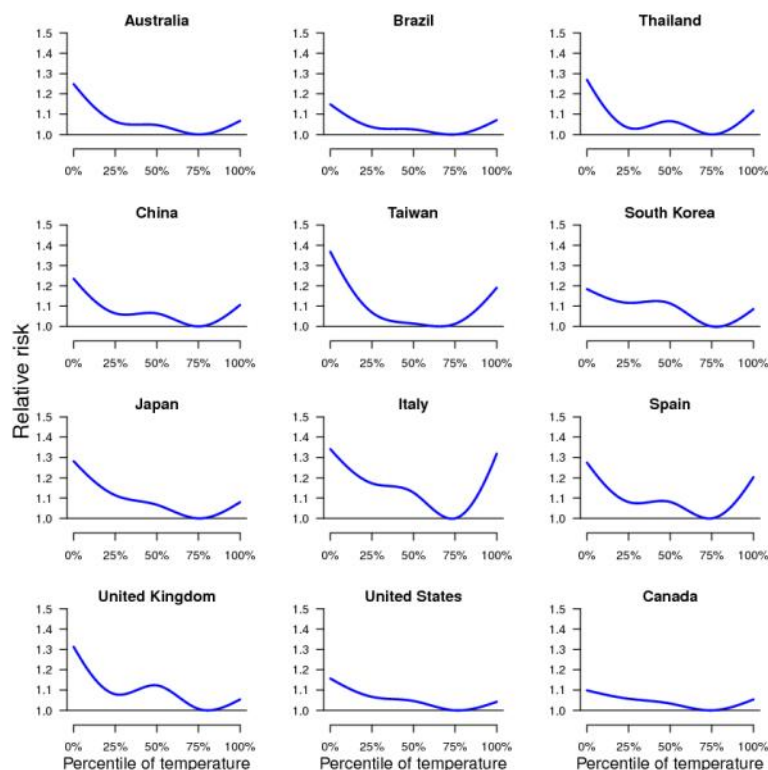
LÉGENDE	POPULATION TRÈS MAL ACCLIMATÉE	POPULATION PARTIELLEMENT ACCLIMATÉE	POPULATION TRÈS BIEN ACCLIMATÉE

Ceci se traduit, dans toutes les zones où elle a été étudiée, par une réponse de la mortalité à la température ambiante présentant une forme de J ou de U, avec une augmentation très rapide du risque lorsque la température atteint des valeurs mettant en défaut l'acclimatation d'une grande partie de la population. Toutefois, les zones tropicales prises en compte dans les études épidémiologiques sont quasiment toutes des métropoles d'Asie du Sud-Est et d'Amérique latine (Figure 2). Il n'existe pas à notre connaissance d'étude publiée explorant la relation température-mortalité dans des zones insulaires et sous des climats comparables à ceux observés dans les Drom.

Mieux connaître cette influence de la température sur la mortalité permettrait de comprendre comment dimensionner la prévention des effets de la température dans les Drom. Ceci est crucial alors que, sous l'effet des émissions anthropiques de gaz à effet de serre (GES) le climat se modifie rapidement.

## I FIGURE N° 2 I

Influence de la température (en percentile de la distribution locale des températures) sur la mortalité non-accidentelle dans différentes zones (RR cumulé sur 0-21 jours, en comparaison au percentile correspondant à la TMM de chaque zone) [11]



## 1.2 Une modification rapide du climat des Drom

Les modèles climatiques prévoient, pour l'ensemble des Drom, une augmentation des températures moyennes, ainsi que des températures plus élevées et de périodes de fortes chaleurs plus fréquentes, quel que soit le scénario d'émission de GES considéré [15].

La Martinique et la Guadeloupe ont un climat de type tropical maritime, alternant une saison sèche entre janvier et mars, et une saison des pluies de juillet à octobre. Les températures moyennes varient peu sur l'année. En Guyane, le climat est de type équatorial humide, avec également peu de variations des températures moyennes sur l'année. Dans ces trois zones, la température moyenne a augmenté d'environ 1,5°C au cours des 50 dernières années [16, 17]. En 2020, plusieurs canicules<sup>1</sup> battant des records de températures ont été observées aux Caraïbes préfigurant une nouvelle norme climatique [18]. Dans cette région, la température dépasse désormais le 90<sup>e</sup> percentile de la période 1980-2010 près de 50% des jours de la saison sèche, contre 10% en 1995, et jamais auparavant. À partir de 2030, 80% des jours pourraient dépasser cette valeur [19].

La Réunion a un climat tropical humide avec une grande variabilité liée au relief. Mayotte a un climat de type tropical maritime, très homogène sur l'ensemble du territoire. Dans ces deux zones, la saison des pluies dure de janvier à avril et la saison sèche de mai à décembre. La hausse des températures y a été de l'ordre de 1°C au cours des 50 dernières années [20].

<sup>1</sup> Une canicule est définie par le *Caribbean Institute for meteorology and hydrology* comme au moins deux jours consécutifs pendant lesquels la température maximale dépasse le percentile 90 de la distribution historique des températures.



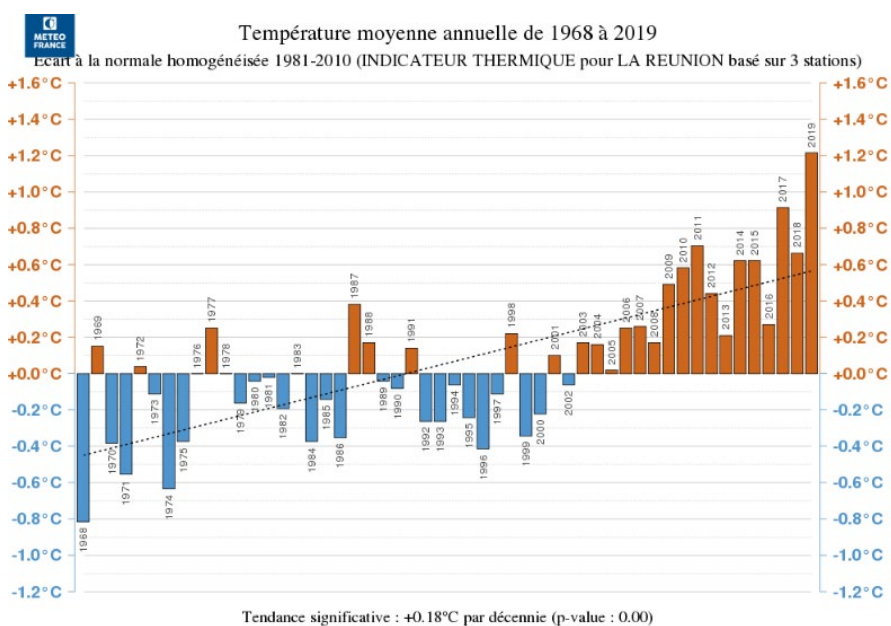
L'année 2019 a été la plus chaude des cinquante dernières années à La Réunion et à Mayotte, avec une anomalie positive de la température moyenne annuelle de l'ordre de 1,2°C par rapport à la normale, comme illustré pour La Réunion par la Figure 3 [15].

Bien que les effets directs de la température sur la santé, et notamment de la chaleur, aient été identifiés comme impact possible du changement climatique dans les Drom [16, 17, 19, 21], ils ne font *a priori* pas l'objet de mesures d'adaptation spécifiques [17, 19, 22]. Il existe une préoccupation pour les impacts sociaux et environnementaux de la chaleur dans les Caraïbes depuis les années 90, mais le sujet n'a pas fait l'objet de travaux détaillés [19]. Depuis 2018, les agences caribéennes de santé publique, les agences météorologiques et l'organisation mondiale de la santé publient périodiquement un bulletin « climat et santé » visant à attirer l'attention des acteurs locaux sur les risques sanitaires sensibles au climat des mois à venir. Ces bulletins soulignent les possibilités de chaleur excessive et d'impacts sur la santé associés, sans détail sur les critères considérés ni recommandation sur les mesures à mettre en place [23]. Le schéma régional climat air énergie (SRCAE) de la Guadeloupe souligne la nécessité de préparer les lieux accueillant des populations vulnérables à des vagues de chaleur plus fréquentes, tout en faisant l'hypothèse que l'habitude de la chaleur et la prévalence de la climatisation limitent le risque [17]. Le SRCAE de Guyane souligne également le risque d'observer une hausse de la consommation énergétique des ménages pour contrer les fortes chaleurs [22]. La chaleur n'est pas identifiée explicitement comme un enjeu de santé publique par le SRCAE de La Réunion [24]. Enfin, la chaleur n'est pas identifiée comme un enjeu d'adaptation dans les Drom par le rapport d'information du Sénat sur les besoins d'adaptation à l'horizon 2050 [25].

Il apparaît donc nécessaire d'acquérir de la connaissance sur l'influence de la température sur la mortalité dans les Drom, afin de déterminer les besoins de prévention et d'adaptation à court et à moyen terme.

### I FIGURE N° 3 I

#### Augmentation de la température moyenne annuelle à La Réunion entre 1968 et 2019 [15]



## 2. OBJECTIFS

L'étude détaillée ici vise à établir la forme de la relation température-mortalité dans les Drom, à étudier la réponse à des températures inhabituelles et à établir la fraction de la mortalité attribuable à la température.

Les résultats aideront à identifier si une augmentation marquée et rapide du risque de décès est observée en lien avec les températures les plus élevées, ce qui pourrait justifier de la mise en place d'une prévention ciblée des très fortes chaleurs, à l'image de ce qui est réalisé en métropole.

Toutefois, cette étude n'a pas pour objectif de statuer sur la nécessité de mettre en place une telle prévention, ni de fournir des seuils d'alerte. En effet, la mise en place d'une prévention fondée sur un système d'alerte répond à des objectifs de gestion du risque sanitaire, qui doivent être définis au préalable par les acteurs impliqués dans cette prévention.

## 3. MÉTHODE

Les analyses s'inspirent de travaux similaires menés pour les villes métropolitaines [1, 2]. Le principe général est celui d'une étude multicentrique en séries temporelles, classiquement utilisé pour explorer la relation température-mortalité [10]. Les modèles sont réalisés dans chaque zone d'étude selon un protocole similaire, puis les résultats sont combinés par une méta-analyse. Les choix de modélisation permettent de prendre en compte un éventuel décalage temporel entre l'exposition à la température et la mortalité, et offre une grande souplesse de modélisation afin de capturer la non-linéarité de la relation.

### 3.1 Zones d'étude

Afin de garantir une puissance statistique suffisante, les zones d'études doivent rassembler si possible un minimum de 100 000 habitants. Il faut également s'assurer d'une relative homogénéité du climat sur l'ensemble de la zone, ainsi que de la disponibilité de données de températures représentatives de la zone. Sur la base de ces considérations quatre zones d'étude ont été constituées, centrées autour des principales agglomérations de Guyane, Martinique, Guadeloupe et La Réunion. Le nom de l'agglomération principale est repris pour désigner la zone d'étude dans la suite du document. À Mayotte, le faible nombre de décès quotidien et le faible historique des données n'ont pas permis de construire une zone d'étude centrée autour de Mamoudzou. Considérant que le climat est relativement homogène sur les parties les plus peuplées du département, la totalité des communes de Mayotte ont été intégrées dans la zone d'étude pour augmenter la puissance statistique (Tableau 1).

Une description plus détaillée de chaque zone est disponible en Annexe 1.

### 3.2 Période d'étude

La période d'étude retenue est 2000-2015.

### 3.3 Indicateurs météorologiques

Les données journalières de température moyenne, minimale, maximale, et d'humidité relative moyenne ont été obtenues pour une station de référence par zone auprès de Météo-France.

Lorsque plusieurs stations étaient disponibles sur la zone, la station synoptique a été privilégiée. Lorsqu'elles étaient disponibles sur l'ensemble de la période, des données d'autres stations ont été collectées, et les corrélations avec la station de référence décrites en Annexe 1.

Une définition des canicules calquée sur celle actuellement utilisée pour le Sacs [26] a été testée ; moyennes glissantes sur trois jours des températures minimales et maximales supérieures aux percentiles 99,5 de leur distribution respective sur la période d'étude.

## I TABLEAU N° 1 I

### Communes constituant les zones d'études et stations météorologiques associées

Drom	Zone d'étude	Nombre de communes	Communes	Station météorologique associée	Code Météo-France de la station	Population totale (2015)
<b>Martinique</b>	<b>Fort-de-France</b>	5	Fort-de-France, St-Joseph, Schœlcher, Lamentin, Ducos	Lamentin	97123004	180 961
<b>Guadeloupe</b>	<b>Pointe-à-Pitre</b>	11	Les Abymes, Baie-Mahaut, Le Gosier, Lamentin, Morne-à-l'Eau, Le Moule, Petit-Bourg, Petit-Canal, Pointe-à-Pitre, Ste-Anne, St-François	Le Raizet	97101015	256 762
<b>Guyane</b>	<b>Cayenne</b>	6	Cayenne, Matoury, Remire-Montjoly, Roura, Montsinery, Macouria	Matoury	97307001	117 524
<b>La Réunion</b>	<b>St-Denis de La Réunion</b>	2	St-Denis, Ste-Marie	Gillot-aéroport	97418110	175 030
<b>Mayotte</b>	<b>Mayotte</b>	17	Toutes les communes de Mayotte	Pamandzi	98508001	212 600*

\* pour Mayotte, données du recensement 2012

## 3.4 Indicateurs sanitaires

Les données journalières de mortalité toutes causes (code CIM10 : A00-Y89), tous âges, ont été extraites des bases du CépiDC et du système national des données de santé (SNDS) pour chaque zone d'étude. Une analyse par classe d'âge n'a pas été possible, compte-tenu des faibles effectifs de mortalité dans chaque zone d'étude.

À Mayotte, il est apparu que les données de mortalité n'étaient renseignées dans le SNDS qu'à partir de 2011 et qu'elles n'étaient exhaustives qu'à partir de 2014. La période 2014-2015 étant trop courte pour réaliser des analyses en séries temporelles, Mayotte n'a pas été incluse dans les analyses présentées ci-après.

## 3.5 Analyses de la relation température-mortalité

Dans chaque zone, l'association température-mortalité a été étudiée à l'aide d'un modèle linéaire généralisé (GLM) avec une distribution poissonnienne de la mortalité en prenant en compte la sur-dispersion des données. Le modèle principal inclut la température moyenne, le jour de la semaine et les jours fériés. Des modèles ajustés sur l'humidité relative moyenne journalière, l'humidité minimale et maximale ont été explorés en analyse de sensibilité.

La tendance à long terme et la saisonnalité ont été modélisées à l'aide d'une *natural spline* du temps avec 3 degrés de liberté par an. Des analyses de sensibilité ont porté sur des choix alternatifs pour la prise en compte de la saisonnalité. Les zones d'études ont connu plusieurs épidémies majeures de chikungunya, de dengue et de Zika pendant la période d'étude. Ces épidémies ont un caractère saisonnier marqué [27-31]. Compte-tenu des effectifs et de la dynamique temporelle des décès associés, nous avons considéré que la flexibilité offerte par le terme de modélisation de la saisonnalité serait suffisant pour capturer l'impact de ces épidémies. L'épisode le plus sévère a été observé à La Réunion début 2006. Une analyse de sensibilité prenant en compte un terme représentant l'épidémie entre le 1<sup>er</sup> janvier et le 31 mars 2006 a été réalisée, à l'aide d'une *bs-spline* à 3 degrés de liberté.

L'association avec la température a été modélisée à l'aide de modèles non linéaires à retards distribués. L'association dans la dimension des températures a été modélisée à l'aide d'une *b-spline* quadratique. Le choix du nombre et de la position des nœuds a été obtenu à l'aide du critère d'Akaike. Ce critère a conduit à sélectionner un nœud interne placé au percentile 60 de la distribution des températures moyennes. Des analyses de sensibilité ont porté sur des choix alternatifs pour le nombre et le positionnement des nœuds.

L'association dans la dimension des retards a été modélisée à l'aide d'une *natural spline* avec deux nœuds internes équidistants dans l'échelle log afin de permettre plus de flexibilité dans la première partie de la courbe des retards où plus de variabilité est attendue. La période des retards étudiée est fixée à 10 jours. Un modèle explorant les retards jusqu'à 21 jours a également été testé en analyse de sensibilité.

Dans chaque zone, l'association température-mortalité a été réduite à l'association cumulée sur 0-3 jours, et sur 0-10 jours, puis les estimations spécifiques à chaque zone ont été combinées en utilisant un modèle à effet aléatoire.

Dans les analyses de sensibilité portant sur l'humidité, les différents termes d'humidité ont été introduits dans les modèles à l'aide d'une *b-spline* à trois degrés de liberté.

Les résultats sont présentés sous la forme de risques relatifs (RR), cumulés sur 0-3 et 0-10 jours, représentant l'augmentation du risque de décès associé à une température donnée, en référence à une température médiane.

## 3.6 Estimation de la fraction de la mortalité attribuable à des températures non-optimales

Dans chaque zone d'étude, la TMM, correspondant au risque de décès le plus faible, a été calculée. Les estimateurs recentrés combinant l'estimateur issu de la méta-analyse et l'estimateur spécifique à la zone d'étude ont été utilisés pour ce calcul. Une estimation de l'incertitude associée à la TMM a été réalisée selon la méthode décrite par Tobias *et al.* [32] et se présente sous la forme d'un intervalle de confiance à 95% (IC95).

La fraction totale de la mortalité attribuable à des températures non-optimales (différentes de la TMM) a été calculée, ainsi que la fraction de la mortalité attribuable à des températures

extrêmes chaudes, et froides. Le percentile 90 a été retenu pour identifier une température extrême chaude, s'inspirant de la définition des vagues de chaleur utilisée aux Caraïbes [18]. Symétriquement, le percentile 10 a été retenu pour identifier une température extrême froide. Nous faisons ainsi l'hypothèse d'une relation causale entre une température non-optimale et la mortalité, et que cette relation causale est entièrement un effet de la chaleur au-delà du percentile 90, et un effet du froid en deçà du percentile 10.

Cette approche diffère de celle classiquement publiée dans la littérature, qui quantifie l'effet du froid à partir de toutes les températures inférieures à la TMM, et l'effet de la chaleur à partir de toutes les températures supérieures à la TMM [10]. Les calculs des fractions attribuables au froid et à la chaleur prenant la TMM comme référence sont présentées en analyse de sensibilité.

## 4. RÉSULTATS

### 4.1 Descriptif des zones d'étude

Il y a peu de variations annuelles des températures et d'humidité dans les zones d'étude. La Figure 4 présente les moyennes mensuelles sur la période des températures et de l'humidité relative. Les variations inter-saisonniers de température (écart entre le mois le plus chaud et le plus froid) sont au maximum de 5,7°C à Saint-Denis de La Réunion, et 1,2°C à Cayenne.

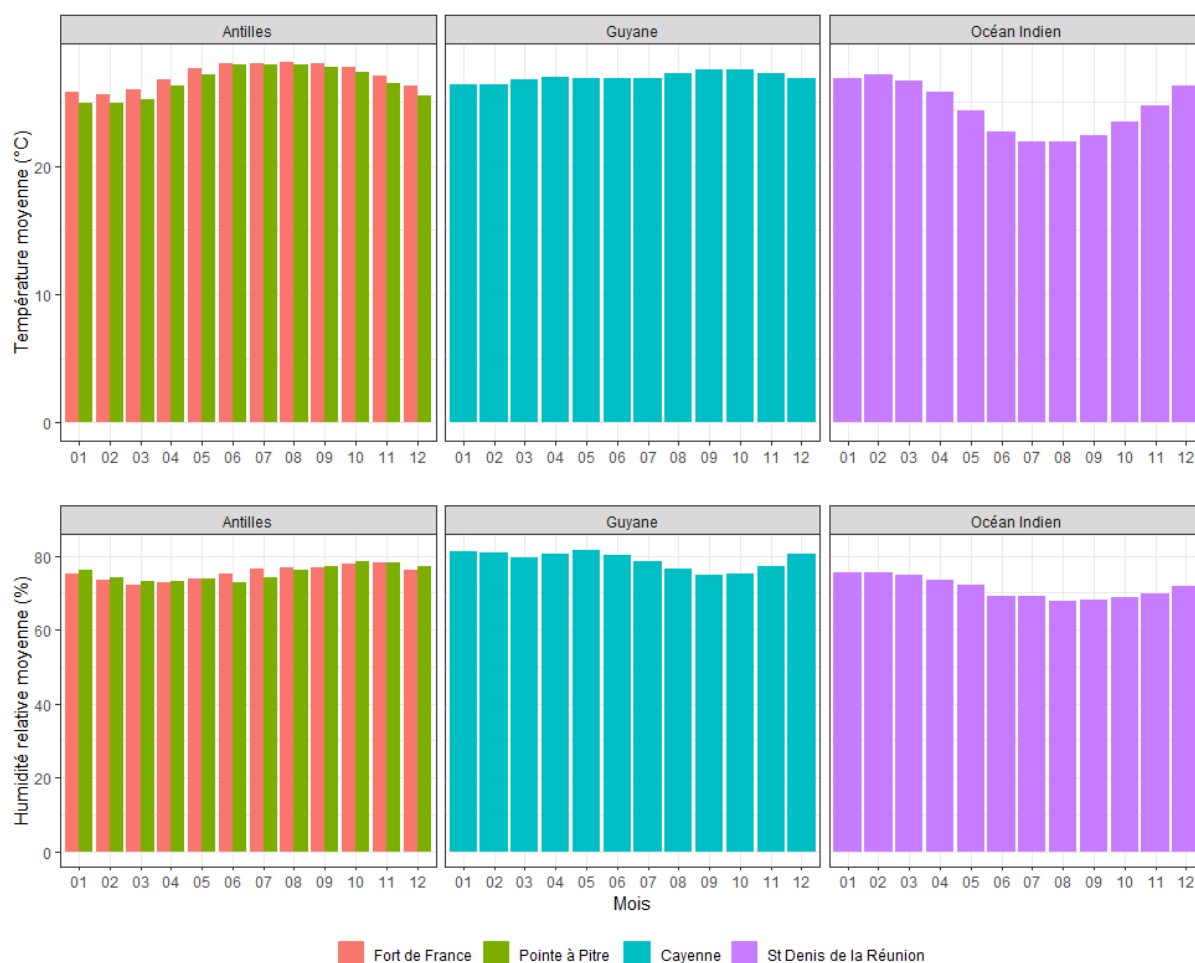
Les températures sont relativement homogènes entre les zones, avec des distributions annuelles très resserrées. Des températures journalières moyennes inférieures à 20°C ne sont jamais observées, sauf à Saint-Denis de La Réunion qui présente une distribution de température plus étalée vers des températures plus faibles que les autres zones. Les températures journalières moyennes restent inférieures à 31°C dans l'ensemble des zones. Les températures les plus extrêmes (supérieures aux percentiles 99 de la distribution des températures) sont, en valeur absolue, peu différentes des températures plus communes. Le percentile 99,9 est au plus 5,3°C plus élevé que la température médiane à Saint-Denis de La Réunion, et seulement 1,8°C plus élevé à Cayenne (Tableau 2). De même, on observe très peu de différences entre les percentiles 99 et le maximum des températures.

