

SANTÉ
ENVIRONNEMENT

AVRIL 2019

ÉTUDES ET ENQUÊTES

ÉVOLUTIONS DE L'EXPOSITION AUX
CANICULES ET DE LA MORTALITÉ ASSOCIÉE
EN FRANCE MÉTROPOLITAINE
ENTRE 1970 ET 2013

Résumé

Évolutions de l'exposition aux canicules et de la mortalité associée en France métropolitaine entre 1970 et 2013

Les vagues de chaleur sont l'exemple le plus emblématique des influences du changement climatique sur la santé. En France, le plan national canicule (PNC) cible particulièrement celles susceptibles de constituer un risque pour l'ensemble de la population exposée, dénommées canicules.

Cette étude décrit les évolutions de l'exposition de la population aux canicules et de la surmortalité associée dans les départements métropolitains depuis 1970.

Les périodes d'intérêts ont été identifiées en adaptant l'approche du système d'alerte canicule et santé. La surmortalité est estimée par comparaison aux années précédentes. Une régression de Poisson entre les taux de mortalité et l'intensité des canicules a recherché une éventuelle modification de la réponse avec la mise en place du PNC en 2004.

1 118 canicules sont identifiées entre 1970 et 2016. Les canicules les plus intenses et les plus longues sont concentrées en 1976, 1983, 2003 et 2015. La population exposée à au moins une canicule par an a doublé entre 1974-1983 et 2004-2013. Près de 32 000 décès en excès sont observés sur l'ensemble des 921 canicules identifiées entre 1974 et 2013. Pendant ces événements, une augmentation d'une unité de l'intensité est associée à un risque relatif (RR) de décès de 1,17 [1,16 ; 1,18] avant 2003 et un RR de 1,17 [1,10 ; 1,21] après 2003.

Cette étude illustre que des modifications de la fréquence et de l'étendue géographique et calendaire des canicules sont déjà observées en France, se traduisant par une augmentation de l'exposition de la population. L'absence de modification de la relation entre intensité et mortalité après la mise en place du PNC souligne qu'un impact très important demeure possible en particulier si des intensités similaires ou supérieures à celle de 2003, qui demeure exceptionnelle à ce jour, devaient s'observer.

MOTS CLÉS : CANICULE, MORTALITÉ, CHANGEMENT CLIMATIQUE

Citation suggérée : Pascal M, Wagner V, Corso M, Laaidi K, Le Tertre A. *Évolution de l'exposition aux canicules et de la mortalité associée en France métropolitaine entre 1970 et 2013*. Saint-Maurice : Santé publique France, 2019. 69 p. Disponible à partir de l'URL : www.santepubliquefrance.fr

ISBN-NET : 979-10-289-0488-3 - RÉALISÉ PAR LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION, SANTÉ PUBLIQUE FRANCE - DÉPÔT LÉGAL : AVRIL 2019

Abstract

Trends in exposure to heat waves and associated mortality in metropolitan France between 1970 and 2013

Heat waves are the most emblematic health risk directly influenced by climate change. The French national heat prevention (NHPP) plan focuses on those events likely to represent a risk for the majority of the population.

This study documents changes in population exposure to heat waves and the associated mortality impacts since 1970 in metropolitan France.

Heat waves were defined following the approach of the French heat warning system. The associated excess mortality was assessed by a comparison to the previous years. A Poisson regression investigated a possible influence of the implementation of the NHPP in 2004 on the mortality rates - intensity of heat waves relationship.

1,118 heat waves were identified between 1970 and 2016. The most intense and longest events were observed in 1976, 1983, 2003 and 2015. The population exposed to dangerous heat waves has doubled between 1974-1983 and 2004-2013. Around 32,000 excess deaths were observed during the 921 heatwaves recorded between 1974 and 2013. During those heatwaves, a one unit increase in intensity was associated to a relative risk of deaths of 1.17 [1.16 ; 1.18] before 2003 and a relative risk of 1.17 [1.10 ; 1.21] after 2003.

This study illustrates that changes in frequency, geographic and temporal spread of heat waves are already observed in France, increasing the exposure of the population. The absence of changes in the intensity-mortality relationship before and after the development of the NHPP underlines that a large impact remain possible especially if intensity similar or higher to the one recorded in 2003, which remains exceptional, were recorded.

KEY WORDS: HEAT WAVE, MORTALITY, CLIMATE CHANGE

Auteurs

Mathilde Pascal, direction santé environnement, Santé publique France, Saint-Maurice, France

Vérène Wagner, direction appui, traitements et analyses de données, Santé publique France, Saint-Maurice, France

Magali Corso, direction santé environnement, Santé publique France, Saint-Maurice, France

Karine Laaidi, direction santé environnement, Santé publique France, Saint-Maurice, France

Alain Le Tertre, direction santé environnement, Santé publique France, Saint-Maurice, France

Relecture scientifique

Michel Schneider, Météo-France

Remerciements

Catherine Calmet, Météo-France

John Nairn, *Centre for Australian Weather and Climate Research*

Abréviations

GES	Gaz à effet de serre
Giec	Groupe intergouvernemental d'experts sur le climat
O₃	Ozone
PM₁₀	Particule fine de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µg/m ³
PNC	Plan national canicule
Sacs	Système d'alerte canicule et santé
Psas	Programme air et santé
RR	Risque relatif

Sommaire

1. CONTEXTE	6
2. MÉTHODE	8
2.1. Données	8
2.2 Identification des périodes et des caractéristiques des canicules	9
2.3 Calcul de la part de la population exposée aux canicules	10
2.4 Calcul de la surmortalité pendant les canicules	10
2.5 Relation intensité-mortalité	11
3. RÉSULTATS	12
3.1 Caractéristiques des canicules entre 1970 et 2016	12
3.2 Évolution de la population exposée aux canicules	15
3.3 Surmortalité estimée pendant les canicules	16
3.4 Influence des caractéristiques des canicules sur la mortalité	20
4. DISCUSSION	21
4.1 Influence de l'intensité sur la mortalité pendant les canicules	21
4.2 Intégration de l'intensité dans le système d'alerte canicule et santé	23
5. CONCLUSIONS : VERS UNE PRÉVENTION DE L'ENSEMBLE DES IMPACTS DES VAGUES DE CHALEUR	24
Références bibliographiques	26
ANNEXES	28
Annexe 1. Comparaison de plusieurs définitions des vagues de chaleur sur la caractérisation de la surmortalité associée	28
Annexe 2. Caractéristiques des vagues de chaleur du Sacs par région	44

1. CONTEXTE

Exposé à une température élevée, l'organisme sollicite divers mécanismes de thermorégulation afin d'équilibrer les apports et les pertes de chaleur, et de maintenir la température interne autour de 36,8°C. Lorsque les apports dépassent les pertes, la température interne augmente progressivement, ce qui se traduit par des symptômes de plus en plus graves, allant jusqu'à l'hyperthermie et au décès (1). Plusieurs facteurs sanitaires, socio-économiques et environnementaux peuvent se combiner pour accroître la vulnérabilité à la chaleur, en jouant sur l'efficacité de la thermorégulation (ex âge, sédentarité, traitement médicamenteux...), sur l'exposition (ex îlot de chaleur urbain, activité physique), et sur la capacité à mettre en place des mesures de protections (ex conditions de travail, accès à l'information, capacités cognitives moindres...) (2-4).

De nombreuses études épidémiologiques retrouvent ainsi une relation en J ou en U entre la température extérieure et la mortalité totale (ex (5-8)), soulignant une augmentation rapide de la mortalité vers les très fortes températures (Figure 1). Ces études, dont les résultats sont très cohérents à travers le monde, indiquent que la chaleur n'a pas besoin d'être extrême ni durable pour constituer un risque pour la santé. Toutefois, plus une chaleur sera inhabituelle, plus la part de la population qui éprouvera des difficultés à maintenir une thermorégulation efficace augmentera (1).