Le climat est globalement plus humide à Cayenne, et plus sec à Saint-Denis de La Réunion (Tableau 3).

L'application d'une définition calquée sur le Sacs métropolitain n'a pas identifié de canicules dans les Drom sur la période d'étude, à l'exception de cinq épisodes à Saint-Denis de La Réunion (du 27 février au 1<sup>er</sup> mars 2002, du 26 au 28 janvier 2003, du 11 au 13 février 2012 et du 23 au 25 décembre 2012, et du 4 au 7 février 2014). Il est probable que cette définition développée dans un contexte métropolitain soit peu adaptée aux climats des Drom.

## I FIGURE N° 4 I

### Température et humidité relative journalière moyennées par mois et par zone d'étude



## I TABLEAU N° 2 I

### Distribution de la température journalière moyenne dans les zones d'étude (°C)

Zones	Moyenne	Min	P1	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	P99.5	P99.9	Max
Fort-de-France	27,1	22,4	24,0	<b>25,3</b>	26,2	<b>27,2</b>	28,0	<b>28,5</b>	28,7	29,5	29,6	30,0	30,3
Pointe-à-Pitre	26,6	21,8	23,2	<b>24,7</b>	25,5	<b>26,8</b>	27,8	<b>28,5</b>	28,9	29,4	29,5	29,8	30,4
Cayenne	27,0	23,0	24,5	<b>25,8</b>	26,6	<b>27,1</b>	27,5	<b>27,8</b>	28,1	28,5	28,7	28,9	29,1
St-Denis de La Réunion	24,5	18,8	20,2	<b>21,5</b>	22,7	<b>24,6</b>	26,3	<b>27,0</b>	27,6	28,4	28,6	29,2	30,0

### I TABLEAU N° 3 I

#### Distribution de l'humidité relative moyenne dans les zones d'étude (%)

Zones	Moyenne	Min	P25	P50	P75	Max
Cayenne	79	59	76	79	82	99
Fort-de-France	75	59	73	76	79	95
Pointe-à-Pitre	74	53	72	76	79	95
St-Denis de La Réunion	72	47	67	72	76	96

En 2015, les zones d'études (hors Mayotte) rassemblaient 730 277 habitants, majoritairement de moins de 75 ans (Tableau 4). En 2015, le taux de décès pour 100 000 habitants variait de 441 décès pour 100 000 habitants à Cayenne à 743 à Fort-de-France (Tableau 4). Le nombre de décès quotidien est faible dans l'ensemble des zones (Tableau 5). La mortalité ne présente pas de saisonnalité particulière (Figure 5).

### I TABLEAU N° 4 I

#### Caractéristiques démographiques de la zone d'étude

Zone d'étude	Population totale		Part des 75 ans et plus		Taux de mortalité pour 100 000 habitants	
	recensement 1999	recensement 2015	recensement 1999	recensement 2015	2000	2015
Fort-de-France	181 471	180 961	5%	7%	647	743
Pointe-à-Pitre	243 329	256 762	4%	6%	586	667
Cayenne	91 837	117 524	2%	2%	438	441
St-Denis de La Réunion	158 225	175 030	2%	3%	499	530

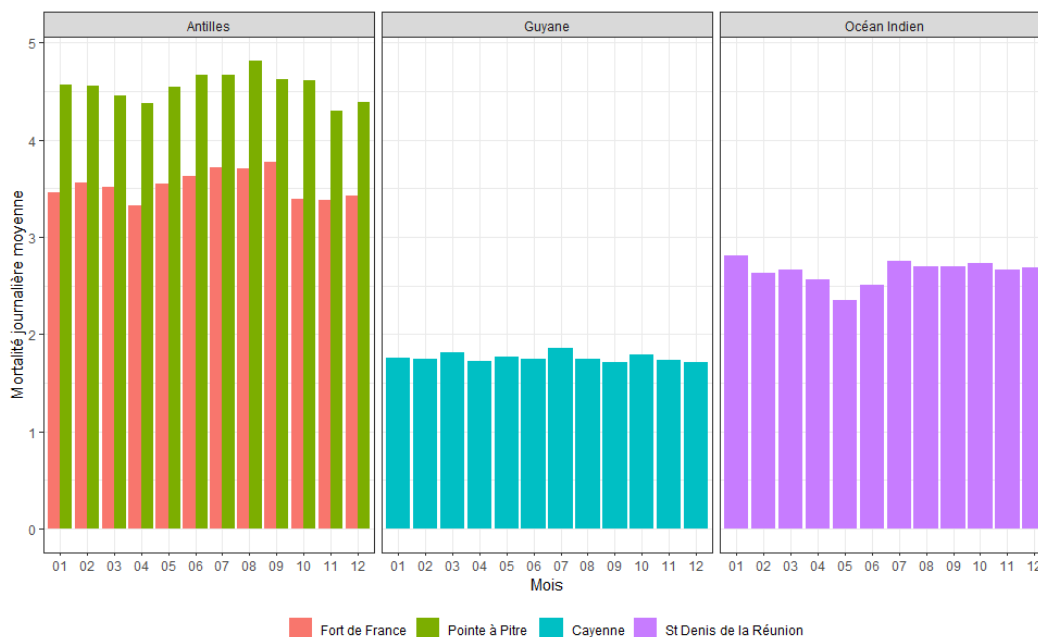
### I TABLEAU N° 5 I

#### Distribution de la mortalité journalière entre 2000 et 2015 dans les zones d'étude

Zones	Moyenne	Min	P25	P50	P75	Max
Fort-de-France	3,5	0	2	3	5	13
Pointe-à-Pitre	4,5	0	3	4	6	16
Cayenne	1,7	0	0	1	2	10
St-Denis de La Réunion	2,6	0	1	2	3	11

## I FIGURE N° 5 I

### Mortalité moyenne journalière moyennée par mois et par zone d'étude



## 4.2 Influence de la température sur la mortalité

L'analyse multicentrique en série temporelle a porté sur 67 174 décès, principalement répartis entre Fort-de-France (29,8%), Pointe-à-Pitre (39,0%) et Saint-Denis (20,7%). Cayenne ne représente que 10,6% des décès pris en compte.

La Figure 6 présente le risque relatif (RR) cumulé sur 10 jours pour différents percentiles de température, en référence au percentile 50. Le percentile 50 a été choisi comme référence pour comparer plus facilement les RR entre zones (dans la littérature, les RR sont souvent exprimés par rapport à la TMM, mais cette dernière correspond à un percentile différent dans chaque zone ce qui complique les comparaisons et les méta-analyses).

On retrouve une forme classique, marquée par une augmentation du risque de mortalité lorsque la température s'écarte des valeurs les plus habituelles.

Les relations recentrées par zone d'étude sont détaillées en Annexe 2. La part d'hétérogénéité de la relation globale sur 0-10 jours est modérée ( $I_2=47\%$ ), et les formes de la relation température-mortalité varient peu entre les zones. La Figure 7 détaille l'évolution temporelle des RR sur chaque jour suivant l'exposition, pour des températures « froides » (percentiles 1, 25) et « chaudes » (percentiles 75, 99, 99,5 et 99,9). On retrouve également des formes classiques, avec un effet immédiat et important des fortes températures, qui décroît rapidement après 48 heures, et un effet faible et dilué dans le temps des températures faibles. On n'observe pas d'indication d'un possible effet moisson, dans la mesure où les RR cumulés sur 0-3 jours sont toujours équivalents ou inférieurs aux RR cumulés sur 0-10 jours (Tableau 6).

Le Tableau 6 résume les RR issus de la méta-analyse pour différents percentiles de températures. Il n'est pas observé dans la méta-analyse d'effet de la température à des percentiles bas, sauf au percentile 1. Cet effet est plus marqué à St-Denis de La Réunion, où une température au percentile 1 est associée à un RR cumulé sur 0-10 jours de 1,20 [IC 95%



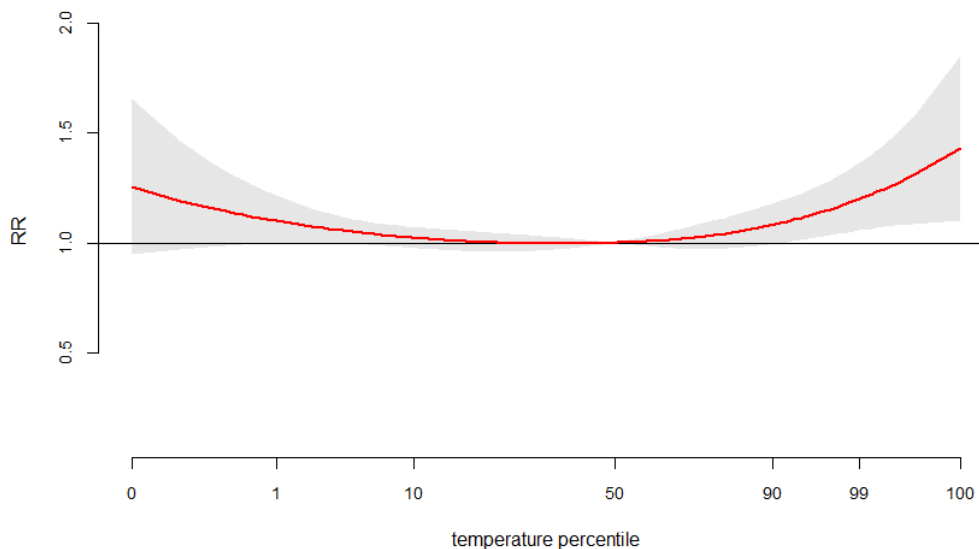
1,02 :1,42], et à Pointe-à-Pitre (RR 1,16 [1,03 :1,31]) (Annexe 2). L'absence globale d'effet de ces percentiles bas est confirmée par les analyses sur 21 jours cumulés, présentées en Annexe 3.

Pour les percentiles élevés, correspondant à de très fortes chaleurs, on observe une augmentation immédiate du RR le jour même et les deux jours suivant l'exposition, puis des RR qui se maintiennent à un niveau plus faible dans les jours suivants. Ainsi, le RR cumulé dans les trois premiers jours suivant l'exposition à une température au percentile 99,5 est de 1,17 [IC95% 1,09 :1,26], et le RR cumulé sur 10 jours de 1,23 [1,07 :1,42]. Cet effet de la chaleur est d'ordre de grandeur similaire à Fort-de-France, Pointe-à-Pitre et Saint-Denis de La Réunion, et non significatif à Cayenne sur 0-10 jours (Annexe 2 et Tableau 7).

Les TMM varient de 23,8°C à St-Denis de La Réunion, à 27,5°C à Cayenne, et sont associées à des intervalles de confiance larges, notamment au regard des distributions des températures très resserrées observées dans les zones d'étude (Tableau 7). Les percentiles 10 et 90 ne sont jamais inclus dans les intervalles de confiance de la TMM, sauf à Cayenne.

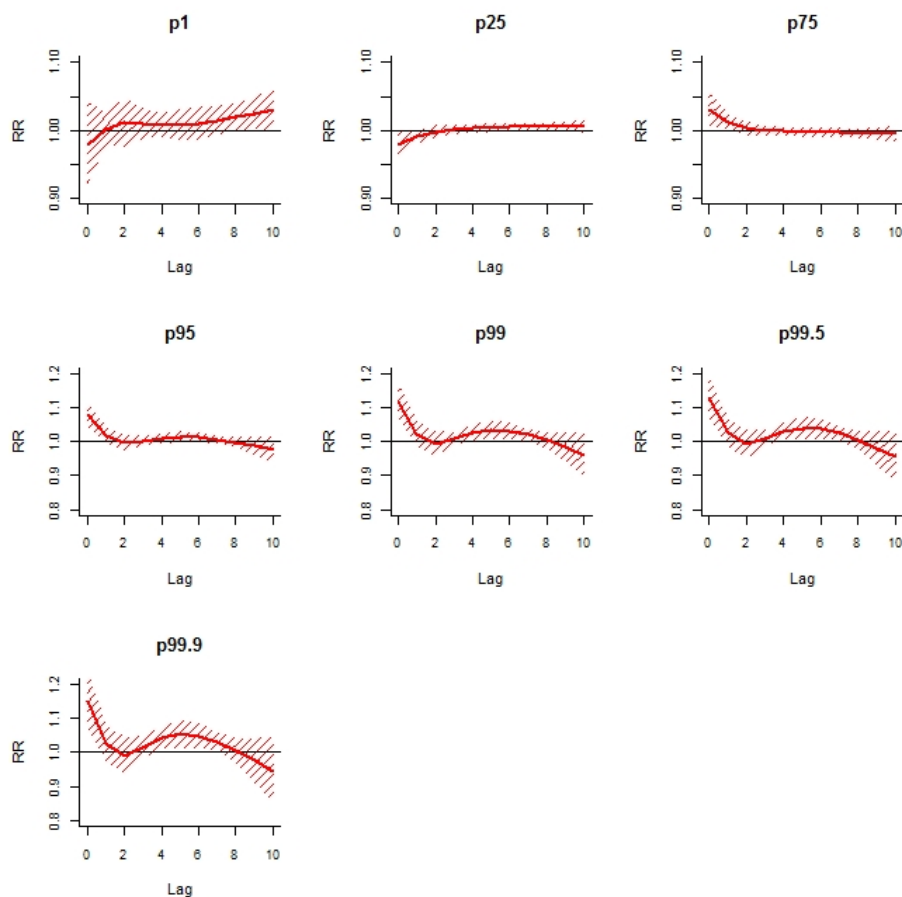
## I FIGURE N° 6 I

**Risque relatif de décès cumulé sur 0-10 jours suivant l'exposition à un percentile de température - Méta-analyse - RR calculée par rapport à la température médiane - I2 = 47%**



## I FIGURE N° 7 I

Évolutions journalières du RR après une exposition à un percentile de température - Méta-analyse - RR par rapport à une température médiane



## I TABLEAU N° 6 I

RR cumulé sur 0-3 jours et 0-10 jours après une exposition à un percentile de température - Méta-analyse ([IC 95%])

	RR cumulé sur 0-3 jours	RR cumulé sur 0-10 jours
P1 vs P50	1,00 [0,94 :1,07]	<b>1,10 [1,00 :1,22]</b>
P25 vs P50	0,97 [0,94 :0,99]	1,00 [0,96 :1,04]
P75 vs P50	<b>1,05 [1,02 :1,09]</b>	1,03 [0,97 :1,10]
P95 vs P50	<b>1,12 [1,07 :1,17]</b>	<b>1,12 [1,02 :1,23]</b>
P99 vs P50	<b>1,16 [1,09 :1,24]</b>	<b>1,20 [1,06 :1,42]</b>
P99,5 vs P50	<b>1,17 [1,09 :1,26]</b>	<b>1,23 [1,07 :1,42]</b>
P99,9vs P50	<b>1,20 [1,08 :1,33]</b>	<b>1,31 [1,09 :1,57]</b>

## I TABLEAU N° 7 I

### RR cumulé sur 0-3 jours et 0-10 jours après une exposition au percentile 99 - Détail par zone - Estimateur recentré

Zones	TMM		RR au percentile 99 comparé au percentile 50			
	°C	Percentile	Température correspondant au P50 (°C)	Température correspondant au P99 (°C)	RR cumulé sur 3 jours	RR cumulé sur 10 jours
Fort-de-France	27,4 [24,1 :28,1]	57 [12 :78]	27,2	29,5	1,16 [1,08 :1,24]	1,24 [1,04 :1,48]
Pointe-à-Pitre	25,7 [25,3 :27,4]	29 [22 :66]	26,8	29,4	1,17 [1,10 :1,25]	1,29 [1,10 :1,53]
Cayenne	27,5 [25,9 :28,5]	77 [10 :99]	27,1	28,5	1,14 [1,06 :1,22]	1,10 [0,93 :1,31]
St-Denis de La Réunion	23,8 [23,2 :26,0]	41 [33 :70]	24,6	28,4	1,16 [1,08 :1,25]	1,23 [1,03 :1,45]
Méta-analyse					1,16 [1,09 :1,24]	1,20 [1,06 :1,42]

Les différentes analyses de sensibilité réalisées sur la saisonnalité ne modifient pas les résultats (Annexe 4). De même, les résultats sont peu sensibles aux choix du nombre et du positionnement des nœuds, sauf au P99,9 (Annexe 5).

Enfin, l'introduction d'un terme spécifique pour couvrir l'épidémie de chikungunya dans le modèle de La Réunion ne modifie pas les résultats. À titre d'illustration, le RR associé au percentile 99 en référence au percentile 50, cumulé sur 0-3 jours, est de 1,19 [1,05 :1,36] lorsqu'on introduit ce terme, vs 1,20 [1,06 :1,36] lorsqu'on se contente du terme de saisonnalité.

### 4.3 Influence de l'humidité sur la relation température-mortalité

La prise en compte de l'humidité ne modifie pas la forme de la relation entre la température et la mortalité, ni les ordres de grandeur des RR associés (Tableau 8 et Annexe 6). On note des RR légèrement plus faibles lorsque le modèle est ajusté sur l'humidité relative moyenne, sans que cela ne soit significatif.

## I TABLEAU N° 8 I

### RR cumulé sur 0-3 jours et 0-10 jours après une exposition à un percentile de température, modèle avec la température seule, et modèle ajusté sur l'humidité relative moyenne - Meta-analyse ([IC 95%])

	RR sur 0-3 jours		RR sur 0-10 jours	
	Modèle sans l'humidité	Modèle avec l'humidité moyenne	Modèle sans l'humidité	Modèle avec l'humidité moyenne
P1 vs P50	1,00 [0,94 :1,07]	1,01 [0,95 :1,08]	1,10 [1,00 :1,22]	1,09 [0,99 :1,21]
P25 vs P50	0,97 [0,94 :0,99]	0,97 [0,94 ; 1,00]	1,00 [0,96 :1,04]	1,00 [0,96 :1,05]
P75 vs P50	1,05 [1,02 :1,09]	1,05 [1,01 :1,09]	1,03 [0,97 :1,10]	1,03 [0,96 :1,10]
P95 vs P50	1,12 [1,07 :1,17]	1,11 [1,05 :1,16]	1,12 [1,02:1,23]	1,11 [1,00 :1,22]
P99 vs P50	1,16 [1,09 :1,24]	1,14 [1,06 :1,22]	1,20 [1,06 :1,42]	1,19 [1,05 :1,34]
P99.5 vs P50	1,17 [1,09 :1,26]	1,15 [1,06 :1,25]	1,23 [1,07 :1,42]	1,22 [1,07 :1,39]
P99.9 vs P50	1,20 [1,08 :1,33]	1,18 [1,06 :1,31]	1,31 [1,09 :1,57]	1,29 [1,10 :1,52]

## 4.4 Fraction de la mortalité attribuable à des températures non-optimales

Sur l'ensemble des zones d'études, entre 2000 et 2015, 3 380 décès [851 : 5 632] sont attribués à des températures non-optimales, représentant 5% de la mortalité totale. On note des variations importantes entre les zones, mais associées à des intervalles de confiance très larges (Tableau 9). Les températures extrêmes contribuent de manière équivalente à cette mortalité, avec 335 [171 :841] décès attribuables à des températures dépassant le percentile 90, et 254 [89 :403] à des températures plus faibles que le percentile 10.

Enfin, si l'on considère la TMM comme référence pour définir les notions de chaud et de froid, 74% de l'impact total des températures peut être attribué à la chaleur (Tableau 10). Cette prépondérance de la chaleur est observée dans l'ensemble des zones à l'exception de Cayenne.

**ITABLEAU N° 9 I**

### Fraction de la mortalité attribuable à des températures non-optimales, et à des températures extrêmes chaudes et froides

	Fort-de-France	Pointe-à-Pitre	Cayenne	St-Denis de La Réunion	Total
Fraction de la mortalité attribuable à des températures différentes de la TMM (%)	2,4 [-2,9 :7,6]	6,9 [0,5 :13,1]	2,4 [-4,2 :9,6]	6,2 [-0,5 :12,5]	5,0 [1,3 :8,4]
Nombre de décès attribuables à des températures différentes de la TMM	488 [-582 :1 517]	1 812 [138 :3 439]	213 [-301 :684]	867 [-52 :1 735]	3 380 [851 :5 632]
Fraction de la mortalité à des températures >P90 (%)	0,64 [0,12 :1,09]	0,50 [0,09 :0,88]	0,39 [-0,14 :0,82]	0,35 [-0,05 :0,70]	0,50 [0,26 :0,72]
Nombre de décès attribuables à des températures >P90	127 [24 :218]	132 [25 :229]	28 [-10 :59]	48 [-6 :97]	335 [171 :481]
Fraction de la mortalité à des températures <P10 (%)	0,16 [-0,26 :0,54]	0,55 [0,07 :0,99]	0,11 [-0,30 :0,43]	0,50 [-0,02 :0,96]	0,38 [0,13 :0,60]
Nombre de décès attribuables à des températures <P10	32 [-53 :108]	144 [19 :259]	8 [-21 :30]	70 [-3 :133]	254 [89 :403]

**I TABLEAU N° 10 I**

### Fraction de la mortalité attribuable à la chaleur et au froid en prenant la TMM comme référence

	Fort-de-France	Pointe-à-Pitre	Cayenne	St-Denis de La Réunion	Total
Fraction de la mortalité à la chaleur (températures>TMM)	1,8 [-0,9 :4,5]	5,8 [0,3 :11,1]	0,7 [-0,5 :1,7]	4,3 [-0,6 :9,1]	3,8 [1,2 :6,1]
Nombre de décès attribuables à des températures > la TMM	364 [-183 :888]	1 508 [72 :2 895]	47 [-35 :122]	597 [-90 :1 260]	2 516 [775 :4 088]
Fraction de la mortalité au froid (températures<TMM)	0,6 [-2,0 :3,2]	1,2 [0,3 :2,1]	2,3 [-3,8 :7,9]	2,0 [0,3 :3,4]	1,3 [0,1 :2,3]
Nombre de décès attribuables à des températures < la TMM	123 [-399 :628]	305 [66 :544]	166 [-266 :562]	270 [37 :475]	864 [75 :1 543]

## 5. DISCUSSION

### 5.1 Synthèse des résultats

Cette étude confirme l'existence d'un effet de la température sur la mortalité dans les Drom. La forme générale de la relation, et les ordres de grandeur des RR, sont cohérents avec ceux observés dans d'autres zones du monde [10, 11] et en France métropolitaine [2], à savoir une augmentation non-linéaire de la mortalité vers les températures inhabituelles. Cet effet est plus marqué vers les températures les plus élevées, dont l'effet sur la mortalité est immédiat.

Les TMM varient de 23,8°C [23,2 :26,0] à St-Denis de La Réunion à 27,5°C [25,9 :28,5] à Cayenne. Elles sont toutes associées à des intervalles de confiance larges, couvrant une majorité de la distribution des températures. Ces valeurs semblent cohérentes avec celles reportées dans d'autres climats tropicaux (avec la réserve que les TMM sont peu présentées avec une incertitude dans la littérature, ce qui limite la comparaison des résultats retrouvés) [10, 11]. Ces résultats interrogent plus largement sur la signification réelle de la TMM, en particulier sous des climats avec des distributions peu étendues de la température, et la pertinence d'utiliser cette valeur comme référence pour la définition des nombres de cas attribuables, comme cela est classiquement fait dans la littérature.

Sur l'ensemble des zones d'études, entre 2000 et 2015, 3 380 décès [851 : 5 632] sont attribués à des températures non-optimales (différentes de la TMM), représentant 5% de la mortalité totale. La majorité de cet impact peut être interprétée comme un effet de la chaleur si l'on considère la TMM comme référence. Les températures supérieures aux percentiles 90 représentent environ 10% de cet impact total de la température.

Il n'a pas été identifié dans la littérature d'études épidémiologiques détaillant les effets de la température sur la mortalité dans des contextes similaires à ceux étudiés ici. Plusieurs études multicentriques intègrent des villes brésiliennes, dont certaines pourraient s'approcher en termes de climat de Cayenne [11, 33]. Ces études soulignent des formes de relations similaires à celle observées ici, mais la comparaison des RR est délicate compte-tenu des choix de calcul du RR propre à chaque étude (incrément de température, et nombre de retards pris en compte). Ainsi, au Brésil, le RR cumulé sur 0-21 jours pour une température au percentile 99, comparée au percentile 90, est de 1,03 [1,01 :1,06]. A partir des résultats de notre étude, le RR recentré équivalent pour Cayenne est de 1,14 [1,03 :1,26] (et le RR local non recentré de 1,05 [0,74 :1,48]), i.e. un ordre de grandeur similaire. À Porto Rico, une augmentation de la mortalité en lien avec la chaleur a été documentée, en particulier pour des causes cardiovasculaires et cérébraux-vasculaires, mais les résultats ne permettent pas une comparaison directe avec notre étude [34].

Il n'a pas été observé d'influence de l'humidité sur la relation température-mortalité, un résultat contre-intuitif sur le plan physiologique [13], mais cohérent avec les connaissances épidémiologiques actuelles [35, 36].

Par rapport aux résultats obtenus sur les villes de France continentale, plusieurs spécificités se dessinent :

- les formes de relations observées aux percentiles faibles sont similaires à celles observées en métropole et compatibles avec des effets directs et indirects du froid (RR faibles, dilués dans le temps). Les ordres de grandeur sont toutefois très inférieurs, et un effet important n'est retrouvé qu'au percentile 1 ;
- les formes de relations observées aux percentiles élevés sont similaires à celles observées en métropole, mais sans observation d'un effet moisson suivant

l'augmentation immédiate de la mortalité. Les RR cumulés sur 0-3 jours sont toujours inférieurs aux RR cumulés sur 0-10 jours. Ils sont légèrement plus faibles que ceux observés en métropole. Ainsi, sur la période 2000-2010, dans 18 villes métropolitaines, le RR cumulé sur 0-3 jours suivant une exposition au percentile 99,9 de la distribution des températures était de 1,8 [1,6 :2,0] en intégrant août 2003, et de 1,40 [1,34 :1,46] en excluant août 2003. Dans les Drom, le RR cumulé sur 0-3 jours suivant une exposition au percentile 99,9 de la distribution des températures est de 1,20 [1,08 :1,33] ;

- la fraction de la mortalité attribuable à la chaleur est plus importante dans les Drom qu'en métropole (3,8% de la mortalité attribuable à des températures supérieures à la TMM dans les Drom, vs 1,2% dans 18 villes métropolitaines). Cette différence est principalement le reflet d'un nombre de jours supérieurs à la TMM plus important dans les Drom.

## 5.2 Limites et perspectives

Une des limites de cette étude a été la prise en compte de zones d'études relativement étendues et hétérogènes du point de vue de l'urbanisation. Ceci était nécessaire pour atteindre des tailles de population suffisantes pour l'analyse statistique, mais induit des erreurs dans l'évaluation de l'exposition moyenne à la température sur la zone. Cet effet est probablement plus marqué à St-Denis de La Réunion, avec des variations importantes de températures à l'intérieur de la zone d'étude, liée à la topographie locale.

Il n'a pas non plus été possible d'inclure la pollution de l'air comme facteur de confusion de l'étude, compte-tenu de la difficulté à créer un indicateur homogène d'exposition à la pollution dans chaque zone, et pour l'ensemble de la période. Il existe dans la littérature des indications d'une synergie entre pollution de l'air et température [37]. Toutefois, des analyses de sensibilité réalisées sur les villes métropolitaines avaient mis en évidence une influence limitée de la pollution de l'air tant sur la forme de la relation température-mortalité que sur les RR associés [2].

Il n'a pas été observé de canicule, selon la définition du Sacs, pendant la période d'étude, sauf quelques jours à Saint-Denis de La Réunion, et il n'a pas été possible de tester l'influence d'une variable canicule dans les modèles. Cependant, l'existence d'un effet additionnel des canicules sur la relation température-mortalité semble n'être observée que pendant des événements très exceptionnels et la relation température-mortalité intégrant les effets retardés comme c'est le cas ici est suffisante pour modéliser la majorité des situations [38, 39].

Cette première analyse s'est concentrée sur la température moyenne et l'humidité. D'autres paramètres susceptibles d'avoir un effet sur la mortalité, comme par exemple les variations intra-journalières de températures (différence entre la température minimale et maximale) [40], n'ont pas été pris en compte.

Enfin, l'influence de paramètres démographiques et sociaux n'a pas été explorée, compte-tenu de la faible hétérogénéité des résultats ne permettant pas de réaliser une méta-régression, et des faibles effectifs de décès par zone ne permettant pas des analyses par âge. Ces questions pourront être approfondies dans de futures études, notamment lorsqu'un indice de défaveur social sera disponible dans les Drom.

Des travaux similaires seront reconduits à l'avenir sur ces zones, afin d'intégrer Mayotte, de suivre les évolutions de la relation entre la température et la mortalité ou de tester d'autres variables météorologiques. La production de connaissance pour Mayotte est d'autant plus importante que des facteurs démographiques et sociaux assez différents des autres zones pourraient y influencer la forme de la relation température-mortalité. Enfin, un suivi dans le

temps de l'évolution de cette relation est nécessaire, compte-tenu des évolutions climatiques, mais également démographiques et sociales [41].

### 5.3 Implications en terme de santé publique

Les résultats confirment une bonne acclimatation de la population au climat local, illustrée par la large incertitude retrouvée autour de la TMM. Ils mettent également en évidence une augmentation rapide du risque de décès lorsque la température atteint des valeurs inhabituelles, en particulier vers les percentiles élevés. Au vu de la forme de la relation observée entre la température et la mortalité, ainsi que des projections climatiques pour ces régions, il n'est pas à exclure qu'à l'avenir des épisodes de très fortes chaleurs se traduisent par des impacts sur la santé importants. De plus, la part de personnes âgées augmente nettement dans certains Drom, qui demeurent par ailleurs marqués par un taux de pauvreté plus fort qu'en métropole [25, 42]. Ces territoires sont également marqués par un faible nombre d'aidants familiaux et un sous équipement en établissements d'hébergement pour personnes âgées comme en offre de soins formels à domicile. Les conditions de logement y sont également nettement moins favorables qu'en métropole, avec d'importants enjeux concernant l'habitat indigne, précaire ou spontané [43]. L'habitat insalubre concernerait 12% des logements [43]. Ce type d'habitat peut aggraver la vulnérabilité à la chaleur en rendant difficile la limitation de l'exposition dans le logement.

Enfin, à l'horizon 2030, la Martinique et la Guadeloupe pourraient être parmi les départements les plus âgés de France, avec une pyramide des âges très déséquilibrée, et dans un contexte de forte précarité sociale [41]. Ces facteurs pourraient contribuer à amplifier l'impact futur de la chaleur.

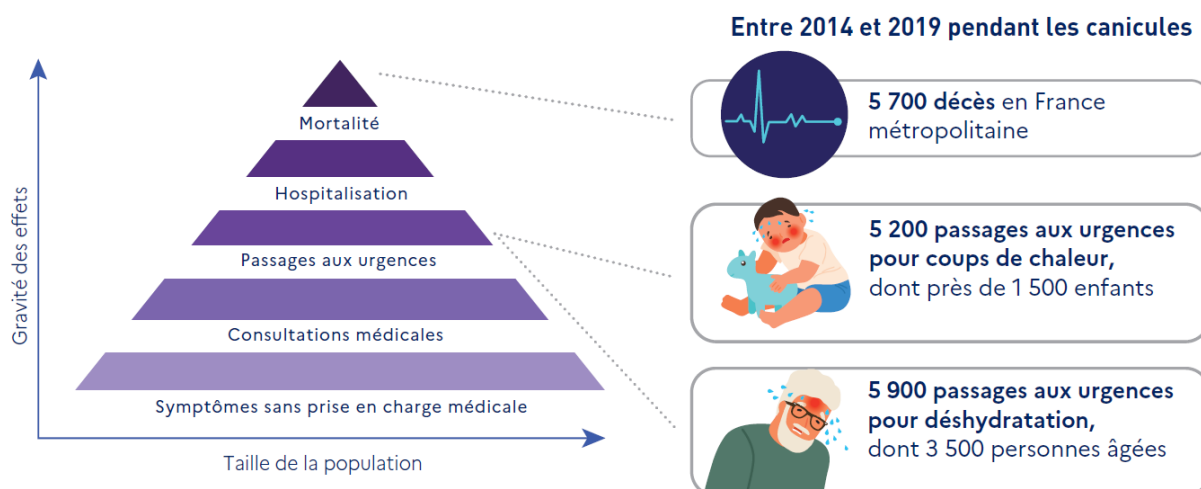
Actuellement, les températures non-optimales représentent environ 5% de la mortalité totale, principalement via un effet de la chaleur et de la chaleur non extrême. On retrouve le même équilibre qu'en métropole, à savoir que la chaleur modérée a pour l'instant un impact plus important que la chaleur extrême, car elle correspond à un risque plus faible mais plus fréquent. Il est possible que cet équilibre change dans les prochaines années compte-tenu de l'augmentation du nombre de jours très chauds, une tendance qui a déjà été documentée dans la littérature au Japon par exemple [44].

Enfin, cette étude s'est concentrée uniquement sur la mortalité. La chaleur est également associée à une augmentation du recours aux soins (passages aux urgences, recours à la médecine libérale) pour diverses causes [45], ainsi qu'à des effets sur la santé au travail, la capacité cognitive, ou encore la santé périnatale (Figure 8).

L'ensemble de ces éléments plaident en faveur de la mise en place d'une prévention des effets de la température dans les Drom, et de l'intégration de cette dimension sanitaire dans les plans locaux d'adaptation au changement climatique.

## I FIGURE N° 8I

### Pyramide des effets de la chaleur sur la santé et impacts observés en France métropolitaine entre 2014 et 2019



Cette prévention/adaptation doit considérer plusieurs situations :

- un effet faible des températures non-optimales, qu'elles soient chaudes ou froides ;
- un effet des températures chaudes, dont on s'attend à ce qu'il devienne de plus en plus récurrent dans les prochaines années ;
- la possibilité d'observer un jour des vagues de chaleur nécessitant une réponse immédiate de la part des pouvoirs publics.

La réduction de l'impact des températures non-optimales passent par une amélioration des capacités de thermorégulation de la population, i.e. une amélioration de l'état de santé général de la population, et une réduction de la sédentarité.

Des mesures visant à réduire les expositions à des températures non optimales doivent également être développées. La climatisation ne peut être envisagée comme une solution unique et durable car elle 1) contribue aux inégalités sociales de santé, 2) limite l'acclimatation physiologique à la chaleur et 3) contribue aux émissions de gaz à effet de serre (GES) et à l'aggravation globale du problème. De plus, des travaux récents suggèrent que si la climatisation a permis de réduire l'influence de la température sur la mortalité dans certains pays, d'autres approches pourraient être aussi voire plus efficace. Au Japon ou aux États-Unis, où 80% de la population bénéficie de climatisation, la mortalité attribuable à la chaleur demeure importante. De plus, la climatisation n'expliquerait que 16 à 20% des diminutions du risque associé à la chaleur observé dans ces pays [46].

Des actions de fond doivent être considérées au niveau de l'urbanisme, du bâti, ou de l'organisation du travail. Des messages de prévention et de sensibilisation de la population aux risques liés à la chaleur devraient être développés. Ces actions doivent prendre en compte les évolutions démographiques à venir. Par exemple, une réflexion spécifique sur l'adaptation des structures d'accueil des personnes âgées ou en situation de handicap devrait être menée en amont de leur implantation. Par ailleurs, il existe des savoir-faire historiques locaux concernant l'adaptation à la chaleur qui pourraient être valorisés.



Des messages ciblant des besoins de prévention spécifiques pourraient également être développés, à l'exemple de ce qui a été recommandé à Hawaï suite à l'observation d'effets sanitaires graves associés à des activités de loisirs de plein air, des activités touristiques, et des entraînements militaires [47] ; comme éviter le coup de chaleur d'effort, quels sont les bons comportements à avoir sur les plages, ou quels conseils pour refroidir une victime d'hyperthermie dans une zone isolée, en attendant les secours. Des conseils devraient également être développés pour les travailleurs, d'autant qu'il existe dans certaines territoires un fort taux de main d'œuvre peu qualifiée, potentiellement en situation d'illégalité et avec une vulnérabilité accrue à la chaleur.

Enfin, la question de mettre en place un système d'alerte canicule doit être débattue. Même si des canicules n'ont *a priori* pas été à l'origine d'une surmortalité importante dans les Drom par le passé, des épisodes plus dangereux pourraient survenir sous l'effet du changement climatique. Il s'agit d'événements *a priori* très rares, mais avec un impact sur la santé potentiellement important. L'expérience de 2003 en France [48] a montré que le manque d'anticipation pouvait avoir des conséquences importantes. Or, une partie des décès liés aux canicules sont *a priori* évitables par des mesures assez simples relevant de l'adoption de comportements adaptés, de la formation des professionnels de santé, et de l'organisation de la prise en charge des personnes les plus vulnérables, toutes choses qui doivent être anticipées. Ainsi, si l'efficacité d'une prévention des effets de la chaleur fondée sur l'alerte n'est pas encore totalement démontrée, les systèmes d'alerte précoces et la communication ciblée sont identifiés comme des outils intéressants pour réduire les impacts sur la santé des situations les plus extrêmes [49]. Si cette option était retenue, il ne pourrait pas s'agir d'une transposition telle quelle du système d'alerte et des outils de prévention métropolitain ; des adaptations seraient nécessaires tant sur le volet de l'alerte, que sur les messages de prévention.

# Annexe 1. Descriptif des zones d'études

## A.1 Fort-de-France

### Caractéristiques climatiques

Les cinq communes de la zone d'étude Martinique (Fort-de-France, St-Joseph, Schœlcher, Lamentin et Ducos) font partie de la même zone climatique autour de la baie de Fort-de-France, côté Caraïbe de l'île.

Dans le détail, on peut distinguer une partie plaine-bord de mer et une partie haute à flanc de montagne. Typiquement, Lamentin et Ducos font partie de la plaine et la station de référence est celle de l'aéroport. St-Joseph est une commune d'altitude (300 à 350 m) et les 2 dernières communes (Fort-de-France et Schœlcher) ont un pied dans la mer et l'autre sur le relief.

Plusieurs stations météorologiques sont disponibles sur la zone. Lamentin a été sélectionné comme station de référence.

### Station météo de référence

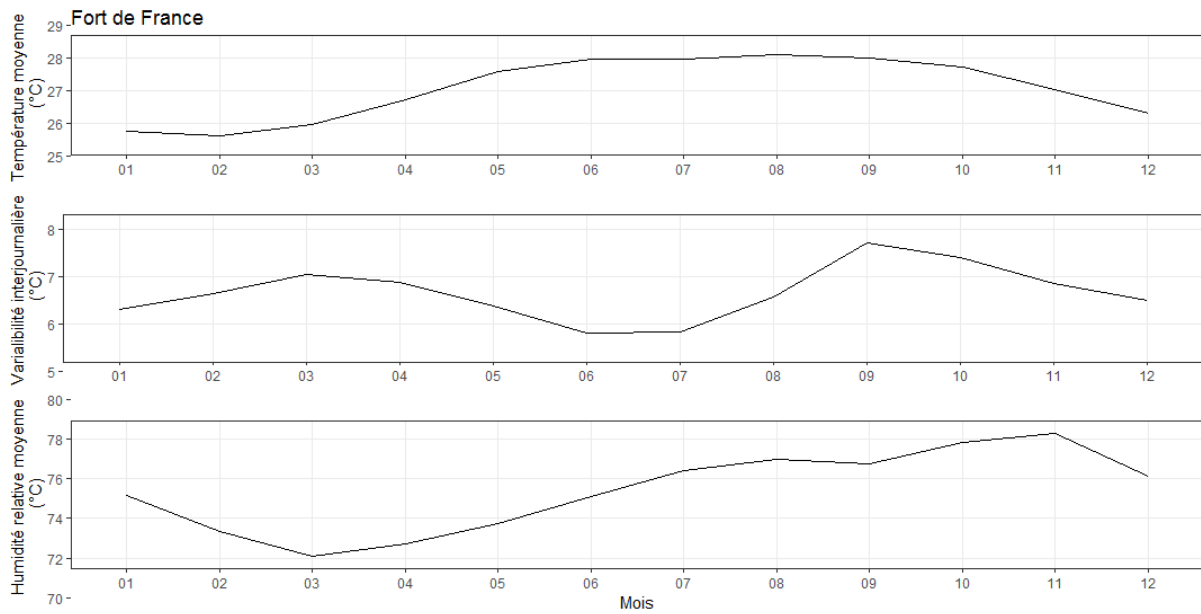
Nom	Code Météo-France	Type de station	Date de début	Latitude	Longitude	Altitude
Lamentin	97123004	0	01/01/1947	14°35'42"W	60°59'42"W	3m

### Caractéristiques démographiques

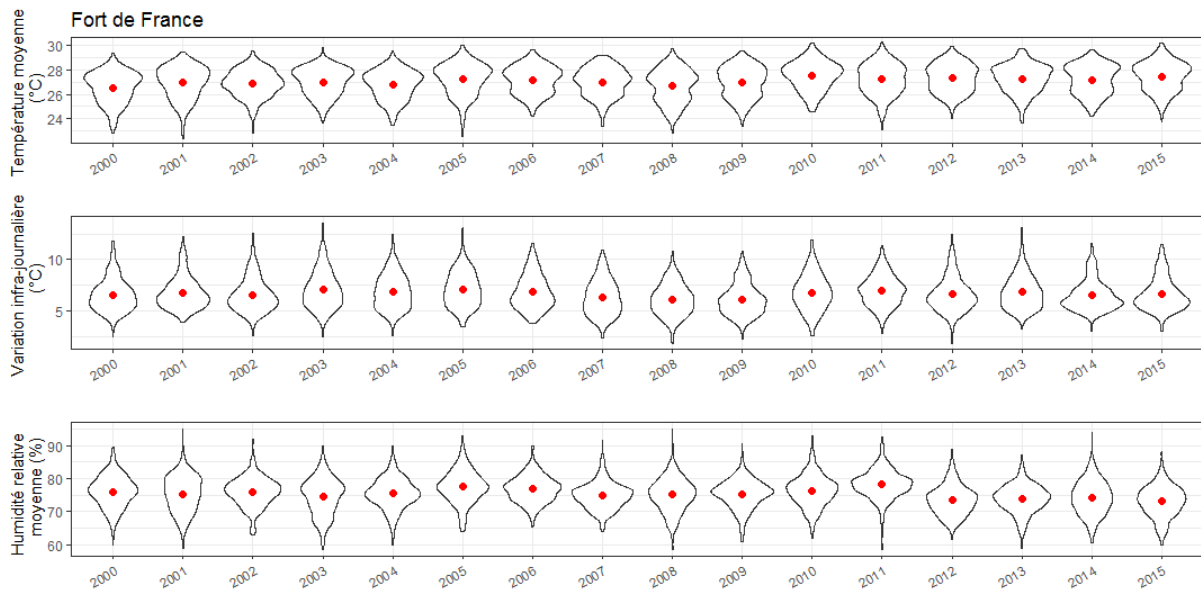
En 2015, la zone rassemblait 180 961 habitants, une population stable depuis 1999. La part des personnes âgées de 75 ans et plus a augmenté dans l'ensemble des communes.