Les vagues de chaleur, i.e. « *un temps inhabituellement chaud et sec ou chaud et humide, qui dure au moins deux à trois jours, et produit le plus souvent un impact sensible sur la santé humaine et les systèmes naturels* » (9) font l'objet d'une attention particulière, car elles ont le potentiel d'entraîner un emballement de la mortalité, comme en 2003 (10). Cette attention est motivée par la gravité des impacts sanitaires potentiellement associés, et par la rapidité avec laquelle ils surviennent. Elle s'inscrit également dans une logique d'adaptation au changement climatique. Selon le Groupe intergouvernemental d'experts sur le climat (Giec), il est très probable que depuis le milieu du 20^{ème} siècle, la fréquence des vagues de chaleur a augmenté sur une grande partie de l'Europe, de l'Asie et de l'Australie (11). En France, l'augmentation de la température et de la fréquence des vagues de chaleur est déjà documentée par Météo-France (12). Certaines vagues de chaleur récentes font l'objet d'analyses d'attribution visant à expliciter le rôle du changement climatique dans leur survenue. Par exemple, plusieurs études montrent que la probabilité d'occurrence d'un événement comme la canicule de 2003 a été multipliée par un facteur au moins égal à 2 du fait du changement climatique d'origine humaine. Quant aux vagues de chaleur tardives de l'été 2016, elles avaient très vraisemblablement une probabilité extrêmement faible de se produire dans un climat avec moins de gaz à effet de serre (13).

Dans ce contexte, mieux documenter les évolutions de l'exposition de la population aux vagues de chaleur, et des impacts sanitaires associés, devient essentiel pour orienter les politiques de prévention.

Dans la littérature, chaque étude épidémiologique et chaque plan de prévention adoptent une déclinaison différente de la définition générale des vagues de chaleurs, selon ses propres données et objectifs, avec des combinaisons d'intensité, de durée, voire d'étendue géographique (14). Cette absence de définition consensuelle et normalisée est un frein à l'évaluation des risques sanitaires (15). Dans cette étude, le choix a été fait de se concentrer sur les vagues de chaleur faisant l'objet des plus grands efforts de prévention depuis la mise en œuvre du plan national canicule (PNC) en 2004 (16). Ce plan cible particulièrement les canicules, caractérisées par l'instruction interministérielle du 22 mai 2018 relative au PNC comme des « *période où les moyennes glissantes sur trois jours des températures minimales et maximales atteignent des seuils d'alerte départementaux. Ces périodes sont susceptibles de constituer un risque pour l'ensemble de la population exposée. Les canicules*

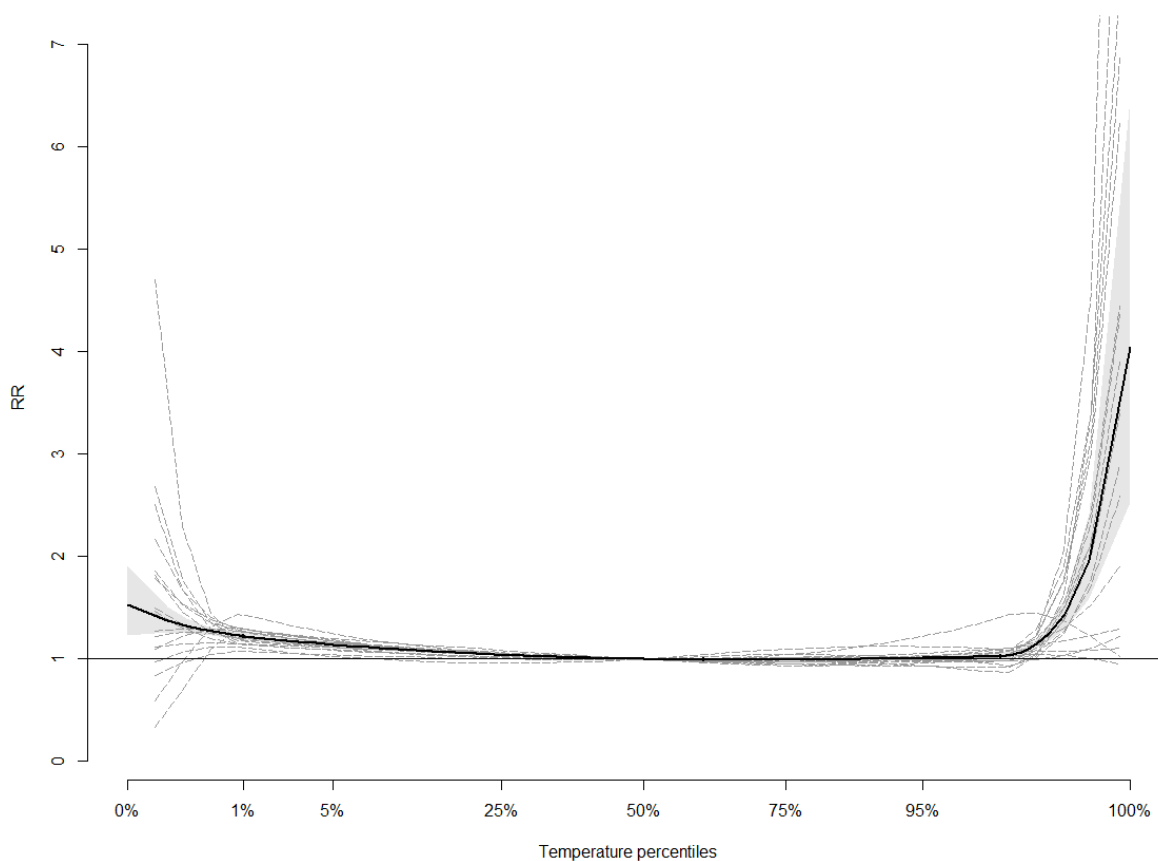
correspondent à un niveau de vigilance météorologique orange ou rouge». En effet, de tels événements nécessitent une mobilisation rapide, pour protéger les personnes, et éviter l'embolisation du système de soin (17).

Le PNC distingue également les épisodes persistant de chaleur, correspondant à «des périodes de température élevées qui perdurent dans le temps (supérieures à 3 jours), proche ou en-dessous des seuils d'alerte départementaux. Ces périodes constituent un risque pour les populations fragiles ou surexposées, et peuvent correspondre à un niveau de vigilance jaune ». (Instruction interministérielle du 22 mai 2018 relatif au plan national canicule).

Cette étude s'est attachée à reconstruire les périodes de canicule depuis les années 1970, et à en décrire les caractéristiques, l'exposition de la population, et la surmortalité associées dans les départements de France métropolitaine. Elle examine également l'influence possible de la mise en place du PNC en 2004 sur la relation entre l'intensité de ces canicules et la mortalité.

I FIGURE 1 I

Graphes des RR cumulés par villes (courbes en pointillé) et du RR cumulé issu de la méta-analyse (courbe en trait plein). Référence p50. I² de Higgings : 60%I (8)



2. MÉTHODE

Les définitions de canicule et d'épisode persistant de chaleur utilisées par le PNC étant dévolues à un système d'alerte fondé sur des prévisions météorologiques avec une visée d'anticipation, il a fallu les retravailler pour les appliquer de manière rétrospective sur plusieurs décennies.

La définition des canicules a été construite en conservant l'approche des températures minimales et maximales moyennées sur trois jours et comparés à des seuils départementaux.