Nom	Code Insee	Population 1999	Population 2015	Part des 75 ans et plus 1999 (%)	Part des 75 ans et plus 2015 (%)
Ducos	97207	15 233	16 907	3	5
Fort-de-France	97209	94 152	87 195	6	9
Lamentin	97213	35 488	39 346	4	5
Saint-Joseph	97224	15 759	16 716	4	6
Schœlcher	97229	20 839	20 797	5	7
Total		181 471	180 961	5	7

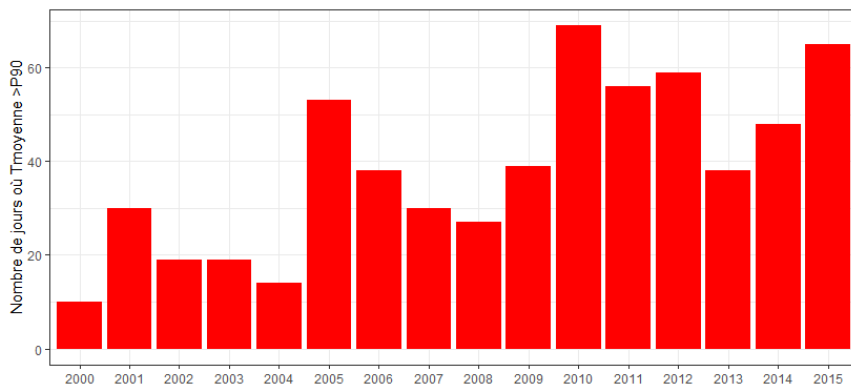
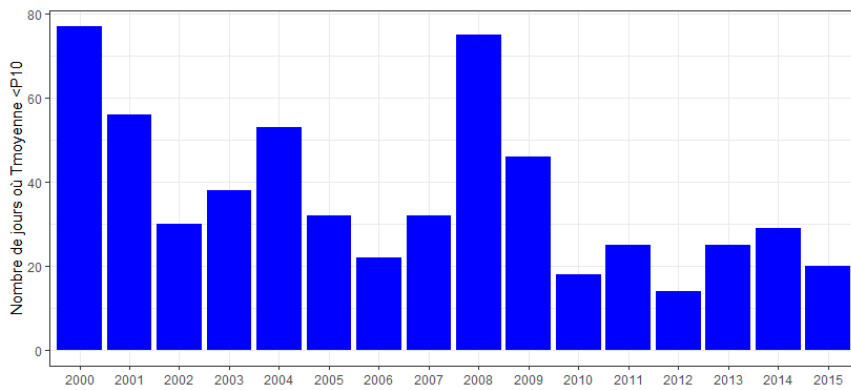
## Descriptif des données 2000-2015



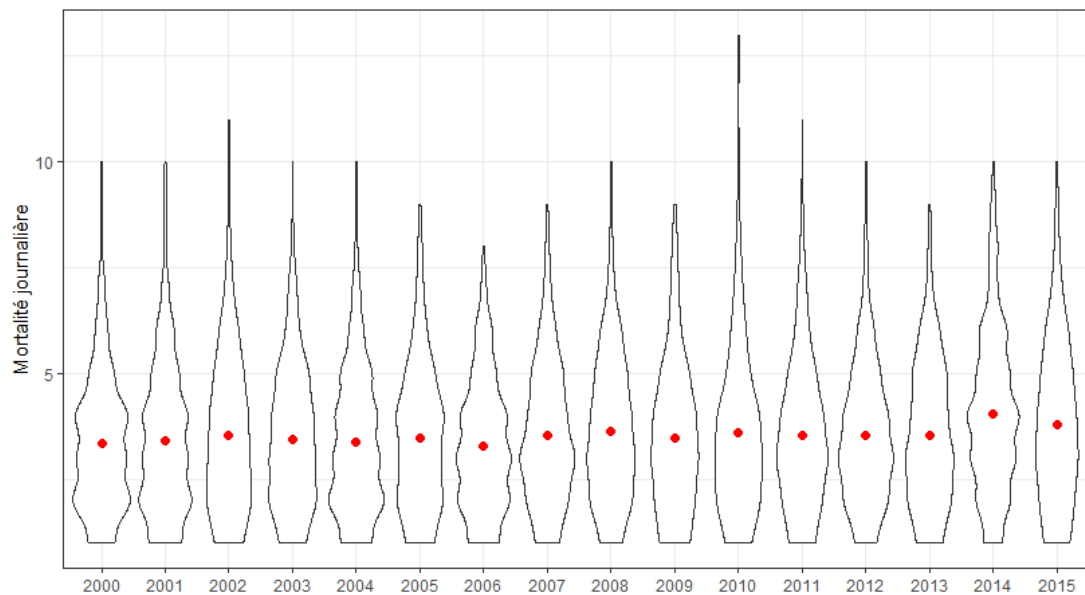
## Évolution mensuelle de la température moyenne journalière, de la variabilité inter journalière des températures, et de l'humidité relative moyenne



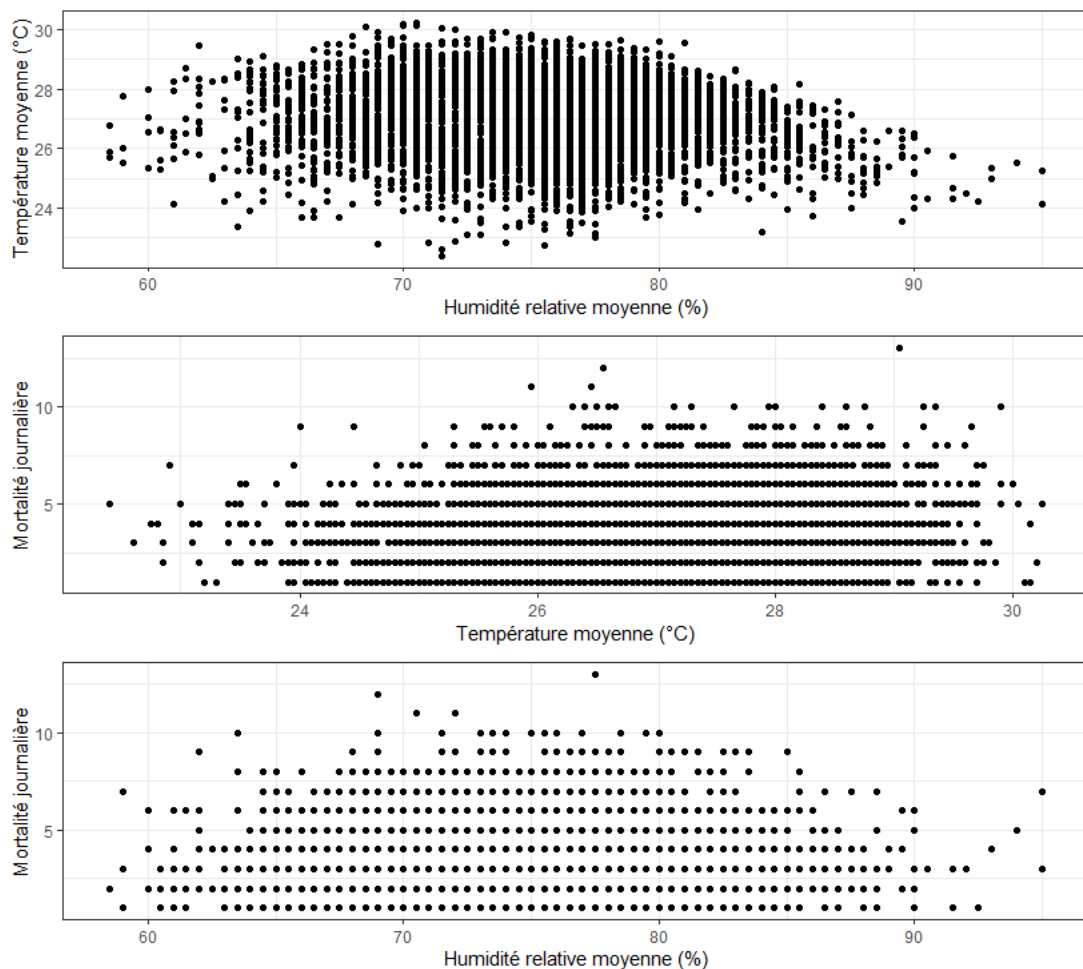
## Distribution annuelle de la température moyenne journalière, de la variabilité inter-journalière des températures, et de l'humidité relative moyenne



Évolution du nombre de jours par an avec une température moyenne inférieure au percentile 10, ou supérieure au percentile 90



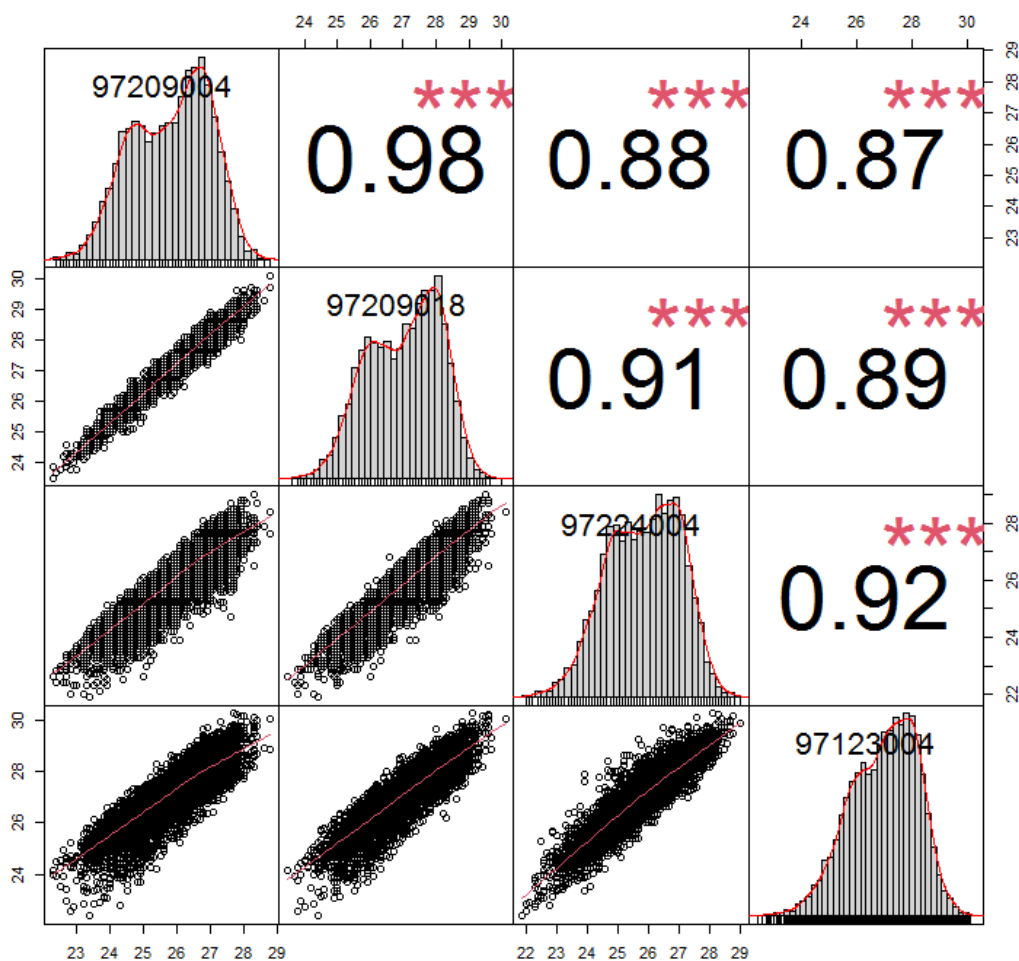
Distribution annuelle de la mortalité journalière



Température vs Humidité relative, Mortalité vs Température, Mortalité vs Humidité relative

### Autres stations de la zone avec des données sur la période

Nom	Code Météo-France	Latitude	Longitude
Fort-de-France Desaix	97209004	14°37'03"N	61°03'49"O
Fort-de-France Louis	97209018	14°35'53"N	61°03'57"O
Saint-Joseph Lezard	97224004	14°39'30"N	60°59'54"O



Corrélation des températures moyennes mesurées dans les différentes stations de la zone d'étude

## A.2 Pointe-à-Pitre

### A.2.1. Caractéristiques climatiques

Bien que présentant de grandes similitudes climatiques, les 11 communes étudiées sur l'île de la Guadeloupe peuvent être séparées en 5 zones du point de vue climatique.

#### *Le Lamentin, Baie-Mahault*

On trouve sur la plaine littorale une amplitude thermique moyenne de 7 à 9 °C et une température moyenne élevée. Ces valeurs diminuent progressivement avec l'altitude. L'amplitude n'est plus, au-dessus de 200 à 300 m d'altitude, que de 5 à 6 °C et de 3 à 5 °C vers les sommets. La moyenne est fortement affectée par l'altitude : 3 à 4 °C de moins sur les sommets qu'en plaine.

#### *Petit-Bourg*

Sur la « côte au vent », elle est caractérisée par une faible amplitude thermique. Sur la plaine littorale cette dernière a une moyenne de 5 à 6 °C pour une température moyenne élevée. Ces valeurs diminuent progressivement avec l'altitude. L'amplitude n'est plus au-dessus de 200 à 300 m d'altitude

que de 3 à 5 °C. La moyenne est fortement affectée par l'altitude (2 à 4 °C de moins au plus haut de la zone sur les flancs de la Soufrière).

*Pointe-à-Pitre, Les Abymes, Le Gosier, Morne-à-l'Eau, Sainte-Anne*

Avec une amplitude thermique moyenne de 7 à 9 °C et une température moyenne élevée, cette zone semble avoir un caractère plus continental que les autres en Grande-Terre où les vents plus présents ont tendance à tempérer le climat.

### *Petit-Canal*

L'ouest et le centre du nord Grande-Terre connaissent une amplitude thermique moyenne de 7 à 11 °C et une moyenne de température élevée. Il semble que cela soit dû à la proximité du Grand Cul-de-Sac marin qui se comporte quasiment comme une surface continentale. En effet, la géologie en y plateau diminue rapidement l'impact des vents. Ces derniers plus présents sur l'est de la zone, ont tendance à légèrement plus y tempérer le climat.

### *Saint-François, Le Moule*

Une amplitude thermique moyenne (de 5 à 7 °C) et une température moyenne élevée caractérise cette zone du fait de la faiblesse de l'altitude et de l'exposition importante aux vents d'alizé dominants. Toutefois l'effet de continentalité (augmentation de l'amplitude et baisse de la moyenne) se fait sentir progressivement en allant vers l'ouest dans la plaine Grippon.

Plusieurs postes météorologiques sont disponibles sur la zone. La station du Raizet a été sélectionnée comme station de référence pour les analyses.

## A.2.2. Station météo de référence

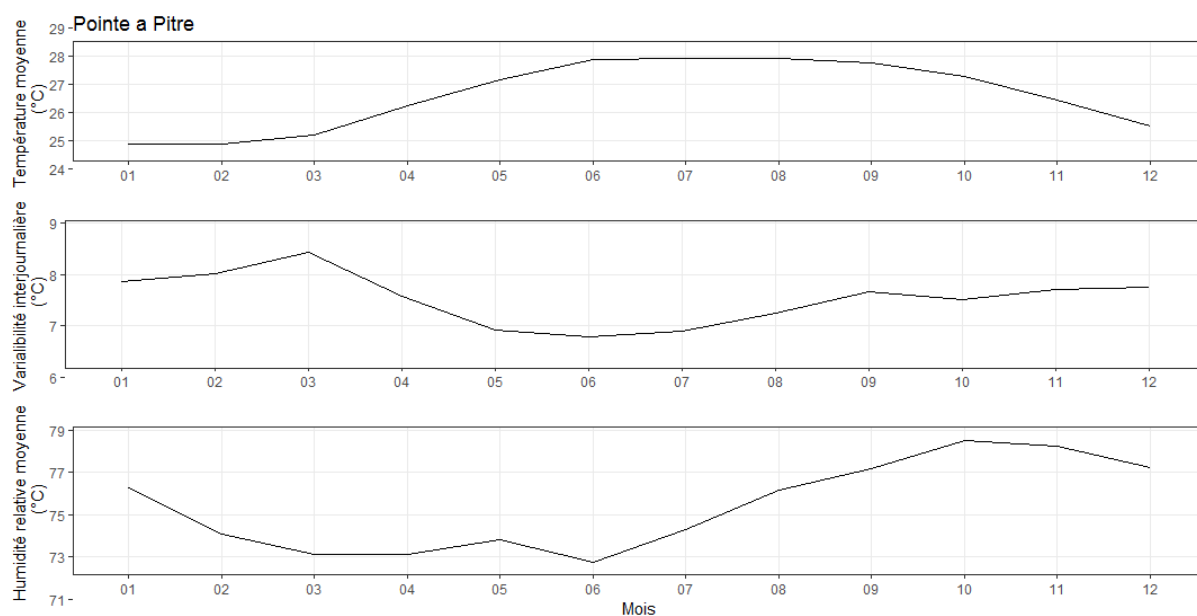
Nom	Code Météo-France	Type de station	Date de début	Latitude	Longitude	Altitude
Le Raizet	97101015	0	01/01/1950	16°15'48"N	61°30'54"W	11 m

## A.2.3. Caractéristiques démographiques

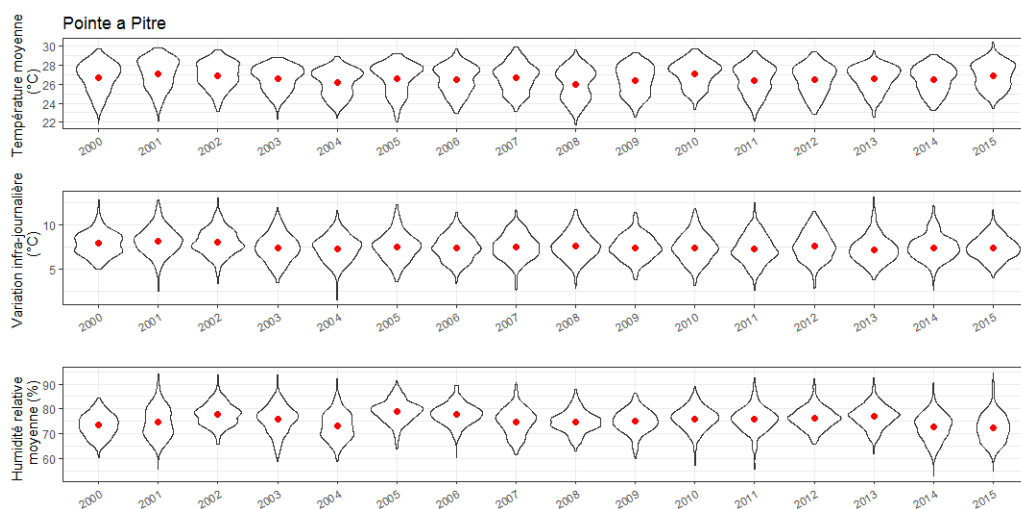
En 2015, la zone rassemblait 256 762 habitants, une population en augmentation depuis 2015. La part des personnes âgées de 75 ans et plus a augmenté dans l'ensemble des communes sur la période d'étude.

Nom	Code Insee	Population 1999	Population 2015	Part des 75 ans et plus 1999 (%)	Part des 75 ans et plus 2015 (%)
Les Abymes	97101	63 001	58 559	4	6
Baie-Mahault	97103	23 367	30 254	2	3
Le Gosier	97113	25 340	26 303	4	5
Lamentin	97115	13 414	15 904	4	6
Morne-à-l'Eau	97116	17 136	16 734	5	8
Le Moule	97117	20 825	22 381	5	6
Petit-Bourg	97118	20 510	23 196	4	5
Petit-Canal	97119	7 746	8 012	5	6
Pointe-à-Pitre	97120	20 931	16 421	6	10
Sainte-Anne	97125	10 674	14 797	3	4
St-François	97128	20 385	24 201	5	6
Total		243 329	256 762	4	6

## A.2.4. Descriptif des données 2000-2015

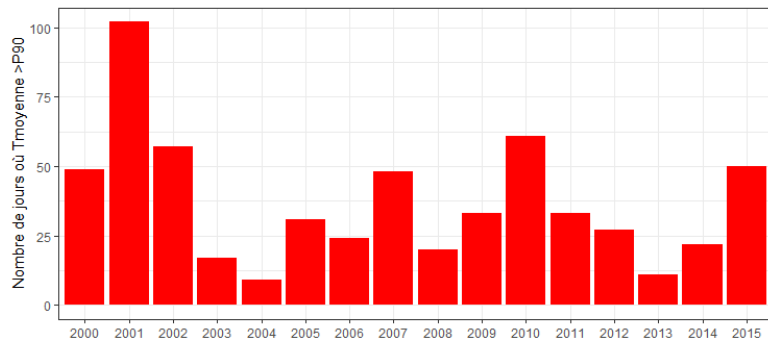
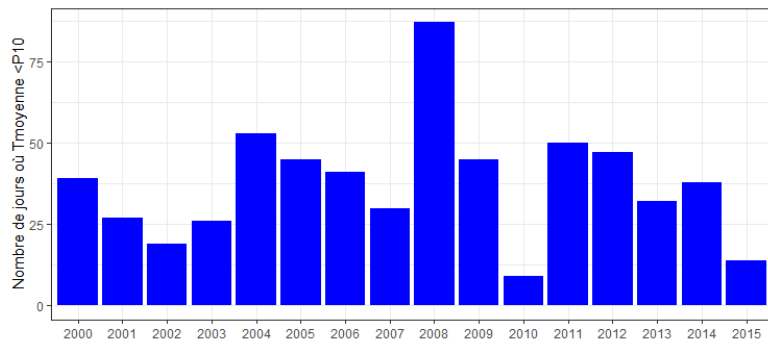


Évolution mensuelle de la température moyenne journalière, de la variabilité interjournalière des températures, et de l'humidité relative moyenne

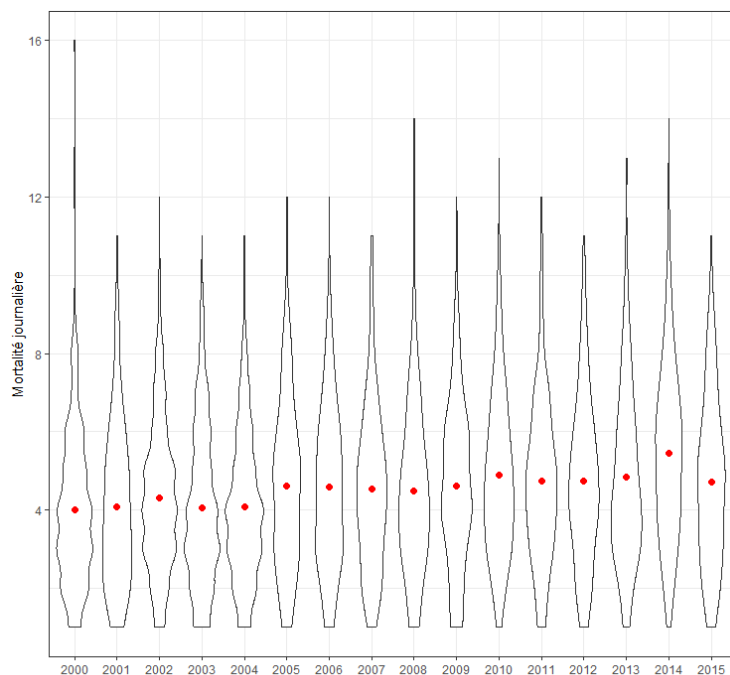


Distribution annuelle de la température moyenne journalière, de la variabilité interjournalière des températures, et de l'humidité relative moyenne

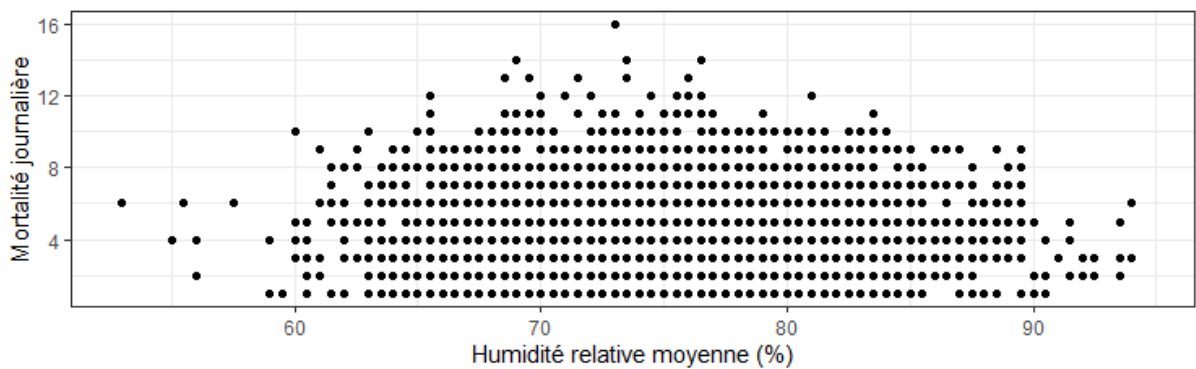
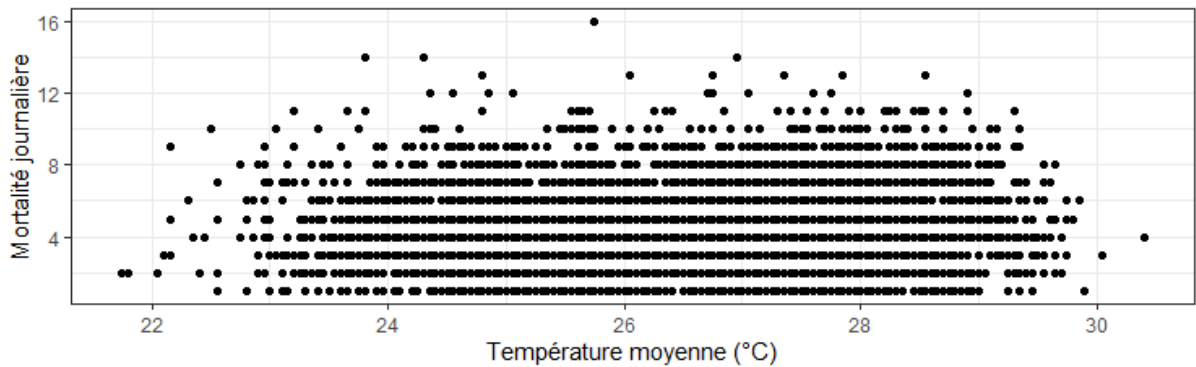
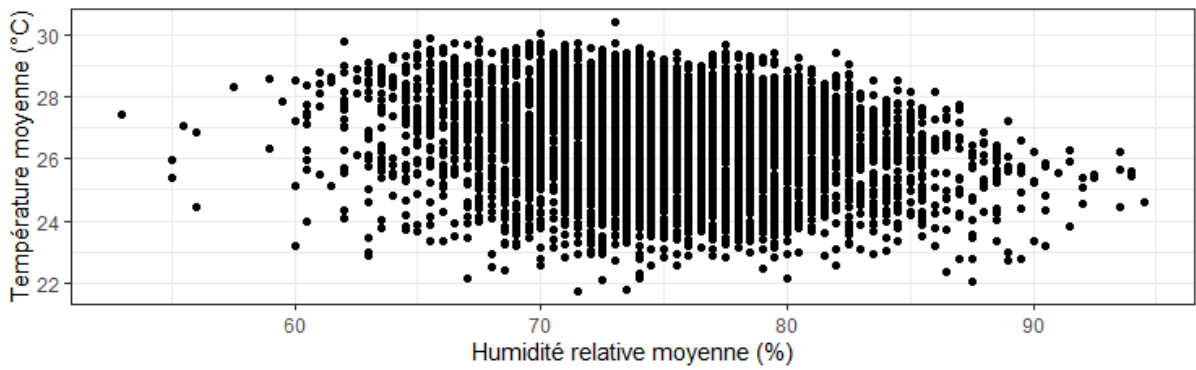




Évolution du nombre de jours par an avec une température moyenne inférieure au percentile 10, ou supérieure au percentile 90



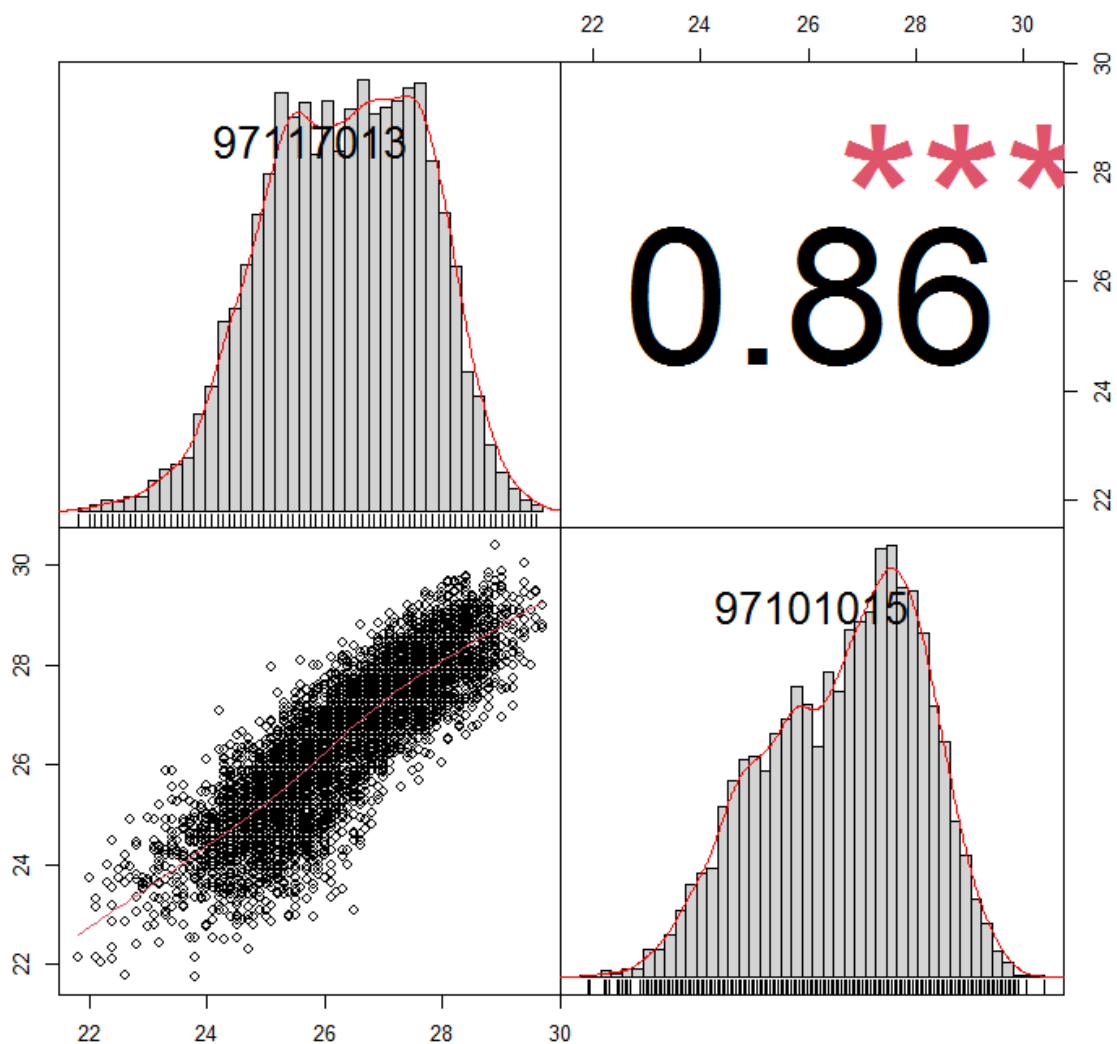
Distribution annuelle de la mortalité journalière



Température vs Humidité relative, Mortalité vs Température, Mortalité vs Humidité relative

#### A.2.5. Autres stations de la zone avec des données sur la période

Nom	Code Météo-France	Latitude	Longitude
Le Moule Laoreal	97117013	16°18'51"N	61°20'56"O



Corrélation des températures moyennes mesurées dans les différentes stations de la zone d'étude

### A.3. Cayenne

#### A.3.1. Caractéristiques climatiques

Les six communes étudiées en Guyane peuvent être séparées en deux zones aux climats relativement semblables se différenciant uniquement par leur proximité à la côte.

En bord de mer, l'influence du vent et la proximité de l'océan modèrent les températures. L'amplitude moyenne varie de 5,5 °C en saison des pluies à 8 °C en saison sèche.

Matoury, Roura et Montsinéry, situées à quelques kilomètres à l'intérieur des terres bénéficient moins de l'effet tampon de l'océan. Les amplitudes thermiques y sont un peu plus marquées : de 6,5 °C en saison des pluies (décembre à juin) à 9,5 °C en saison sèche (juillet à novembre). Plusieurs stations météorologiques sont disponibles sur la zone, la station de Matoury a été sélectionnée comme référence.

### A.3.2. Station météo de référence

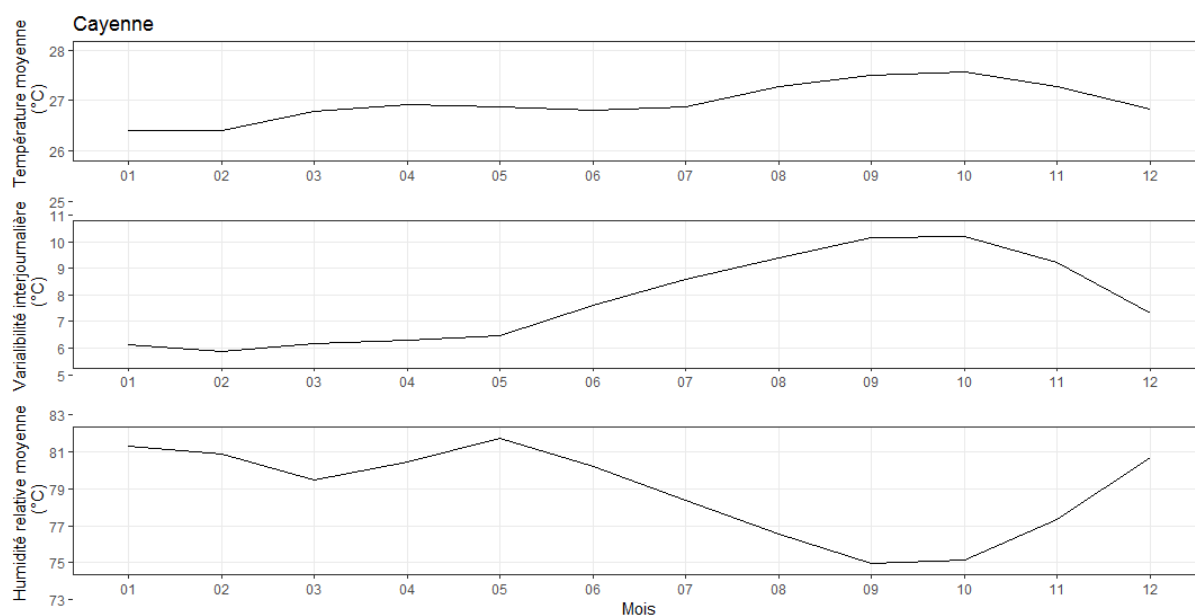
Nom	Code Météo-France	Type de station	Date de début	Latitude	Longitude	Altitude
Matoury	97307001	0	01/05/1946	4°49'18"N	52°21'54"W	4m

### A.3.3. Caractéristiques démographiques

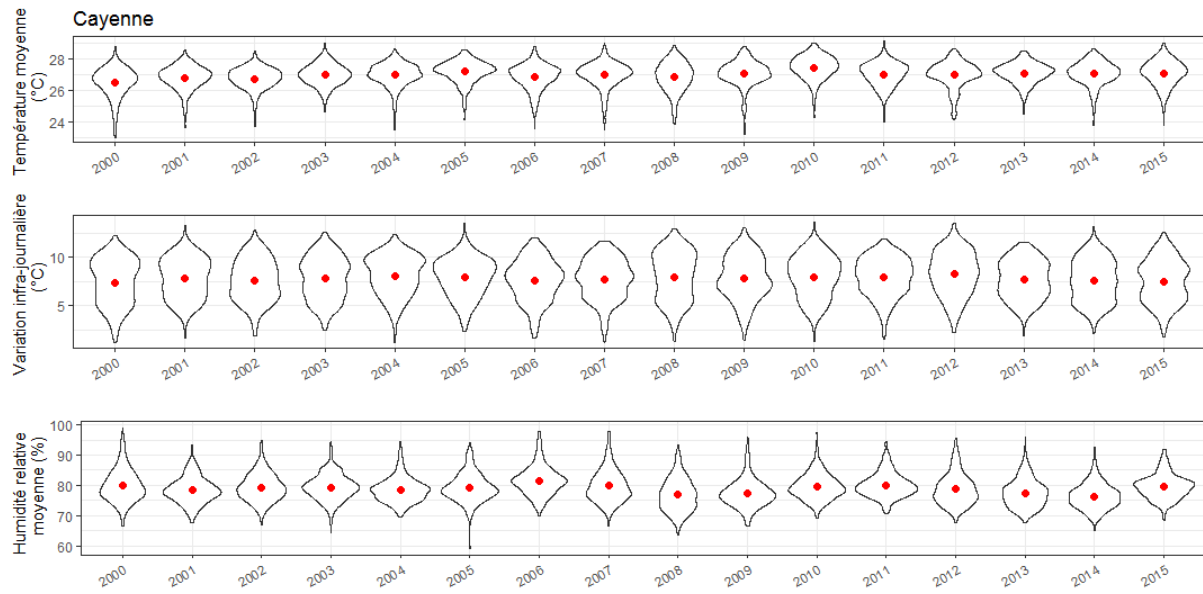
En 2015, la zone rassemblait 117 524 habitants, une population en augmentation depuis 1999. La part des personnes âgées de 75 ans et plus est stable dans l'ensemble des communes.

Nom	Code Insee	Population 1999	Population 2015	Part des 75 ans et plus 1999 (%)	Part des 75 ans et plus 2015 (%)
Cayenne	97302	50 395	55 765	3	3
Macouria	97305	5 049	9 620	1	1
Matoury	97307	18 037	28 089	1	1
Remire-Montjoly	97309	15 538	19 274	1	2
Roura	97310	1 781	2 575	1	1
Montsinery	97313	1 037	2 200	1	2
Total		91 837	117 524	2	2

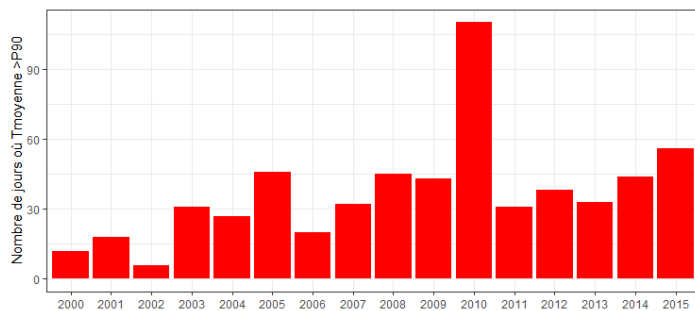
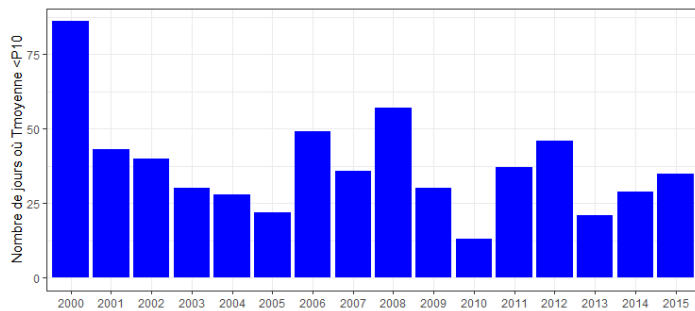
### A.3.4. Descriptif des données 2000-2015



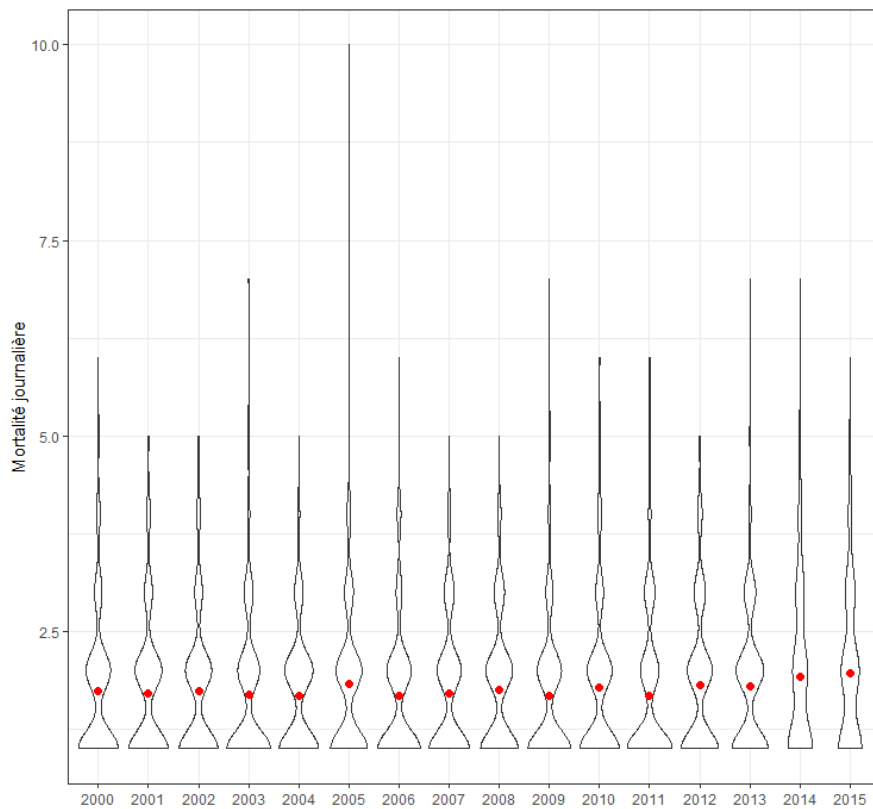
Évolution mensuelle de la température moyenne journalière, de la variabilité interjournalière des températures, et de l'humidité relative moyenne