La définition d'épisode persistant de chaleur étant plus délicate à définir rétrospectivement, car incluant une notion plus qualitative (températures élevées), elle n'a pas été reprise ici. A la place, des définitions de vagues de chaleur issues d'une analyse de la littérature, ont été testées.

Les périodes de canicules ont été identifiées dans chaque département métropolitain, sur la période 1970-2016, et décrite sur la base de caractéristiques proposées dans la littérature (nombre, intensité, sévérité, durée). L'étude décrit l'évolution de ces caractéristiques, ainsi que de la population exposée et de la surmortalité observée pendant les canicules. Le rapport privilégie une présentation par décennies avec une coupure en 2004, qui correspond à la mise en place du PNC.

L'étude a également recherché si une modification de la relation entre les caractéristiques des canicules et la mortalité été observée suite à la mise en place du PNC en 2004.

Les étapes correspondantes sont détaillées ci-dessous.

Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R.

2.1. Données

2.1.1 Température

Afin d'avoir de longues séries de données homogènes, dans chaque département, une température minimale et maximale journalière départementale issue d'une analyse spatialisée couplant données des stations de mesures et analyse topographique a été fournie par Météo-France, pour la période 1970-2016.

La cohérence de ces données a été contrôlée par Météo-France via la comparaison à de longues séries homogénéisées, tenant compte par exemple des évolutions instrumentales. A noter toutefois, que la qualité est considérée moins bonne sur la décennie 1970-1980 que pour les années suivantes.

2.1.2 Données de mortalité

Dans chaque département, la mortalité journalière toutes causes, tous âges, a été obtenue auprès du Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CepiDC) de l'Inserm pour la période 1970-2013.

2.1.3 Données de population

Dans chaque département, les données de population ont été obtenues auprès de l'Insee. Les données des recensements 1975, 1982, 1990 et 1999, 2008 et 2013 ont été utilisées

respectivement pour les années 1970 à 1979, 1980 à 1989, 1990 à 1999, 2000 à 2009, et 2010 à 2016.

2.2 Identification des périodes et des caractéristiques des canicules

L'indicateur utilisé dans le cadre du système d'alerte canicule et santé (Sacs) du PNC compare les moyennes glissantes sur trois jours des températures minimales et maximales à des percentiles de la distribution de ces moyennes glissantes.

Dans l'opération quotidienne du Sacs et de la vigilance canicule, les percentiles sont calculés par Météo-France pour une station de référence par département, pour les mois de juin à août des années 1981 à 2010, et en excluant 2003 de la série de données.

Dans le cadre de cette étude, il n'était pas possible d'appliquer des seuils définis pour des stations de référence aux données de températures départementales. Les seuils ont donc été recalculés pour chaque département, en s'appuyant sur les travaux de confirmation des seuils du Sacs (18). Ils correspondent aux percentiles 99,5 calculés sur l'année entière, pour la période 1981-2010, et en incluant 2003. Ils peuvent donc être légèrement différents des seuils actuellement utilisés par le Sacs (Annexe 1).

Une canicule est identifiée lorsque la température minimale moyennée sur trois jours, et la température maximale moyennée sur trois jours sont supérieures ou égales aux percentiles 99,5 de leur distribution respective (sur trois jours).

$$\frac{(T_{min i} + T_{min i-1} + T_{min i-2})}{3} \geq P99,5min \text{ et } \frac{(T_{max i} + T_{max i-1} + T_{max i-2})}{3} \geq P99,5max$$

Par définition, une canicule dure au moins trois jours, et démarre au jour $i-2$. Les canicules distantes de moins de trois jours sont reliées entre elles.

Chaque jour de la canicule, une variable de sévérité est calculée comme la différence entre les températures moyennées sur trois jours et les percentiles 99,5 des températures moyennées sur trois jours.

$$severité_i = \left(\frac{(T_{min i} + T_{min i-1} + T_{min i-2})}{3} - P99,5min \right) + \left(\frac{(T_{max i} + T_{max i-1} + T_{max i-2})}{3} - P99,5max \right)$$

La description des canicules s'appuie sur trois paramètres :

- La durée, i.e. le nombre de jour entre le premier et le dernier jour de la vague de chaleur
- La sévérité cumulée, qui correspond à la somme des sévérités journalières du premier au dernier jour de la canicule
- L'intensité, qui représente la plus forte sévérité journalière observée pendant la canicule.

Un travail similaire a été mené sur deux définitions alternatives des vagues de chaleur, et est résumé en Annexe 1.

2.3 Calcul de la part de la population exposée aux canicules

Chaque année, la part de la population exposée est calculée en sommant les populations des départements concernés par au moins une canicule pendant l'été.

2.4 Calcul de la surmortalité pendant les canicules

Le calcul de la surmortalité est restreint à la période 1970-2013, les données du CépiDC pour la période 2014-2016 n'étant pas encore disponibles.

La méthode de calcul de la surmortalité a été décrite par ailleurs (19). Elle ne fournit pas une estimation de la surmortalité attribuable à la chaleur, mais une estimation de l'excès de mortalité par rapport aux années précédentes, pendant la canicule. Cette méthode de comparaison aux années précédentes est déjà utilisée pour décrire rapidement la surmortalité pendant les canicules en France (20). Une comparaison avec des estimations obtenues par des modèles de séries temporelles montre que cette méthode est capable d'estimer correctement la surmortalité en cas d'augmentation marquée de la mortalité (19).

Dans chaque département, chaque jour la mortalité observée pendant les périodes de canicules allongées de 3 jours pour prendre en compte un éventuel effet décalé est comparée à des mortalités de référence construites à partir de la mortalité observée des une à cinq années précédentes.

Cinq mortalités de référence sont calculées en prenant les moyennes des mortalités observées le même jour les 1 à 5 années précédentes. Pour les années antérieures à 1975, le nombre d'année de référence est plus faible : 1 an pour 1971, et de 1 à 4 ans pour 1974.

Ainsi, pour une canicule une année N, la mortalité de référence correspondant à x années de référence Ref_x est la moyenne de la somme des mortalités journalières M_i observées pendant la même période, les années N-1 à N-x.

$$Ref_x = \frac{\sum_{k=1}^{k=x} \sum_{i=début}^{i=fin} M_{jour=i}^{année=N-k}}{x}$$

La surmortalité correspondant à x années de référence S_x est la différence entre la somme des mortalités journalières M_i de l'année N, et Ref_x . La surmortalité est exprimée en pourcentage PS_x par rapport à Ref_x .

$$S_x = \sum_{i=début}^{i=fin} M_{jour=i}^{année=N} - Ref_x$$
$$PS_x = 100 * \frac{\sum_{i=début}^{i=fin} M_{jour=i}^{année=N} - Ref_x}{Ref_x}$$

Les valeurs moyennes, minimales et maximales des cinq estimations sont présentées ici.

La méthode nécessite d'enlever les périodes de canicule des années utilisées pour le calcul des mortalités de références. Dans cette étude, afin de pouvoir mener des analyses de sensibilité sur l'influence de la définition des vagues de chaleur, les périodes enlevées des années de référence sont un peu plus large que les périodes strictes de canicule, ainsi que détaillé en Annexe 1.

Enfin, la surmortalité n'a pas pu être calculée pour les vagues de chaleur dans les départements de Corse avant 1980 (date de leur création). La surmortalité n'a pas pu être calculée pour certaines vagues de chaleur de 1971, lorsque des vagues de chaleur étaient également observées pendant les mêmes jours de 1970.