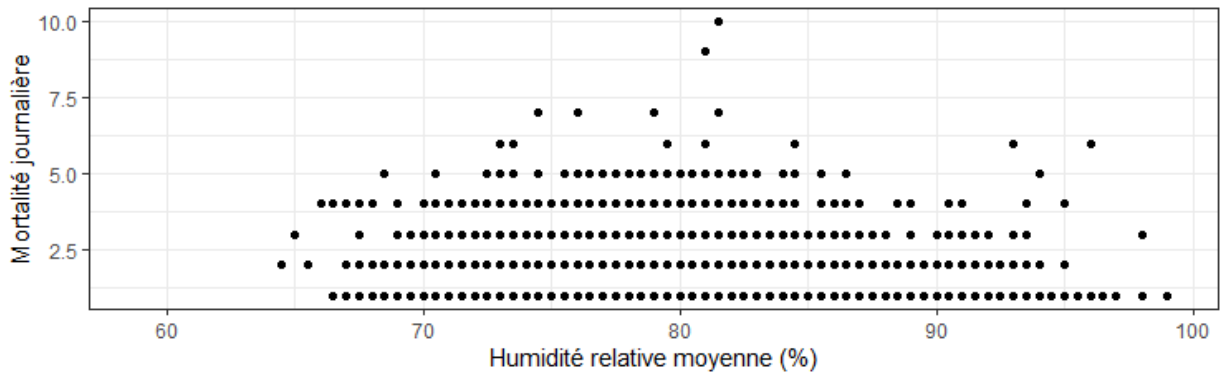
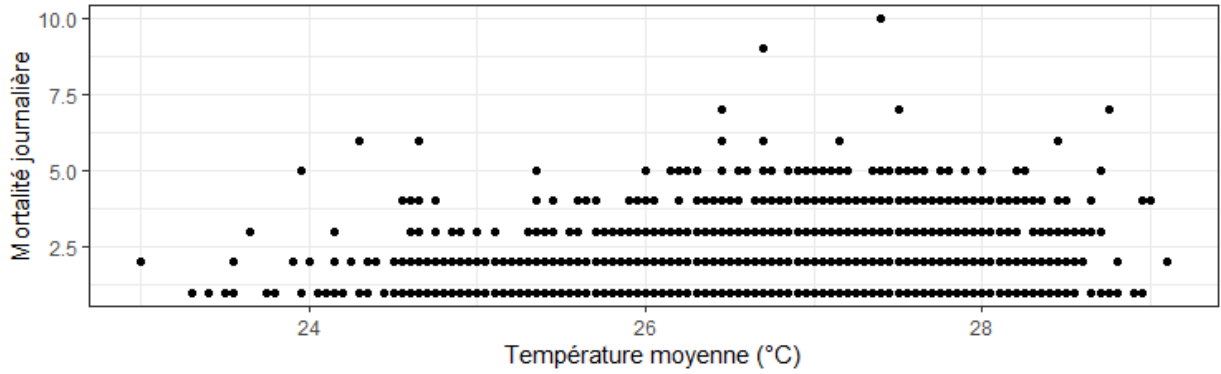
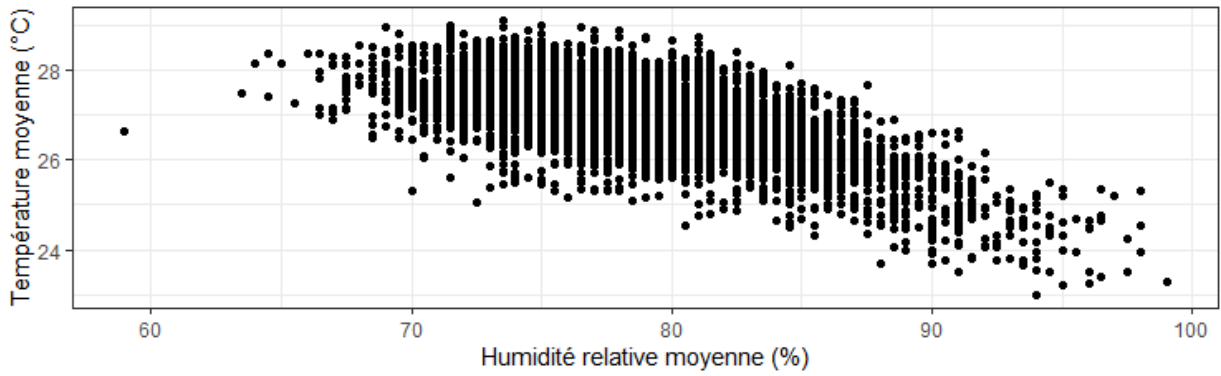
Distribution annuelle de la température moyenne journalière, de la variabilité interjournalière des températures, et de l'humidité relative moyenne



Évolution du nombre de jours par an avec une température moyenne inférieure au percentile 10, ou supérieure au percentile 90



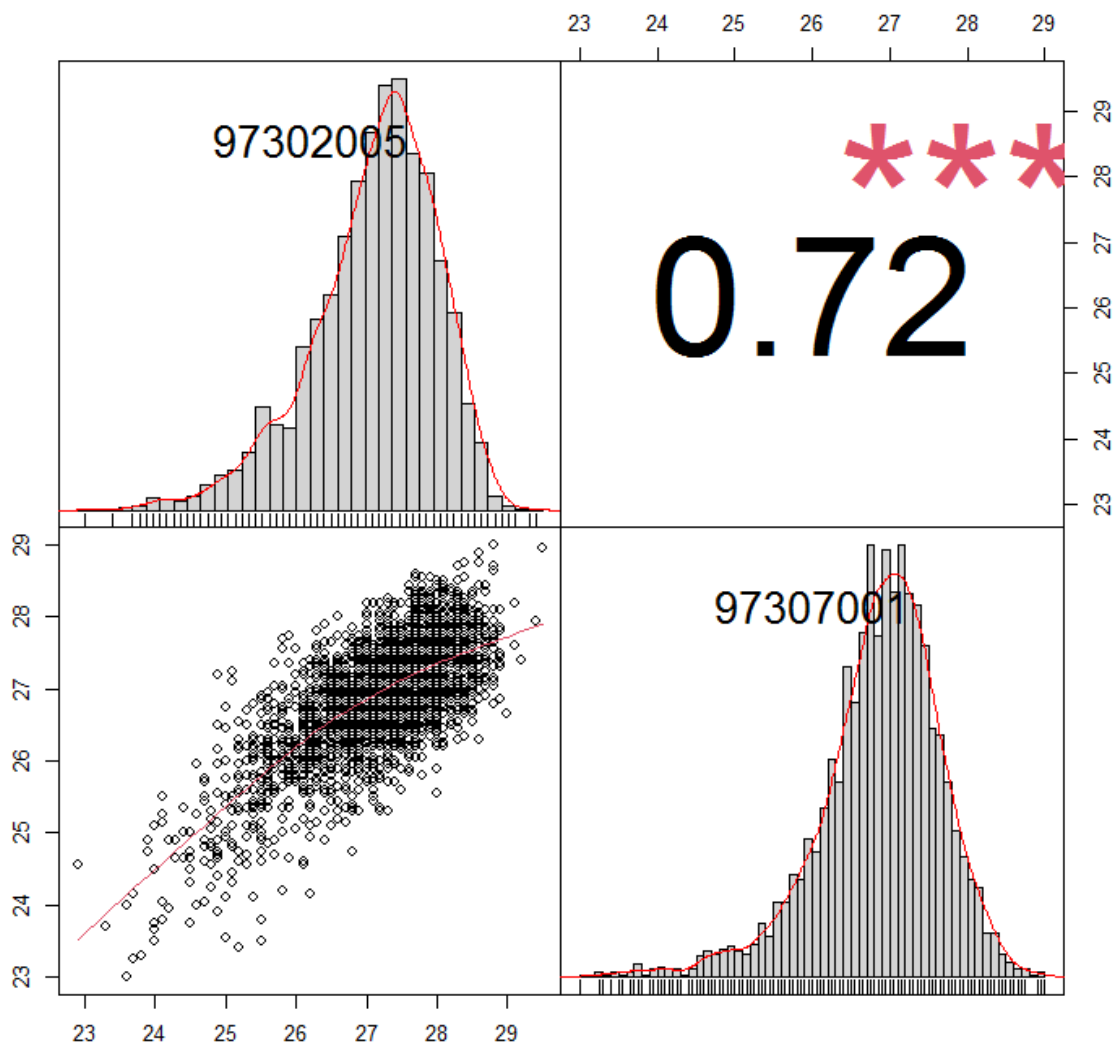
Distribution annuelle de la mortalité journalière



Température vs Humidité relative, Mortalité vs Température, Mortalité vs Humidité relative

### A.3.5. Autres stations de la zone avec des données sur la période

Nom	Code Météo-France	Latitude	Longitude
Cayenne Suzini	97302005	4°55'46"N	52°17'24"O



Corrélation des températures moyennes mesurées dans les différentes stations de la zone d'étude

## A.4. Saint Denis de La Réunion

### A.4.1. Caractéristiques climatiques

La latitude de La Réunion lui procure un fort ensoleillement et des températures relativement élevées. Mais son insularité fait que la chaleur est régulée par l'inertie thermique de l'océan Indien.

La zone de Saint-Denis et Sainte-Marie est située sur la côte au vent et est soumise aux régimes des alizés qui tendent également à rafraîchir l'air ambiant. La station de référence de la zone est Gillot-Aéroport située à proximité immédiate de la côte. La topographie y est très hétérogène avec un relief rapidement escarpé vers l'intérieur de l'île. Cette configuration induit



une baisse de température significative lorsqu'on s'éloigne de l'océan (diminution moyenne d'environ 0,7 à 0,8 °C par 100 mètres d'altitude).

Les mesures de cette station montrent que les moyennes de températures s'échelonnent de 20,8 °C pour les minimales à 27,7 °C pour les maximales (normales climatiques 1981-2010). L'amplitude thermique annuelle est assez faible : seulement 5 °C séparent les mois les plus frais (juillet et août) des mois les plus chauds (janvier à mars).

#### A.4.2. Caractéristiques démographiques

En 2015, la zone rassemblait 175 030 habitants, une population en augmentation depuis 1999. La part des personnes âgées de 75 ans et plus est en augmentation dans l'ensemble des communes.

Nom	Code Insee	Population 1999	Population 2015	Part des 75 ans et plus 1999	Part des 75 ans et plus 2015
Saint Denis	97411	131 649	145 055	3	4
Sainte Marie	97418	26 576	29 975	2	3
Total		158 225	175 030	2	3

#### A.4.3. Station météo

Nom	Code Météo-France	Type de station	Date de début	Latitude	Longitude	Altitude
Gillot-aéroport	97418110	0	01/01/1953	20°53'30'4S	55°31'42"E	8m

#### A.4.4. Indicateurs de défaveur social (extrait à partir de la cartographie 2018 de l'Insee [42])

	Niveau de vie médian mensuel (en euros par UC)	Taux de pauvreté	Intensité de la pauvreté (en %)	Taux de pauvreté des enfants (en %)	Part des ménages totalement dépendants des prestations sociales (en %)	Part des logements sociaux dans l'ensemble des résidences principales (en %)	Part des logements surpeuplés (en %)	Part des ménages percevant des revenus issus du minimum vieillesse (en %)
	2014	2014	2014	2014	2014	2016	2015	2014
<b>La Réunion</b>	<b>1 150</b>	<b>39,5</b>	<b>25,7</b>	<b>47,9</b>	<b>11,2</b>	<b>22,1</b>	<b>14,2</b>	<b>6,5</b>
Saint-Denis	1 305	32,8	24,7	42,7	10,6	33,5	19,3	5,0
Sainte-Marie	1 320	32,2	24,7	40,1	8,5	21,6	11,6	5,0

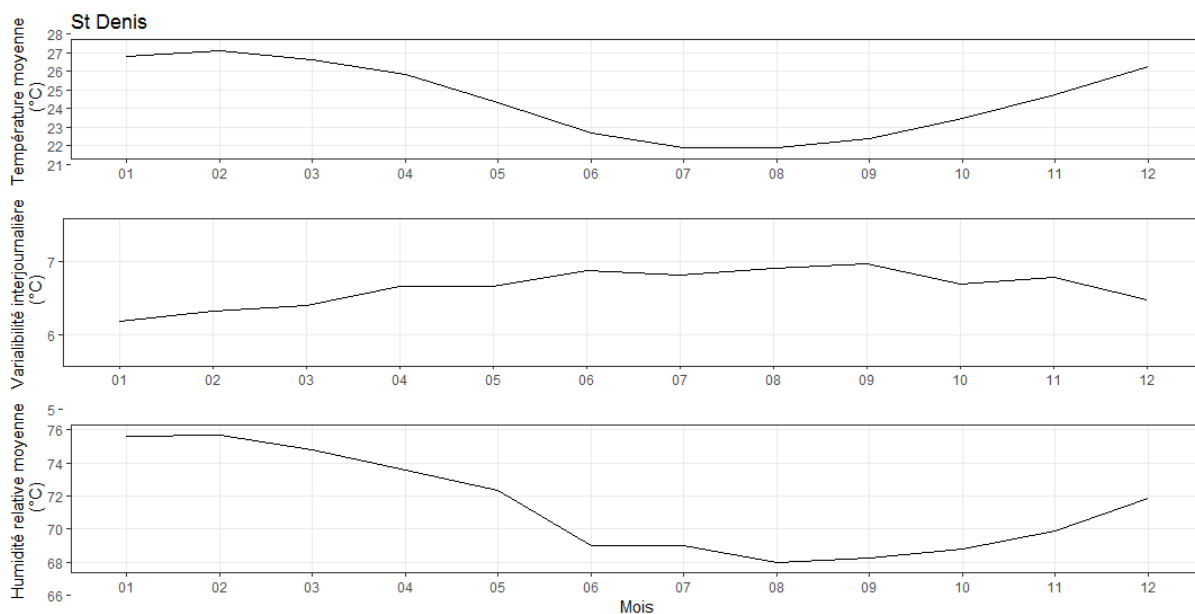
**Niveau de vie** : revenu disponible du ménage rapporté au nombre d'unité de consommation. Le niveau de vie est donc le même pour tous les individus d'un même ménage. **Le seuil de pauvreté** dit « métropolitain » est fixé à 60% du niveau de vie médian observé en métropole, soit environ 1 000 euros par mois et par UC. Le **taux de pauvreté** est la part des personnes pauvres, c'est-à-dire vivant dans un ménage qui dispose de moins de 1 000 euros par mois et par UC.

**Intensité de la pauvreté** : indicateur qui permet d'apprécier à quel point le niveau de vie de la population pauvre est éloigné du seuil de pauvreté. L'Insee mesure cet indicateur comme l'écart relatif entre le niveau de vie médian de la population pauvre et le seuil de pauvreté.

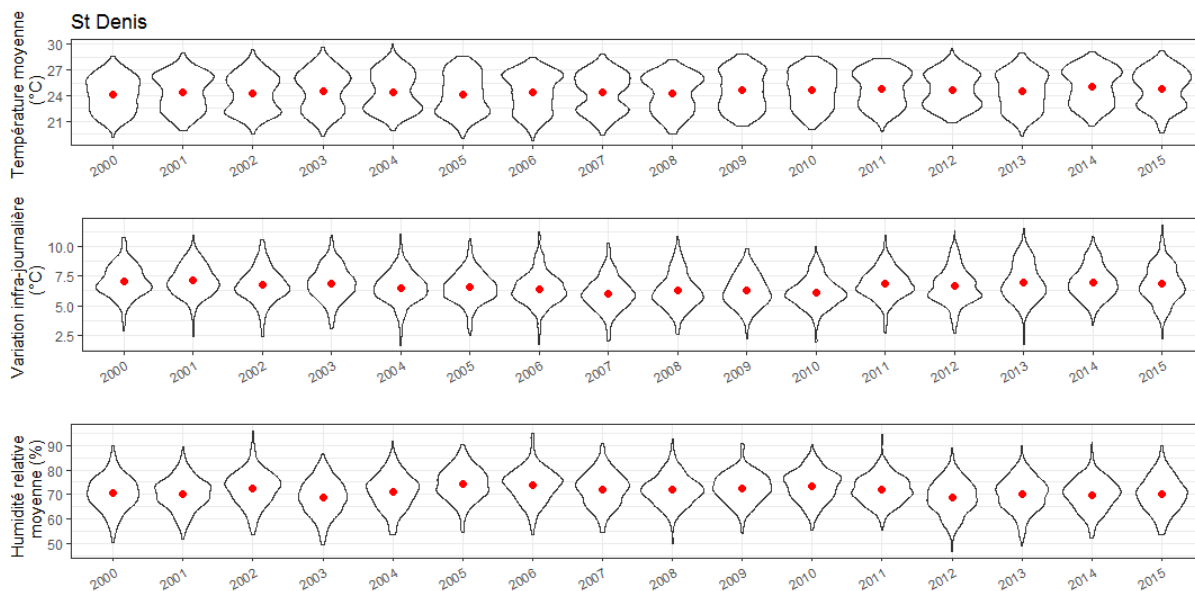
**Ménages totalement dépendants des prestations sociales** : part des ménages dont le revenu disponible est composé à 100 % de prestations sociales parmi l'ensemble des ménages

**Surpeuplement** : situation d'un logement disposant d'une ou plusieurs pièces en moins par rapport à une convention définie selon la composition familiale des occupants.

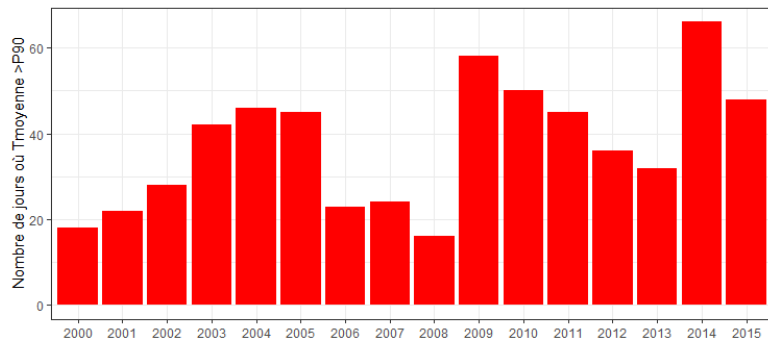
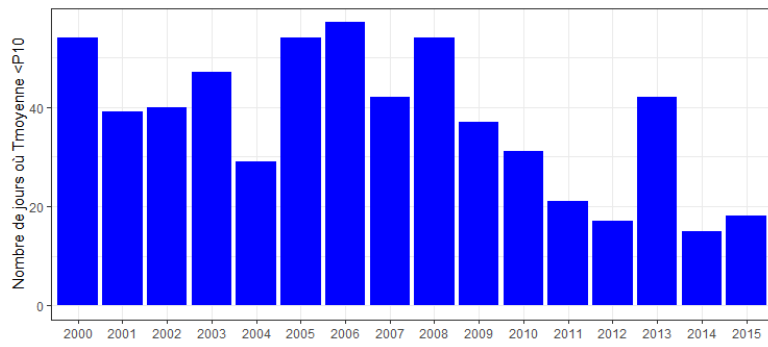
#### A.4.5. Descriptif des données 2000-2015



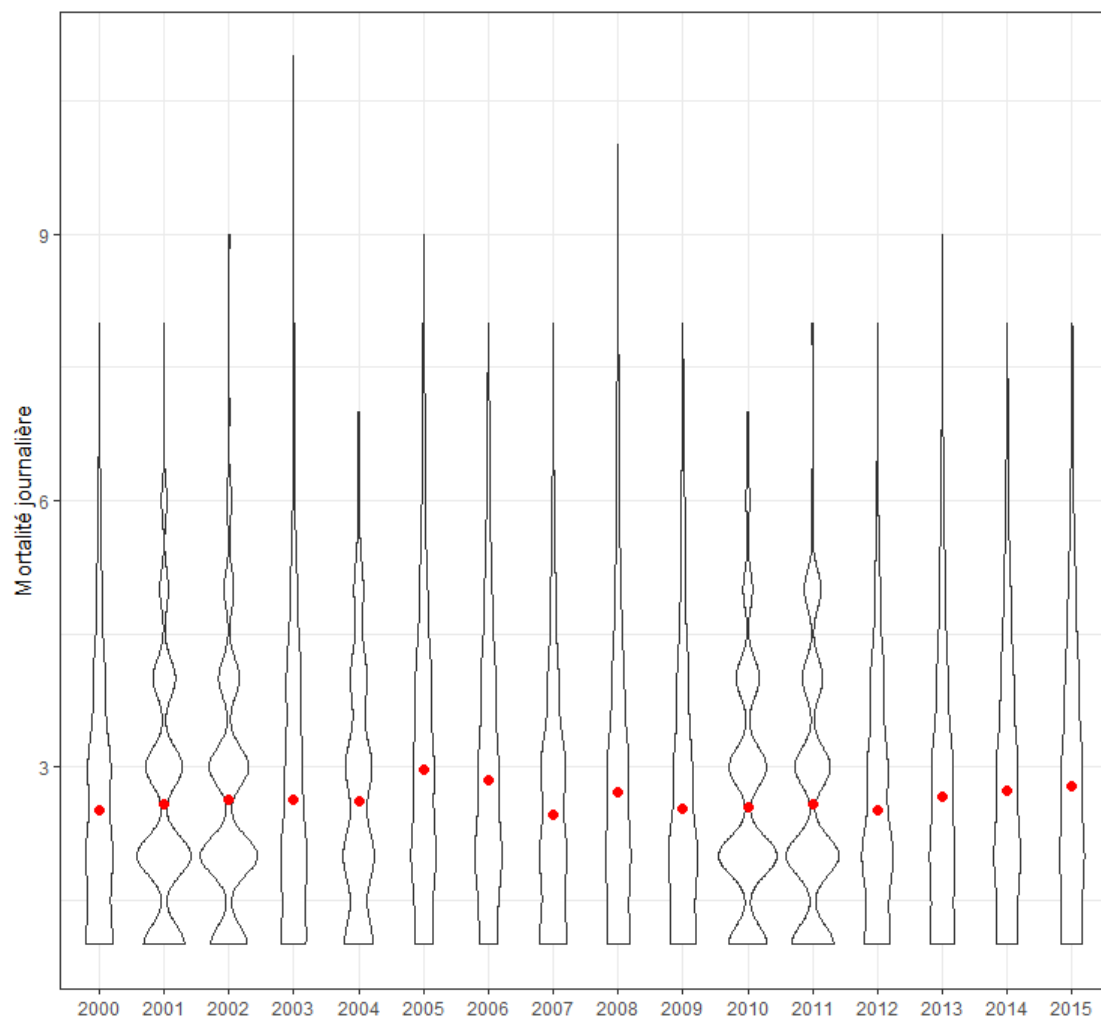
Évolution mensuelle de la température moyenne journalière, de la variabilité inter journalière des températures, et de l'humidité relative moyenne



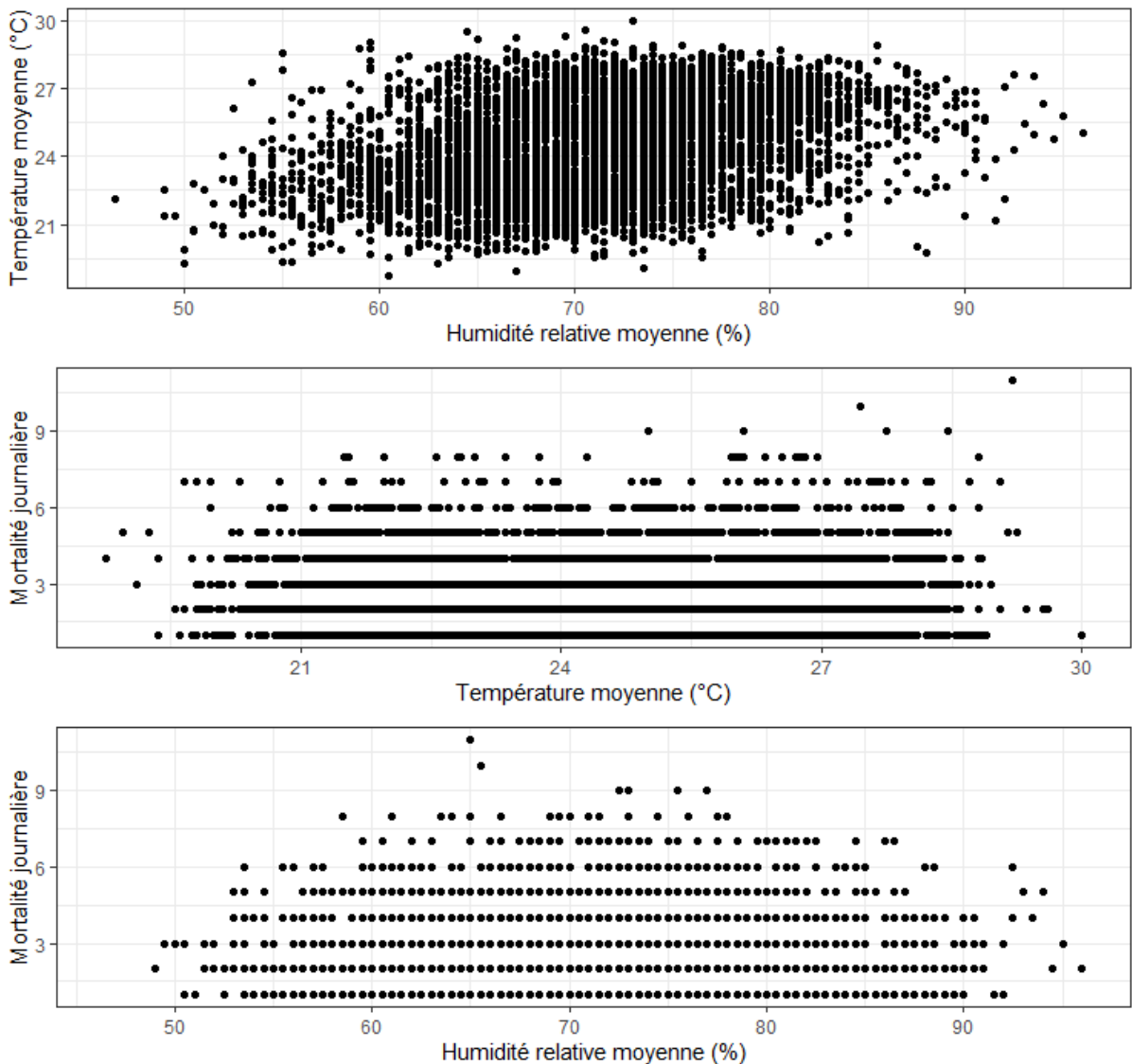
Distribution annuelle de la température moyenne journalière, de la variabilité inter journalière des températures, et de l'humidité relative moyenne



Évolution du nombre de jours par an avec une température moyenne inférieure au percentile 10, ou supérieure au percentile 90



Distribution annuelle de la mortalité journalière



Température vs Humidité relative, Mortalité vs Température, Mortalité vs Humidité relative

## A.5. Mayotte

### A.5.1. Caractéristiques climatiques

Mayotte est soumise à un climat de type tropical chaud, humide et maritime, caractérisé par des faibles variations de températures journalières et annuelles.

Les deux principaux régimes de vents intéressant l'île sont le vent de mousson (chaud et humide, de nord à nord-ouest en été austral) et l'alizé engendré par l'anticyclone des Mascareignes (frais et sec, de sud-est en hiver austral). En liaison avec ces régimes, deux principales saisons caractérisent l'année : l'une chaude et pluvieuse, l'autre plus fraîche et sèche, séparées par deux intersaisons assez brèves.

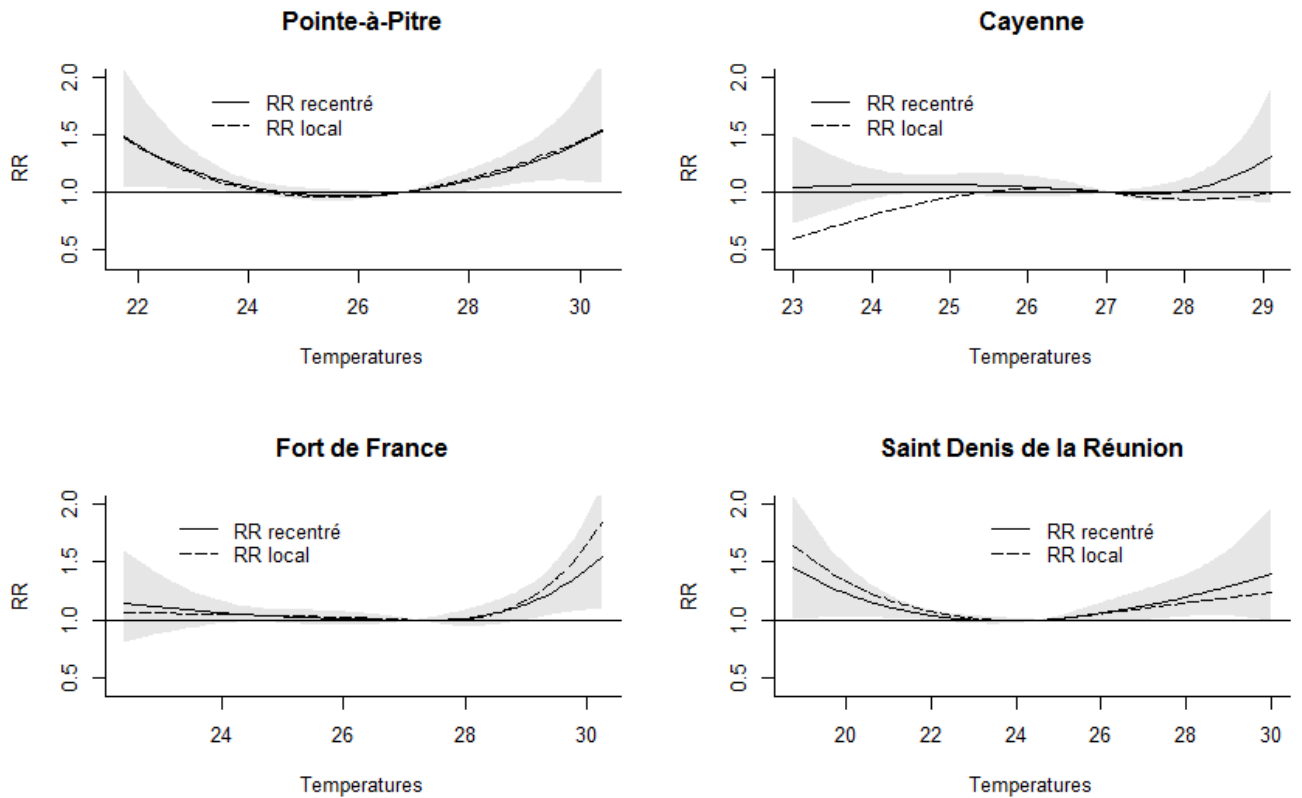
Lors de la saison chaude (de décembre à mars), Les températures maximales avoisinent régulièrement 32 °C. Lors de la saison froide, les températures s'échelonnent de 21 à 28 °C

mais les minimales peuvent descendre jusqu'à 10 °C à l'intérieur de l'île. L'amplitude thermique moyenne annuelle est très faible : de l'ordre de 3 à 4 °C seulement ! La station à utiliser préférentiellement est Pamandzi.

#### A.5.2. Station météorologique de référence

<b>Nom</b>	<b>Code Météo-France</b>	<b>Type de station</b>	<b>Date de début</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude</b>
Pamandzi	98508001	0	01/01/1949	12°48'20"S	45°16'58"E	7m

## Annexe 2. Relation température-mortalité par zone d'étude, estimation locale et estimation recentrée



Relation température - mortalité par zone d'étude, estimation local et estimation recentrée

## RR cumulé sur 0-10 jours par zone d'étude – estimation recentrée

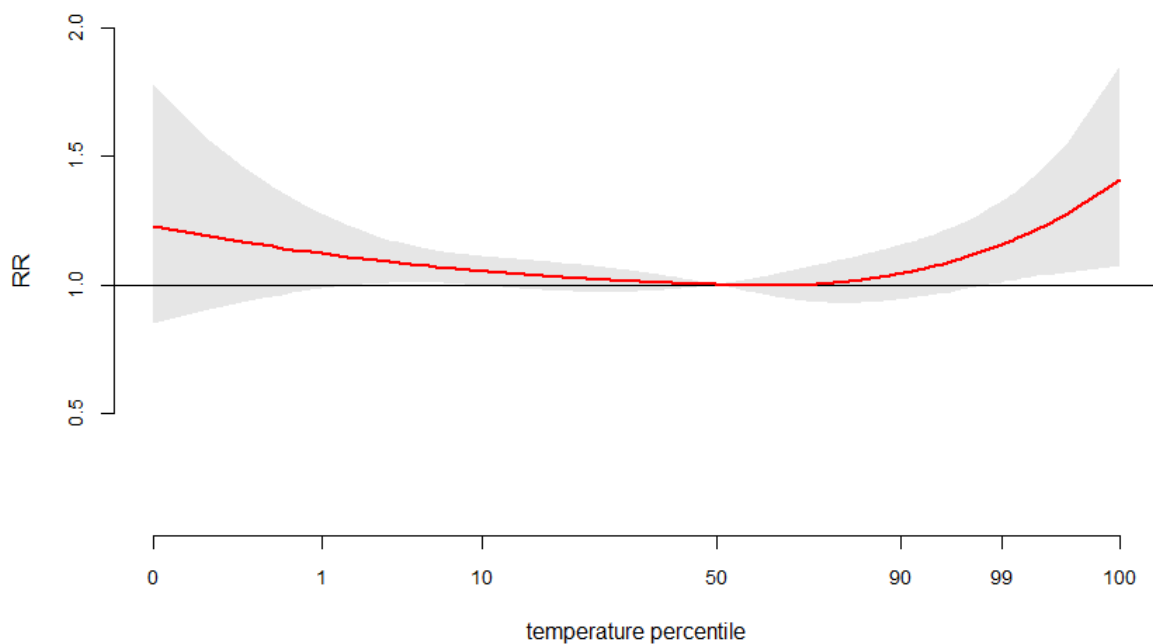
Zone d'étude	Percentiles	Températures (°C)	RR [IC95%]
<b>Cayenne</b>	P1 vs P50	24,5 vs 27,1	1,07 [0,99 :1,15]
	P25 vs P50	26,6 vs 27,1	1,03 [0,97 :1,08]
	P75 vs P50	27,5 vs 27,1	0,98 [0,93 :1,04]
	P95 vs P50	28,1 vs 27,1	1,03 [0,92 ; 1,14]
	P99 vs P50	28,5 vs 27,1	1,10 [0,93 :1,31]
	P99.5 vs P50	28,7 vs 27,1	1,14 [0,93 :1,41]
	P99.9 vs P50	28,9 vs 27,1	1,23 [0,92 :1,65]
<b>Fort-de-France</b>	P1 vs P50	24,0 vs 27,2	1,06 [0,97 :1,16]
	P25 vs P50	26,2 vs 27,2	1,01 [0,95 :1,06]
	P75 vs P50	28,0 vs 27,2	1,01 [0,94 :1,09]
	P95 vs P50	28,8 vs 27,2	1,11 [0,99 :1,24]
	P99 vs P50	29,5 vs 27,2	<b>1,24 [1,04 :1,48]</b>
	P99,5 vs P50	29,6 vs 27,2	<b>1,29 [1,06 :1,57]</b>
	P99,9 vs P50	30,0 vs 27,2	<b>1,44 [1,09 :1,90]</b>
<b>Pointe-à-Pitre</b>	P1 vs P50	23,3 vs 26,8	<b>1,16 [1,03 :1,31]</b>
	P25 vs P50	25,5 vs 26,8	0,97 [0,92 :1,02]
	P75 vs P50	27,8 vs 26,8	<b>1,08 [1,00 :1,16]</b>
	P95 vs P50	28,7 vs 26,8	<b>1,20 [1,06 :1,35]</b>
	P99 vs P50	29,4 vs 26,8	<b>1,30 [1,10 :1,53]</b>
	P99,5 vs P50	29,5 vs 26,8	<b>1,32 [1,10 :1,58]</b>
	P99,9 vs P50	29,8 vs 26,8	<b>1,37 [1,11 :1,70]</b>
<b>St-Denis de La Réunion</b>	P1 vs P50	20,2 vs 24,6	<b>1,20 [1,02 :1,42]</b>
	P25 vs P50	22,7 vs 24,6	1,01 [0,98 :1,05]
	P75 vs P50	26,3 vs 24,6	1,08 [0,98 :1,18]
	P95 vs P50	27,7 vs 24,6	<b>1,17 [1,02 : 1,35]</b>
	P99 vs P50	28,4 vs 24,6	<b>1,23 [1,04 :1,46]</b>
	P99,5 vs P50	28,6 vs 24,6	<b>1,25 [1,04 :1,51]</b>
	P99,9 vs P50	29,2 vs 24,6	<b>1,31 [1,03 :1,65]</b>



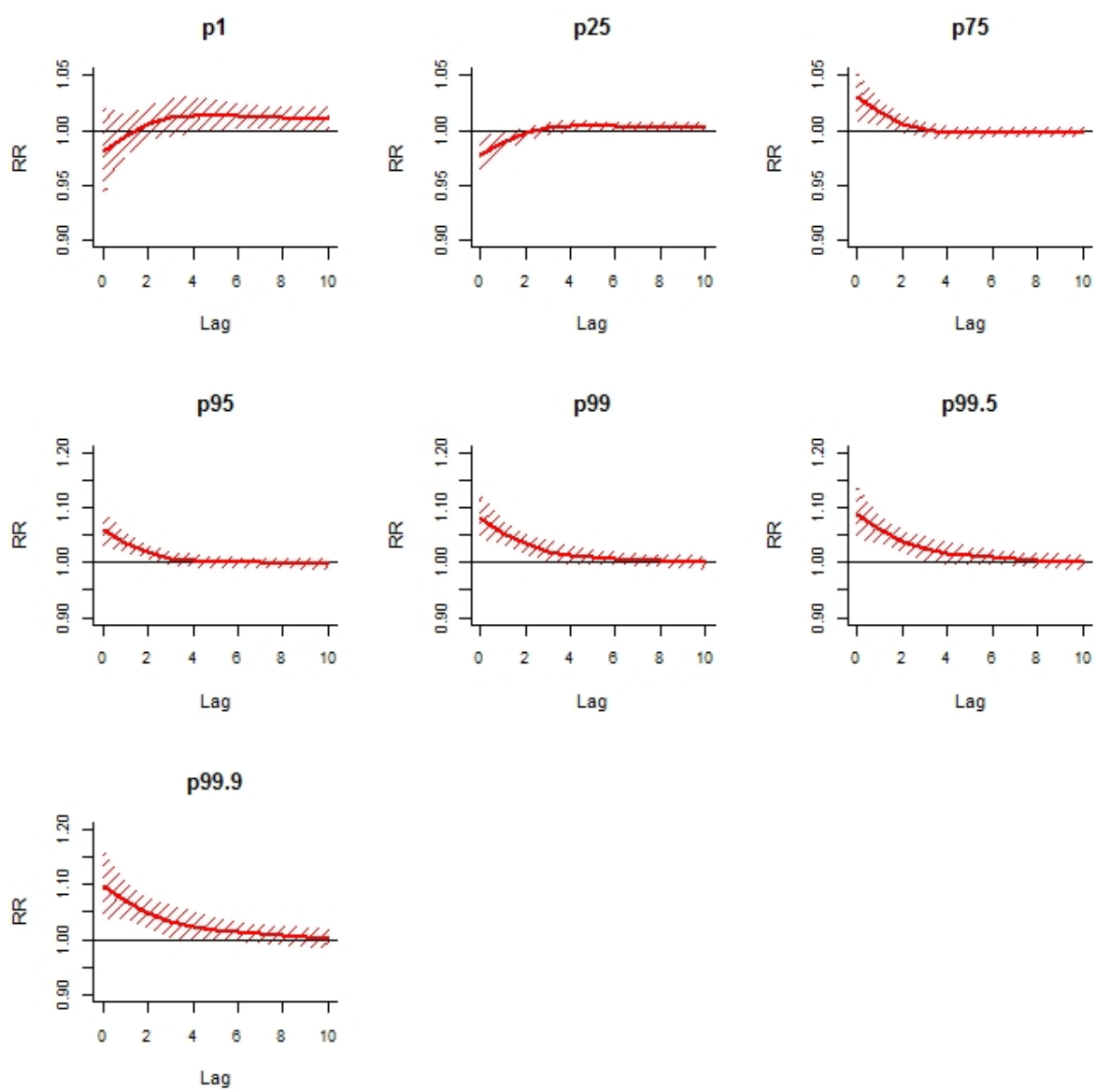
## Annexe 3. RR obtenus en considérant des effets retardés jusqu'à 21 jours au lieu de 10 jours

Graphe des RR cumulés sur 21 jours

	RR cumulé sur 10 jours avec des retards sur 10 jours	RR cumulé sur 21 jours avec des retards sur 21 jours
P1 vs P50	<b>1,10 [1,00 :1,22]</b>	1,12 [0,99 :1,28]
P25 vs P50	1,00 [0,96 :1,04]	1,02 [0,97 :1,08]
P75 vs P50	1,03 [0,97 :1,10]	1,00 [0,93 :1,09]
P95 vs P50	<b>1,12 [1,02 :1,23]</b>	1,08 [0,96 ;1,2)
P99 vs P50	<b>1,20 [1,06 :1,42]</b>	<b>1,16 [1,01 :1,33]</b>
P99,5 vs P50	<b>1,23 [1,07 :1,42]</b>	<b>1,19 [1,02 :1,38]</b>
P99,9vs P50	<b>1,31 [1,09 :1,57]</b>	<b>1,27 [1,05 :1,54]</b>