2.5 Relation intensité-mortalité

Une régression de Poisson entre les taux de mortalité et l'intensité des canicules par département a été réalisée pour rechercher une éventuelle modification de la réponse après la mise en place du PNC en 2004. L'année a été introduite dans le modèle à l'aide d'une spline linéaire avec un nœud en 1992, année à partir de laquelle on observe une modification globale des données de mortalité. Un terme d'interaction entre l'intensité des canicules et un indicateur pré et post 2003 a été également introduit. Les résultats sont exprimés en pourcentage d'augmentation du taux de mortalité pour une augmentation d'1°C de l'intensité.

3. RÉSULTATS

3.1 Caractéristiques des canicules entre 1970 et 2016

Entre 1970 et 2016, 1 118 canicules départementales sont identifiées, totalisant 5 401 jours de canicule (Tableau 1). En moyenne, il y a 12 canicules par départements entre 1970 et 2016 (5 dans les départements les moins touchés, 20 dans ceux les plus concernés). La majorité des canicules sont concentrées en juillet et août.

Au niveau national, on observe une augmentation du nombre de canicules au fil des décennies, une tendance qui s'observe également dans la moitié des régions. A noter que les résultats sont moins robustes au niveau régional, certains départements ayant connus très peu d'épisodes. Certaines régions ont par ailleurs connus une augmentation très marquée depuis la décennie 1994-2003, à l'image des régions Grand-Est ou Auvergne-Rhône-Alpes (Tableau 2).

De plus, dans la majorité des départements, plus de la moitié des canicules sont survenues après 2004 (Figure 2). Dans 51 départements, il y a déjà eu autant ou plus de canicules en trois ans entre 2014 et 2016, qu'en dix ans entre 1974 et 1983.

La durée médiane est de 4 jours, la canicule la plus longue ayant duré 19 jours. Des canicules très intenses, sévères et longues ont été observées dans toutes les décennies (Tableau 1) (Figure 3), les événements les plus marquants étant concentrés en 1976, 1983, 2003 et 2015. Les canicules de 2003 se distinguent très nettement et n'ont aucun équivalent sur la période (Figure 4). Le détail par région est donné en Annexe 2. En Bretagne, en Corse et dans les Hauts-de-France, aucune vague de chaleur d'intensité élevée (i.e. appartenant au dernier quartile de la distribution des intensités nationales) n'a été observée entre 2004 et 2016 (Annexe 2).

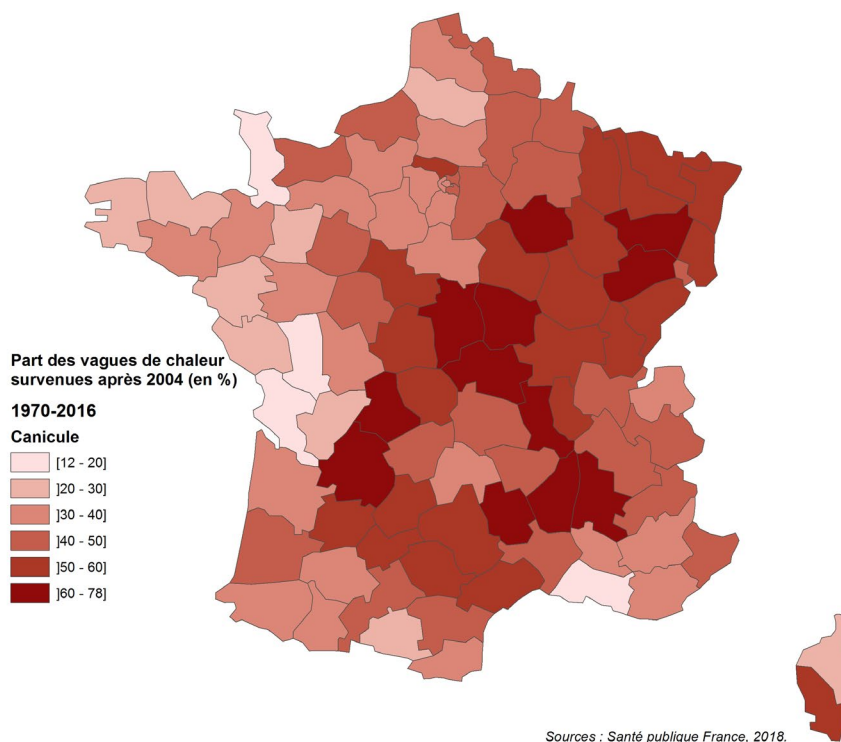
I TABLEAU 1 I

Nombre de canicules et de jours de canicules par décennies

	1970-1973 (4 ans)	1974-1983 (10 ans)	1984-1993 (10 ans)	1994-2003 (10 ans)	2004-2013 (10 ans)	2014-2016 (3 ans)
Nombre de canicules départementales	10	166	135	288	332	187
débutant en juin	0	37	21	30	28	17
débutant en juillet	8	98	38	77	188	114
débutant en août	2	31	76	181	116	55
débutant en septembre	0	0	0	0	0	1
Durée médiane (jours)	3,5	5	3	4	4	3
(minimale : maximale)	(3 :5)	(3 :15)	(3 :5)	(3 :19)	(3 :11)	(3 :8)
Intensité médiane	1,4	2,7	2,2	2,2	2,1	2,2
(minimale : maximale)	(0,6 :2,2)	(0,1 :7,5)	(0,1 :8,3)	(0,03 :11,5)	(0,1 :5,6)	(0,1 :8,0)
Sévérité cumulée médiane	2,3	5,1	2,3	3,2	2,7	2,7
(minimale : maximale)	(0,6 :4,0)	(0,1 :73,4)	(0,1 :18,4)	(0,03 :86,0)	(0,1 :21,1)	(0,1 :28,3)

I FIGURE 2 I

Part des canicules (%) de la période 1970-2016 survenant après 2004



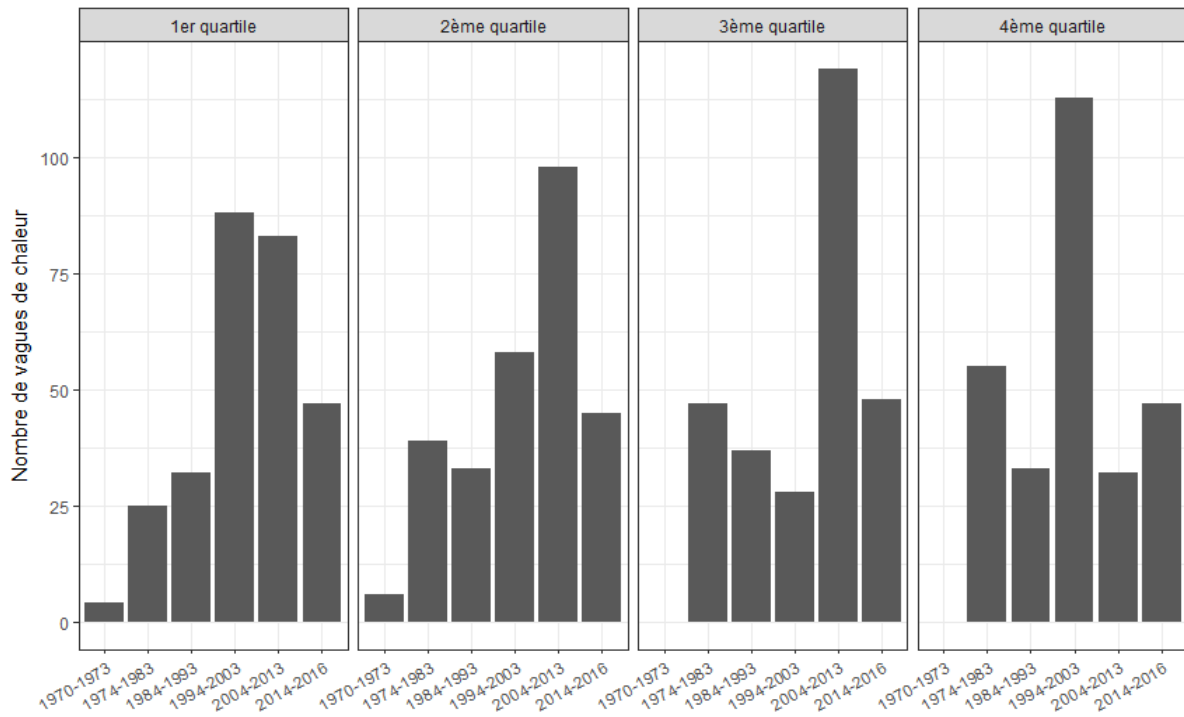
I TABLEAU 2 I

Nombre de canicules par décennies et par régions

	1970-1973 (4 ans)	1974-1983 (10 ans)	1984-1993 (10 ans)	1994-2003 (10 ans)	2004-2013 (10 ans)	2014-2016 (3 ans)
Auvergne-Rhône-Alpes	0	19	14	47	53	31
Bourgogne-Franche-Comté	0	8	7	28	39	19
Bretagne	4	12	7	8	9	4
Centre-Val de Loire	0	11	13	8	25	6
Corse	0	2	1	10	5	4
Grand Est	0	13	9	43	44	43
Hauts-de-France	0	10	9	24	12	13
Île-de-France	0	19	13	27	23	22
Normandie	1	12	12	16	18	9
Nouvelle-Aquitaine	1	16	17	22	35	8
Occitanie	0	17	18	26	42	14
PACA	0	14	2	18	12	9
Pays de la Loire	4	13	13	11	15	5

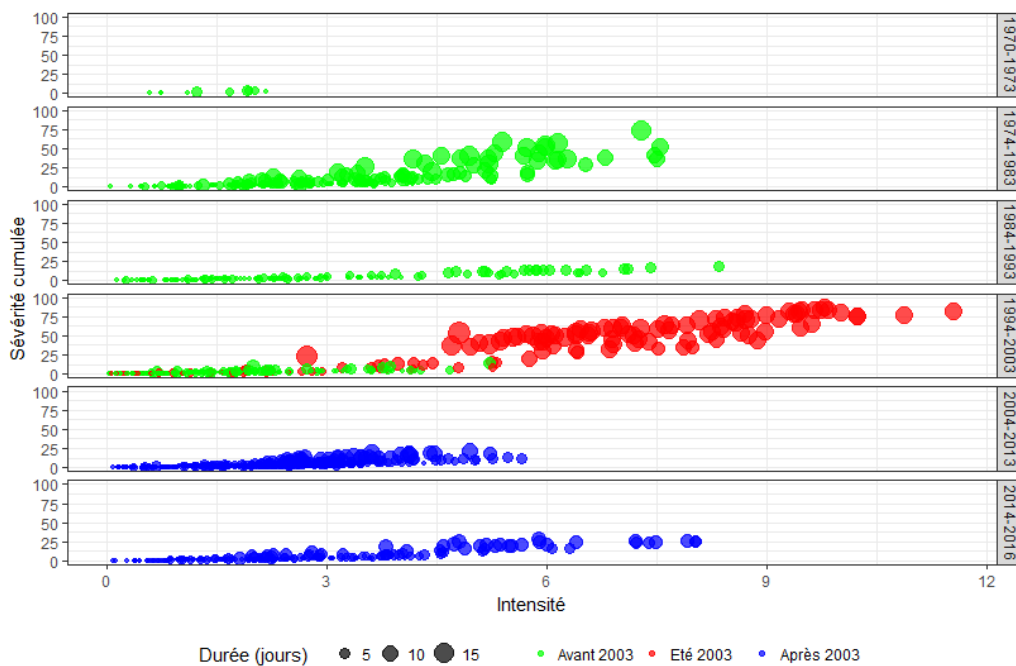
I FIGURE 3 I

Nombre de canicules par quartiles d'intensité et par décennies



I FIGURE 4 I

Intensité, sévérité et durée des canicules départementales

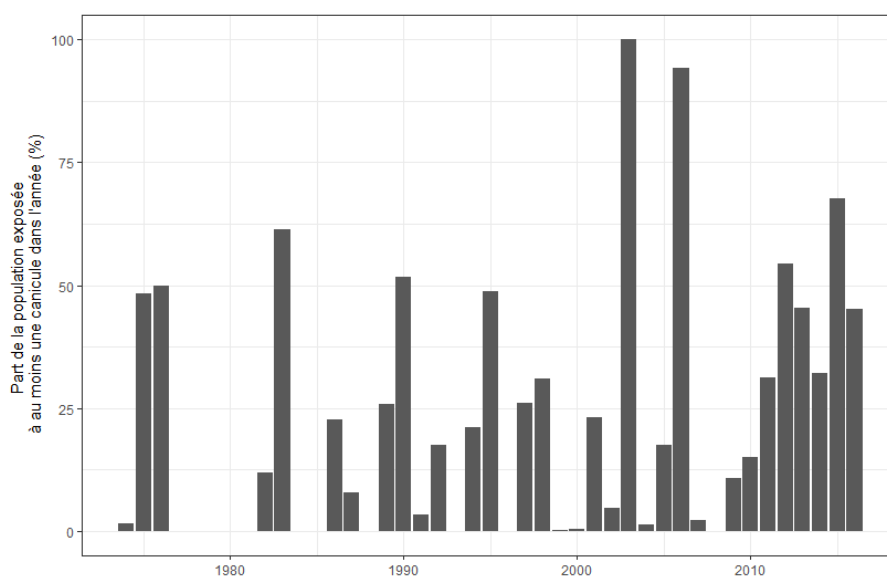


3.2 Évolution de la population exposée aux canicules

Selon les années, entre 0,2 et 100 % de la population est exposée à au moins une canicule par été. Seules les années 2003 et 2006 exposent plus de 95% de la population française à au moins une canicule (Figure 5).