Graphes des RR par retards

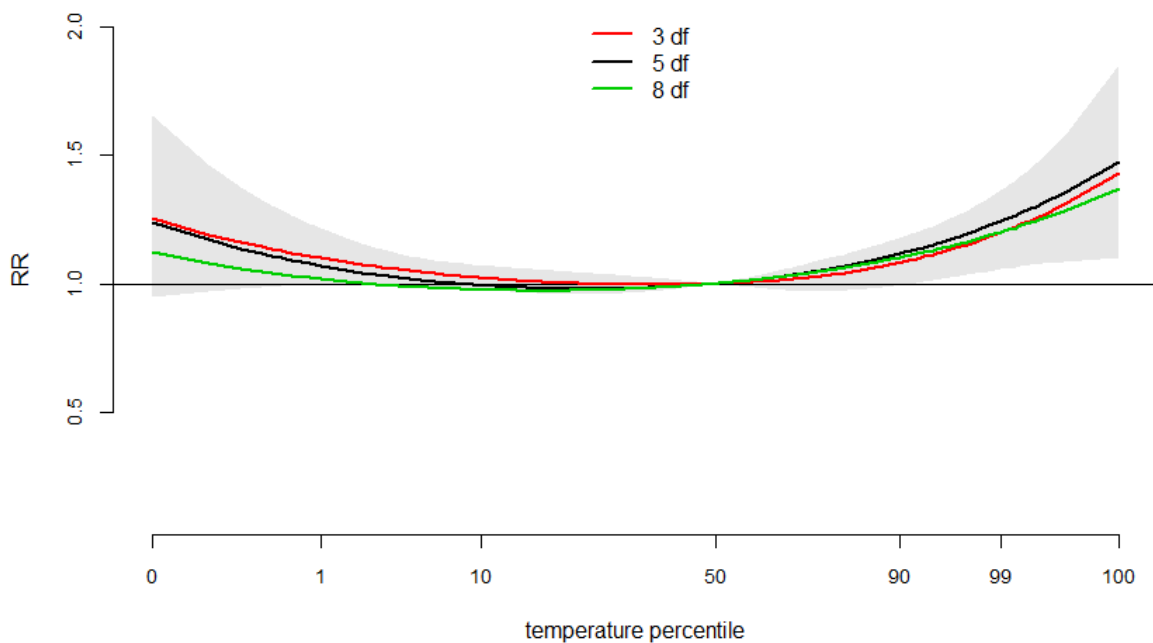


Graphes des RR par retards

## Annexe 4. Influence de la modélisation de la saisonnalité

Comparaison des RR cumulés sur 10 jours obtenus avec 3, 5 ou 8 degrés de liberté par an

	3 DL	5 DL	8DL
P1 vs P50	<b>1,10 [1,00 :1,22]</b>	1,07 [0,94 :1,21]	1,02 [0,90 :1,16]
P25 vs P50	1,00 [0,96 :1,04]	0,98 [0,95 :1,01]	0,97 [0,93 :1,02]
P75 vs P50	1,03 [0,97 :1,10]	<b>1,06 [1,01 :1,10]</b>	1,05 [0,99 :1,11]
P95 vs P50	<b>1,12 [1,02 :1,23]</b>	<b>1,16 [1,09 :1,23]</b>	<b>1,13 [1,06 :1,22]</b>
P99 vs P50	<b>1,20 [1,06 :1,42]</b>	<b>1,25 [1,12 :1,38]</b>	<b>1,20 [1,06 :1,36]</b>
P99,5 vs P50	<b>1,23 [1,07 :1,42]</b>	<b>1,28 [1,13 :1,44]</b>	<b>1,23 [1,06 :1,42]</b>
P99,9 vs P50	<b>1,31 [1,09 :1,57]</b>	<b>1,35 [1,14 :1,61]</b>	<b>1,28 [1,03 :1,59]</b>



Graphes des RR cumulés sur 10 jours

## Annexe 5. Influence de la position des nœuds pour les splines de température

RR cumulés sur 10 jours selon le nombre et la position des nœuds choisis

*Avec un nœud placé au p10, p60 ou p90*

	P10	P60	P90
P1 vs P50	1,07 [0,97 :1,19]	<b>1,10 [1,00 :1,22]</b>	<b>1,12 [1,02 :1,22]</b>
P25 vs P50	1,02 [0,98 :1,05]	1,00 [0,96 :1,04]	0,99 [0,96 :1,03]
P75 vs P50	<b>1,04 [1,00 :1,09]</b>	<b>1,03 [0,97 :1,10]</b>	<b>1,04 [0,99 :1,10]</b>
P95 vs P50	<b>1,13 [1,02 ; 1,25]</b>	<b>1,12 [1,02 ; 1,23]</b>	<b>1,11 [0,99 ;1,25]</b>
P99 vs P50	<b>1,21 [1,04 :1,40]</b>	<b>1,20 [1,06 :1,42]</b>	<b>1,17 [1,03 :1,33]</b>
P99,5 vs P50	<b>1,24 [1,05 :1,46]</b>	<b>1,23 [1,07 :1,42]</b>	<b>1,19 [1,03 :1,38]</b>
P99,9 vs P50	<b>1,31 [1,08 :1,60]</b>	<b>1,31 [1,09 :1,57]</b>	<b>1,24 [0,97 :1,58]</b>

*Avec deux nœuds ou trois nœuds*

	P10 et P90	P10 et P50	P50 et P90	P10, P60 et P90
P1 vs P50	1,07 [0,96 :1,19]	1,07 [0,97 :1,18]	1,09 [0,98 :1,22]	1,07 [0,97 :1,18]
P25 vs P50	1,01 [0,98 :1,05]	1,01 [0,95 :1,07]	1,02 [0,97 :1,07]	1,01 [0,97 :1,06]
P75 vs P50	1,05 [0,99 :1,11]	1,05 [0,98 :1,11]	1,04 [0,98 :1,10]	1,05 [0,97 :1,13]
P95 vs P50	<b>1,14 [1,0 :1,3]</b>	<b>1,14 [1,04 : 1,24]</b>	<b>1,15 [1,01 : 1,32]</b>	<b>1,15 [1,02 :1,31]</b>
P99 vs P50	<b>1,18 [1,04 :1,34]</b>	<b>1,22 [1,09 :1,36]</b>	<b>1,17 [1,02 :1,34]</b>	<b>1,18 [1,03 :1,35]</b>
P99,5 vs P50	<b>1,19 [1,02 :1,37]</b>	<b>1,25 [1,10 :1,41]</b>	<b>1,16 [0,99 :1,36]</b>	<b>1,17 [1,00 :1,38]</b>
P99,9 vs P50	<b>1,19 [0,93 :1,52]</b>	<b>1,32 [1,12 :1,54]</b>	<b>1,12 [0,86 :1,46]</b>	<b>1,15 [0,87 :1,52]</b>

## Annexe 6. Modèle ajusté sur l'humidité relative

Distribution de l'humidité relative minimale et maximale par zone

Zones	Humidité relative minimale						Humidité relative maximale					
	Moy	Min	P25	P50	P75	Max	Moy	Min	P25	P50	P75	Max
Cayenne	61	20	55	60	66	98	94	72	91	95	97	100
Fort-de-France	59	31	55	59	63	92	97	76	96	98	99	100
Pointe-à-Pitre	57	27	52	57	62	90	92	70	86	93	96	100
St-Denis	57	17	51	57	63	92	89	65	85	90	93	100
Mayotte	60	32	57	60	63	85	86	61	82	87	91	100

Corrélations entre l'humidité minimale (UN), l'humidité maximale (UX) et l'humidité moyenne (Umoy)

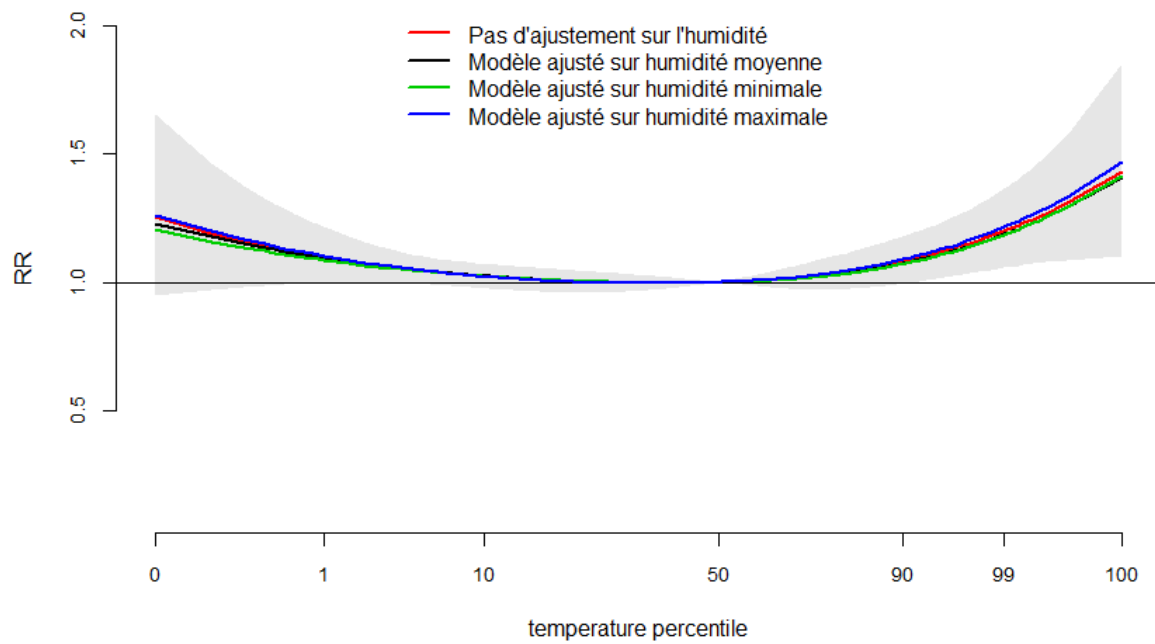
Zones	cor(Umoy, UN)	cor(Umoy, UX)	cor(UN, UX)
Cayenne	0,960	0,332	0,055
Fort-de-France	0,851	0,744	0,282
Pointe-à-Pitre	0,923	0,730	0,412
St-Denis	0,923	0,843	0,571
Mayotte	0,768	0,817	0,258

Corrélations entre la température moyenne (tempmoy) et l'humidité minimale (UN), l'humidité maximale (UX), l'humidité moyenne (Umoy)

Zones	Cor(tempmoy, UN)	Cor(tempmoy, UX)	Cor(tempmoy, Umoy)
Cayenne	-0,637	-0,163	-0,648
Fort-de-France	0,017	-0,182	-0,087
Pointe-à-Pitre	-0,028	-0,297	-0,146
St-Denis	0,376	0,08	0,344
Mayotte	0,146	-0,057	0,050

RR cumulés sur 10 jours : introduction de l'humidité minimale dans le modèle à l'aide d'une b-spline à 3 degrés de liberté

	Modèle ajusté sur l'humidité relative minimale	Modèle ajusté sur l'humidité relative maximale
P1 vs P50	1,09 [0,97 :1,22]	<b>1,10 [1,00 :1,21]</b>
P25 vs P50	1,00 [0,96 :1,05]	1,00 [0,95 :1,05]
P75 vs P50	1,02 [0,96 :1,10]	1,03 [0,97 :1,11]
P95 vs P50	<b>1,11 [1 :1,22]</b>	<b>1,13 [1,01 : 1,26]</b>
P99 vs P50	<b>1,19 [1,05 :1,34]</b>	<b>1,22 [1,05 :1,41]</b>
P99,5 vs P50	<b>1,22 [1,07 :1,39]</b>	<b>1,25 [1,07 :1,47]</b>
P99,9 vs P50	<b>1,29 [1,09 :1,53]</b>	<b>1,33 [1,09 :1,63]</b>



Risque relatif de décès cumulé sur 0-10 jours suivant l'exposition à un percentile de température – Méta-analyse – RR calculée par rapport à la température médiane - Modèle ajusté sur l'humidité

## Références bibliographiques

- [1] Corso M, Pascal M, Wagner V. Impacts de la chaleur et du froid sur la mortalité totale en France entre 2000 et 2010. *Bull Epidemiol Hebd.* 2017(31):634-40.
- [2] Pascal M, Wagner V, Corso M, Laaidi K, Ung A, Beaudou P. Heat and cold related-mortality in 18 French cities. *Environment International.* 2018;121:189-98.
- [3] Pascal M, Wagner V, Corso M, Laaidi K, A. LT. Évolutions de l'exposition aux canicules et de la mortalité associée en France métropolitaine depuis 1970. 2019.
- [4] Wagner V, Ung A, Calmet C, Pascal M. Évolution des vagues de chaleur et de la mortalité associée en France, 2004-2014. *Bull Epidemiol Hebd.* 2018(16-17):320-5.
- [5] Fouillet A, Rey G, Laurent F, Pavillon G, Bellec S, Guihenneuc-Jouyau C, et al. Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. *International Archives of Occupational and Environmental Health.* 2006;80(1):16-24.
- [6] Rey G, Fouillet A, Jouglu É, Hémon D. Heat waves, ordinary temperature fluctuations and mortality in France since 1971. *Population.* 2007;62(3):457-86.
- [7] Pirard P, Vandentorren S, Pascal M, Laaidi K, Le Tertre A, Cassadou S, et al. Summary of the mortality impact assessment of the 2003 heat wave in France. *Euro surveillance : bulletin européen sur les maladies transmissibles = European communicable disease bulletin.* 2005;10(7):153-6.
- [8] Pascal M, Le Tertre A, Laaidi K. The 2003 heatwave: Impacts, public health adaptation and response in France. *Natural Disasters and Adaptation to Climate Change:* 2013. p. 121-7.
- [9] Pascal M, Wagner V, Le Tertre A, Laaidi K, Honoré C, Bénichou F, et al. Definition of temperature thresholds: The example of the French heat wave warning system. *International Journal of Biometeorology.* 2013;57(1):21-9.
- [10] Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, Lavigne E, Zanobetti A, Schwartz J, et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet (London, England).* 2015;386(9991):369-75.
- [11] Guo Y, Gasparrini A, Armstrong B, Li S, Tawatsupa B, Tobias A, et al. Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: a systematic evaluation. *Epidemiology (Cambridge, Mass).* 2014;25(6):781-9. Disponible : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4180721/>
- [12] Yin Q, Wang J, Ren Z, Li J, Guo Y. Mapping the increased minimum mortality temperatures in the context of global climate change. *Nature Communications.* 2019;10(1).
- [13] Hanna EG, Tait PW. Limitations to Thermoregulation and Acclimatization Challenge Human Adaptation to Global Warming. *Int J Environ Res Public Health.* 2015;12(7):8034-74.
- [14] Arbuthnott K, Hajat S, Heaviside C, Vardoulakis S. What is cold-related mortality? A multi-disciplinary perspective to inform climate change impact assessments. *Environment International.* 2018;121:119-29.
- [15] Météo-France. Bilan climatique outre-mer en 2019 [En ligne]. : 2020. [modifié le ; cité le 2020]. Disponible: <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/bilans-climatiques/bilan-2019/bilan-climatique-outre-mer-2019>
- [16] Moisan M, Habchi-Hanriot N, Collard FX, Fontaine M. Le changement climatique en Guyane: conséquences potentielles et pistes de réflexion pour l'adaptation régionale. 2013. 1:115 p. Disponible: [http://www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport\\_Consequences\\_potentielles\\_et\\_pistes\\_de\\_reflexion\\_pour\\_l\\_adaptation\\_regionale.pdf](http://www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_Consequences_potentielles_et_pistes_de_reflexion_pour_l_adaptation_regionale.pdf)

- [17] Région Guadeloupe. Schéma régional climat air énergie de Guadeloupe. 2015. 1:302 p. Disponible: [https://www.regionguadeloupe.fr/fileadmin/Site\\_Region\\_Guadeloupe/Mediatheque/Textes\\_Politique/SRCAE.pdf](https://www.regionguadeloupe.fr/fileadmin/Site_Region_Guadeloupe/Mediatheque/Textes_Politique/SRCAE.pdf)
- [18] CIMH. Record-breaking heat in 2020 - a new norm. La Barbade: Carribean institute for meteorology and hydrology; 2020. p. 1:3.
- [19] OECS. Climate trends and projections for the OECS region. Organisation of Eastern Caribbean States; 2020. 1:77 p.
- [20] Météo-France. Le changement climatique à La Réunion [En ligne]. : 2020. [modifié le ; cité le]. Disponible: <http://www.meteofrance.re/climat/changement-climatique>
- [21] Perronnet O. Le changement climatique en Martinique [En ligne] : 2015.
- [22] Région Guyane. Schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie. 2012. 1:208 p. Disponible: [http://www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/SRCAE\\_Guyane-VF\\_26062012.pdf](http://www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/SRCAE_Guyane-VF_26062012.pdf)
- [23] CIMH. Carribean health climatic bulletin. 2020. Disponible: <https://rcc.cimh.edu.bb/files/2020/03/Caribbean-Health-Climatic-Bulletin-Vol4-Issue1-March-2020.pdf>
- [24] Réunion; R. Schéma régional climat air énergie de La Réunion. 2013. 1:101 p. Disponible: [http://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/schema\\_regionale\\_climat\\_ai\\_energie\\_974\\_cle2c5f8e.pdf](http://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/schema_regionale_climat_ai_energie_974_cle2c5f8e.pdf)
- [25] Dantec R, Roux J-Y. Adapter la France aux dérèglements climatiques à l'horizon 2050: urgence déclarée. Paris, France : Sénat; 2019. 1:190 p.
- [26] Pascal M, Laaidi K, Ledrans M, Baffert E, Caserio-Schönemann C, Le Tertre A, et al. France's heat health watch warning system. International Journal of Biometeorology. 2006;50(3):144-53.
- [27] Cires Antilles-Guyane. Bilan des épidémies de dengue aux Antilles-Guyane de 2012 à 2014. Bulletin de veille sanitaire. 2015;2-3.
- [28] Cire Antilles, Cire Guyane. Dynamique et ampleur des épidémies de Zika en Martinique et en Guadeloupe de décembre 2015 à septembre 2016. Bulletin de veille sanitaire. 2017;1.
- [29] Renault P, Solet JL, Sissoko D, Balleydier E, Larrieu S, Filleul L, et al. A major epidemic of chikungunya virus infection on Réunion Island, France, 2005-2006. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene. 2007;77(4):727-31.
- [30] Qu'avons-nous appris de l'épidémie de chikungunya dans l'Océan Indien en 2005-2006 ? Bull Epidemiol Hebd. 2008(38-39-40).
- [31] Cire Antilles-Guyane. Emergence du chikungunya aux Antilles-Guyane; études cliniques, entomologiques, épidémiologiques et actions de gestions. Bulletin de veille sanitaire. 2014;3-5.
- [32] Tobías A, Armstrong B, Gasparrini A. Brief report: Investigating uncertainty in the minimum mortality temperature. Epidemiology (Cambridge, Mass). 2017;28(1):72-6.
- [33] Vicedo-Cabrera AM, Sera F, Guo Y, Chung Y, Arbuthnott K, Tong S, et al. A multi-country analysis on potential adaptive mechanisms to cold and heat in a changing climate. Environ Int. 2018;111:239-46.
- [34] Méndez-Lázaro PA, Pérez-Cardona CM, Rodríguez E, Martínez O, Taboas M, Bocanegra A, et al. Climate change, heat, and mortality in the tropical urban area of San Juan, Puerto Rico. International Journal of Biometeorology. 2018;62(5):699-707.



- [35] Armstrong B, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, Abrutzky R, Åström DO, Bell ML, et al. Erratum: "the role of humidity in associations of high temperature with mortality: A multicountry, multicity study" (Environ Health Perspect, (2019) 127, 9, 10.1289/EHP5430). Environmental Health Perspectives. 2019;127(10).
- [36] Armstrong B, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, Abrutzky R, Åström DO, Bell ML, et al. The role of humidity in associations of high temperature with mortality: A multicountry, multicity study. Environmental Health Perspectives. 2019;127(9):097007-1--8.
- [37] Son JY, Liu JC, Bell ML. Temperature-related mortality: A systematic review and investigation of effect modifiers. Environmental Research Letters. 2019;14(7).
- [38] Hajat S, Armstrong B, Baccini M, Biggeri A, Bisanti L, Russo A, et al. Impact of high temperatures on mortality: Is there an added heat wave effect? Epidemiology (Cambridge, Mass). 2006;17(6):632-8.
- [39] Guo Y, Gasparrini A, Armstrong BG, Tawatsupa B, Tobias A, Lavigne E, et al. Heat Wave and Mortality: A Multicountry, Multicommunity Study. Environ Health Perspect. 2017;125(8):087006.
- [40] Lee W, Bell ML, Gasparrini A, Armstrong BG, Sera F, Hwang S, et al. Mortality burden of diurnal temperature range and its temporal changes: A multi-country study. Environ Int. 2018;110:123-30.
- [41] Crouzet M. Vieillesse et perte d'autonomie aux Antilles et à La Réunion : des situations en outremer contrastées. Espace populations sociétés [En ligne]. 2018.
- [42] INSEE. Cartographie de la pauvreté à La Réunion. INSEE; 2018. 1:6 p.
- [43] Fondation Abbé Pierre. L'état du mal logement en France. France ; 2020. 1:389 p. Disponible: [https://www.fondation-abbe-pierre.fr/documents/pdf/reml2020\\_rapport\\_complet\\_web.pdf](https://www.fondation-abbe-pierre.fr/documents/pdf/reml2020_rapport_complet_web.pdf)
- [44] Lee W, Choi HM, Kim D, Honda Y, Guo YLL, Kim H. Temporal changes in mortality attributed to heat extremes for 57 cities in Northeast Asia. Science of the Total Environment. 2018;616-617:703-9.
- [45] Atiki N, Pascal M, Wagner V. Influence de la chaleur sur quelques causes de recours aux urgences en France métropolitaine durant les étés 2015-2017. Bull Epidemiol Hebd. 2019(1):9-14.
- [46] Sera F, Hashizume M, Honda Y, Lavigne E, Schwartz J, Zanobetti A, et al. Air conditioning and heat-related mortality: A multi-country longitudinal study. Epidemiology (Cambridge, Mass). 2020:779-87.
- [47] Gordon S. Heat illness in Hawai'i. Hawai'i journal of medicine & public health : a journal of Asia Pacific Medicine & Public Health. 2014;73(11):33-6.
- [48] Létard V, Flandre H, Lepeltier S. La France et les Français face à la canicule : les leçons d'une crise. Paris, France : Sénat; 2004.
- [49] McGregor G, Bessemoulin P, Ebi K, Menne B. Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development. Geneva, Switzerland ; 2015. 96 p.