I FIGURE 5 I

Pourcentage de la population exposée à au moins une canicule dans l'année

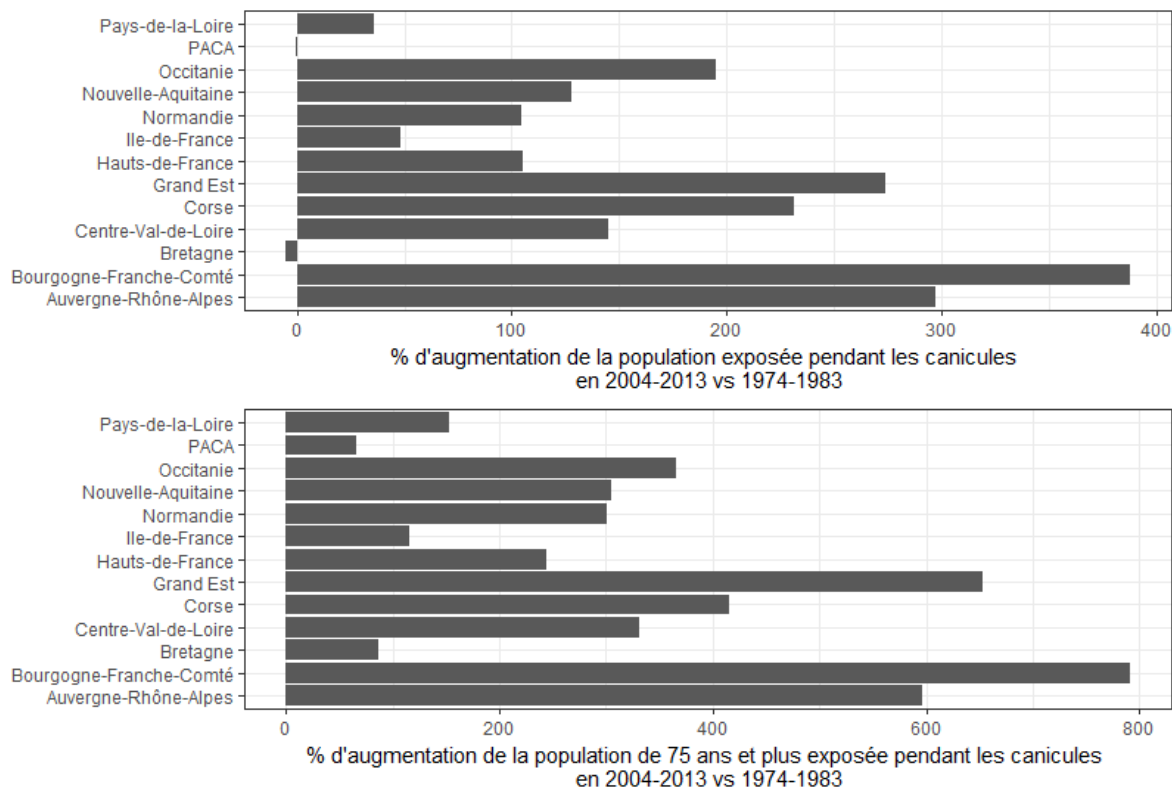


Entre les recensements 1975 et 2013, la population a augmenté de 14 334 384 personnes, et la part des 75 ans et plus est passé de 5% (2 658 560 personnes) à 9% (5 894 287). La population exposée à la chaleur, et sa vulnérabilité liée à l'âge a donc augmenté indépendamment du nombre de canicules.

Ainsi, on observe un doublement du nombre de canicules et de la population exposée entre 1974-1983 et 2004-2013 pour la France entière. L'augmentation de l'exposition de la population est la plus marquée en Bourgogne-Franche Comté, Auvergne-Rhône-Alpes et dans le Grand Est. À noter qu'en Bretagne et qu'en PACA, il y a eu plus de vagues de chaleur en 1974-1983, reflet des vagues de chaleur de l'été 1983, mais que la population exposée à quand même augmentée, en particulier pour les 75 ans et plus (Figure 6) (Annexe 2).

I FIGURE 6 I

% d'augmentation du nombre de vagues de chaleur et de la population exposée par région entre 1974-1983 et 2004-2013 (par rapport aux valeurs de 1974-1983)



3.3 Surmortalité estimée pendant les canicules

3.3.1. Description des données de mortalité

Entre 1970 et 2013, 23 614 188 décès toutes causes ont été observés en France. La contribution de la mortalité estivale (mai - octobre) à la mortalité totale n'a pas évolué sur la période d'étude (Tableau 3). Au niveau national, on observe une diminution des taux de mortalité entre les années 70 et 2000. Ceci se retrouve également sur les taux estivaux et hivernaux (Figure 7). La même tendance est observée, plus ou moins marquée dans les régions. En Île-de-France et Centre-Val de Loire, le taux de mortalité estivale en 2003 dépasse le taux de mortalité hivernale, ce qui n'est observé pour aucune autre région ni aucune autre année.

Une baisse de la mortalité est observée en 2004, dont les causes ne sont pas totalement élucidées. Notamment, cette baisse n'est pas explicable par un effet moisson due à la canicule de 2003, *i.e.* a des décès qui auraient été avancés de quelques mois (21).

I FIGURE 7 I

Évolution de la mortalité totale (effectifs et taux pour 100 000 habitants), en été et en hiver entre 1974 et 2013



I TABLEAU 3 I

Mortalité en hiver et en été par décennie

	Nombre total de décès			Ratio
	Hiver (novembre – avril)	Été (mai – octobre)	Total	Été/Total
1971-1973	1 170 380	1 024 776	2 195 156	0,47
1974-1983	2 847 980	2 605 130	5 480 110	0,48
1984-1993	2 793 800	2 507 385	5 301 185	0,47
1994-2003	2 796 519	2 521 084	5 317 603	0,48
2004-2013	2 817 479	2 502 655	5 320 134	0,47

3.3.2. Surmortalité observée pendant les canicules

Pendant les 931 vagues de chaleur de la période 1971-2013 on observe une surmortalité de 32 067 [27 499: 36 604] décès, dont près de la moitié correspondent à la seule année 2003. Il n'y a pas de tendance globale à l'augmentation ou à la diminution de la surmortalité observée pendant les canicules par décennie, ni au niveau national (Tableau 4) ni à l'échelle régionale (Tableau 7). Les canicules avec les intensités les plus élevées sont associées à une surmortalité plus importante (Tableau 5). Le détail pour les quatre années cumulant le plus grand nombre de canicules départementales est donné par le Tableau 6.

I TABLEAU 4 I

Surmortalités estimées sur l'ensemble des canicules par décennies

	1971-1973	1974-1983	1984-1993	1994-2003	2004-2013	1971-2013
Nombre d'épisodes	10	166	135	288	332	931
Surmortalité totale*	406 [388 :416]	9 957 [9 050 :10 902]	2 149 [1 572 :2 712]	17 274 [15 817 :18 730]	2 281 [672 :3 844]	32 067 [27 499 :36 604]
Surmortalité totale** %	28 [27 :29]	29 [27 :32]	15 [11 :19]	31 [29 :34]	7 [2 :11]	23 [20 :26]

* somme de la surmortalité moyenne, minimale et maximale, sur l'ensemble des vagues de chaleur départementales.

**% par rapport à la mortalité totale attendue sur la période et dans les départements concernés par les épisodes.

I TABLEAU 5 I

Surmortalité selon la classe d'intensité des canicules

	1 ^{er} quartile d'intensité	2 ^e quartile d'intensité	3 ^e quartile d'intensité	4 ^e quartile d'intensité
Nombre de vagues de chaleur		275	273	279
Nombre de jours		865	960	1 253
Nombre de décès en excès		2 010	3 148	4 223
%		[997 :2 868]	[2 165 :4 139]	[3 022 :5 421]
		10	13	14
		[5 :14]	[9 :16]	[10 :19]
				[20 916 :23 745]
				36
				[33 :38]

I TABLEAU 6 I

Surmortalité estimée France entière sur l'ensemble des canicules, pour les années avec le plus grands nombre de canicules départementales, les plus intenses

	2003	1976	1983	2006
Nombre de canicules départementales pendant l'été	145	38	75	122
Sévérité cumulée sur l'ensemble des canicules	5 140	1 072	598	729
Intensité moyenne (min : max)	5,4 (0,1 :11,6)	4,7 (1,1 :7,5)	2,7 (0,5:6,3)	2,4 (0,1 :5,2)
Surmortalité totale*	15 257 [14 482 :16 067]	4 540 [4 277 :4 772]	2 900 [2 536 : 3 306]	1 442 [799 :2 146]
Surmortalité totale** %	40 [38 :43]	34 [32 :36]	26 [23 :29]	9 [6 :14]

I TABLEAU 7 I

Surmortalité par région et décennie pendant les canicules

	1974-1983	1984-1993	1994-2003	2004-2013	
Auvergne- Rhône-Alpes	Nombre de	884	53	1 825	165
	décès en excès	[798 :1001]	[-10 :99]	[1 536 : 2 073]	[-83 :418]
	%	28 [25 :32]	6 [-1 :11]	25 [21 :28]	3 [-2 :8]
Bourgogne- Franche-Comté	Nombre de	170	35	954	163
	décès en excès	[150 :195]	[7 :58]	[874 : 1 036]	[16 :306]
	%	22 [20 :26]	9 [2 :15]	34 [31 :37]	6 [1 :12]
Bretagne	Nombre de	1 120	221 [199 :245]	391	1
	décès en excès	[1 030 : 1 198]		[344 :435]	[-90 :45]
	%	32 [29 :34]	19 [17 :21]	21 [18 :23]	0 [-8 :4]
Centre-Val de Loire	Nombre de	326	154	1 239	46
	décès en excès	[267 :375]	[89 :194]	[1 193 : 1 283]	[-65 :138]
	%	27 [22 :31]	16 [9 :20]	56 [24 :28]	3 [-4 :8]
Corse	Nombre de	60	-6	50	-11
	décès en excès	[53 :63]	[-6 :-5]	[30 :74]	[-25 :-1]
	%	33 [29 :35]	-27 [-29 :22]	12 [7 :18]	-9 [-20 :-1]
Grand Est	Nombre de	285	27	1 419	439 [213 :675]
	décès en excès	[226 :375]	[0 :65]	[1 226 :1 602]	
	%	20 [16 :26]	4 [0 :10]	24 [20 :27]	10 [5 :16]
Hauts-de- France	Nombre de	633	256 [201 :335]	1 096	293 [193 :384]
	décès en excès	[574 :695]		[938 :1 240]	
	%	24 [22 :26]	13 [10 :17]	17 [15 :20]	9 [6 :12]
Île-de-France	Nombre de	2 874	548 [459 :637]	5 460	393
	décès en excès	[2 701 : 3 068]		[5 284 :5 697]	[257 :577]
	%	32 [30 :34]	18 [15 :21]	47 [45 :49]	9 [6 :13]
Normandie	Nombre de	553	209 [153 :271]	581	139
	décès en excès	[497 :618]		[491 :664]	[23 :233]
	%	25 [23 :28]	15 [11 :20]	21 [18 :24]	6 [1 :11]
Nouvelle- Aquitaine	Nombre de	462	250 [201 :304]	1 421	224
	décès en excès	[408 :507]		[1 306 :1 525]	[83 :390]
	%	27 [24 :30]	19 [15 :23]	33 [31 :36]	7 [3 :12]
Occitanie	Nombre de	334	110	815	151
	décès en excès	[260 :412]	[49 :169]	[696 :947]	[8 :286]
	%	21 [17 :26]	11 [5 :17]	25 [22 :29]	5 [0 :10]
PACA	Nombre de	1 015	8	1 019	108
	décès en excès	[927 :1 095]	[4 :10]	[938 :1 109]	[47 :162]
	%	30 [28 :33]	15 [8 :19]	29 [27 :32]	6 [2 :8]
Pays de la Loire	Nombre de	1 242	284 [225 :330]	1 005	169
	décès en excès	[1 169 :1 300]		[961 :1 044]	[95 :231]
	%	40 [37 :42]	19 [15 :22]	41 [39 :43]	11 [6 :15]
France métropolitaine	Nombre de	9 957	2 149	17 274	2 281
	décès en excès	[9 050 :10 902]	[1 572 :2 712]	[15 817 :18 730]	[672 :3 844]
	%	29 [27 :32]	15 [11 :19]	31 [29 :34]	7 [2 :11]

* Pour faciliter la présentation des résultats par décennie et par région, on se concentre sur la période 1974-2013. Ceci revient à enlever du jeu de données les 10 vagues de chaleur de la période 1970-1973, correspondant à 37 jours), et à 406 [388 :416] décès observés en excès pendant ces périodes.

3.4 Influence des caractéristiques des canicules sur la mortalité

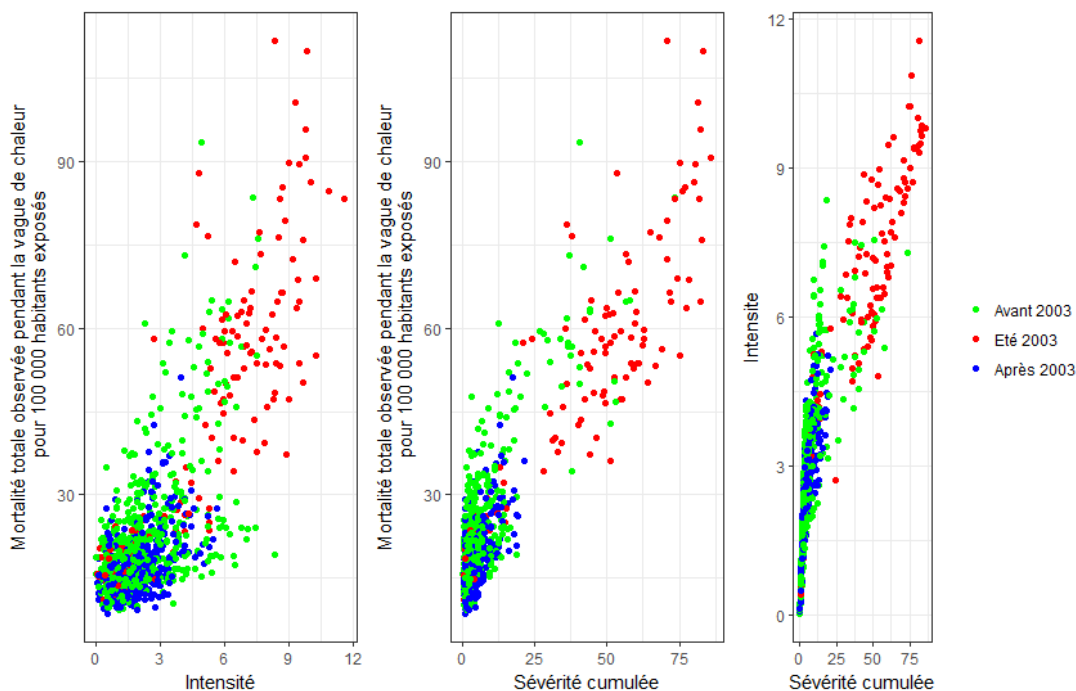
Lorsqu'on s'intéresse à la mortalité totale observée pendant chaque canicule (i.e. sans estimation de la part en excès), on retrouve également une relation nette entre cette mortalité (en taux pour 100 000 habitants exposés), l'intensité et la sévérité cumulée des canicules (Figure 8).

La modélisation de la relation entre taux de mortalité et intensité retrouve qu'une augmentation d'une unité de l'intensité est associée à une augmentation de 17 % [16% : 18%] avant 2003 et également de 17% [10% : 21%] après 2003. Il n'y a pas de différence de réponse avant et après la mise en place du PNC, mais on observe un décalage dans le niveau de base de la mortalité. Ce niveau de base est 33% [25% : 43%] inférieur après 2003 vs avant 2003.

Lorsqu'on exclut 2003, l'augmentation de la mortalité pour une augmentation d'une unité de l'intensité est de 12% [11% : 14%] avant 2003 et 15% [11% : 18%] après 2003, et le décalage dans le niveau de base de la mortalité disparaît. Ce niveau de base est 0,09% [0,07 : 28%] supérieur après 2003 vs avant 2003.

I FIGURE 8 I

Mortalité totale observée pendant la vague de chaleur (pour 100 000 habitants exposés) vs intensité et sévérité cumulée canicules



4. DISCUSSION

Cette étude illustre l'augmentation déjà visible du nombre de canicules, et de la population exposée, entre 1970 et 2016. Cette augmentation est particulièrement marquée dans certaines régions telles que Grand Est, Auvergne-Rhône-Alpes et Bourgogne-Franche-Comté.

On n'observe par contre pas de tendance nette à l'augmentation des caractéristiques des canicules : intensité, sévérité ou durée. Les événements les plus marquants de ce point de vue sont concentrés en 1976, 1983, 2003 et 2015. Au niveau national, et dans la quasi-totalité des départements, les canicules de 2003 demeurent d'intensités inégalées, i.e. deux à trois fois plus intenses que toutes les autres canicules observées sur la période.

Au total, on estime une surmortalité de près de 32 000 décès pendant les 921 périodes de canicules identifiées entre 1974 et 2013. Les modifications d'impacts au cours du temps sont délicates à interpréter, en particulier pour les canicules très intenses qui demeurent rares. De plus, dans un grand nombre de départements, il y a autant ou davantage de canicules observées entre 2004 et 2016 qu'entre 1970 et 2003, i.e. avec peu de canicules comparables en termes de durée, intensité et sévérité.

4.1 Influence de l'intensité sur la mortalité pendant les canicules

La modélisation de la relation entre la mortalité totale et l'intensité pendant les canicules montre une réponse similaire avant 2003 et après 2003, avec une augmentation de l'ordre de 17% du taux de mortalité pour un degré d'intensité supplémentaire. Ces résultats soulignent l'intérêt de qualifier les canicules du point de vue de l'intensité et de la sévérité cumulée pour aider au dimensionnement de la prévention. Ils montrent également qu'au niveau départemental, la réponse de la mortalité à l'intensité de la chaleur n'a pas changé après la mise en place du PNC en 2004. Enfin, ils mettent en évidence que 2003 ne présente pas une rupture dans la relation température-mortalité, mais se distingue par une intensité et une sévérité sans équivalent historique sur la période analysée.

Plusieurs canicules ont été observées pendant les étés 2015 à 2018, avec des intensités parfois élevées. Dans plusieurs départements, les événements observés en 2015 ou 2018 se situent comme des intermédiaires entre 2006 et 2003 (exemple de la Figure 9 pour 2015). L'impact total estimé sur la base de la mortalité Insee extrapolée à partir d'un échantillon de 3 000 communes est de l'ordre de 4 200 décès, dont 1 700 en 2015 et 1 600 en 2018. Il sera utile de conforter ces estimations, et d'étudier l'influence de l'intensité sur la mortalité ces années-là lorsque les données de mortalité consolidées seront disponibles via le CépiDC.

L'absence de modification de la réponse entre 1971-2003 et 2004-2013 est cohérente avec les travaux menés dans 18 villes qui ne retrouvaient pas non plus de modification du risque relatif avant et après 2003, mais portaient sur une période plus courte (2000-2010) (8). Ces résultats indiquent que les efforts déployés dans le cadre du PNC ne se traduisent pas par une maîtrise du risque, et qu'un impact très important demeure possible en particulier pour des intensités similaires ou supérieures à celle de 2003.

Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer ces résultats, tels que :

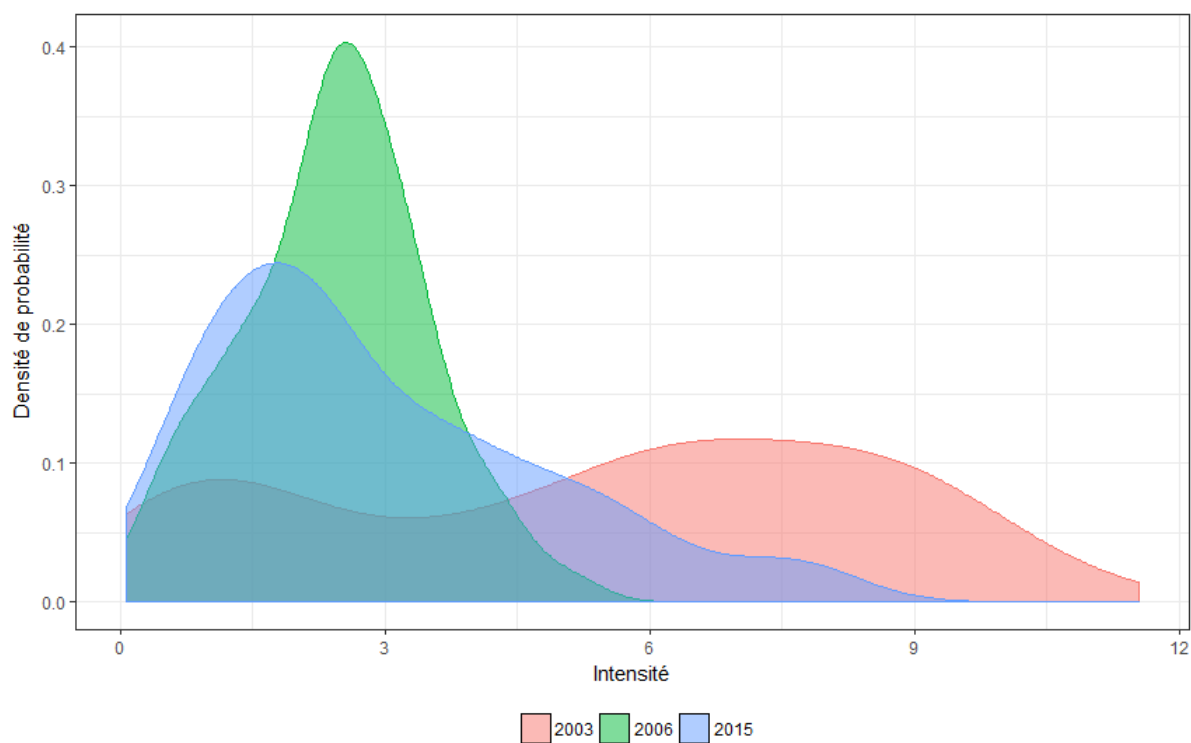
- la faible perception du risque sanitaire lié à la chaleur freinant l'adoption des comportements de prévention.
- des circuits de diffusion touchant moins les personnes les plus vulnérables.
- l'impossibilité de réduire véritablement son exposition, notamment dans le cadre professionnel, et dans les logements mal isolés.
- une analyse qualitative a mis en évidence l'existence de disparités importantes dans la mise en œuvre des actions (23).

Enfin, il faut souligner qu'un décalage du niveau de base de la mortalité après 2003 a été précédemment décrit dans la littérature, sans hypothèse privilégiée pour l'expliquer. Cette baisse pourrait être le reflet d'un bénéfice des politiques globales d'amélioration de la santé en particulier en direction des populations les plus âgées et isolées (21). La mortalité devrait par ailleurs augmenter dans les prochaines années, en lien avec le vieillissement de la population (24).

Enfin, ces résultats devront être confirmés par des analyses plus détaillées, s'appuyant sur les 20 villes du réseau de surveillance climat et santé (l'échelle de la ville permettant notamment une caractérisation plus précise de l'exposition de la population que l'échelle départementale)

I FIGURE 9 I

Distribution de l'intensité des vagues de chaleur identifiées en 2003, 2006 et 2015



4.2 Intégration de l'intensité dans le système d'alerte canicule et santé

Dans le cadre du PNC, les canicules sont identifiées selon les critères du Sacs, qui s'appuie sur la probabilité, dans chaque département, que des températures minimales et maximales, prédites pour des stations météorologique de références départementales, moyennées sur trois jours glissants, dépassent des seuils d'alerte prédéfinis (18, 25). Ces seuils ont été choisis pour répondre à un objectif opérationnel précis : anticiper, avec le moins d'erreur possible, et de manière cohérente sur l'ensemble du territoire, les canicules présentant un risque majeur de surmortalité, et nécessitant la mise en œuvre par de nombreux acteurs institutionnels et professionnels d'actions de prévention et de gestion. Il ne s'agit donc pas d'identifier l'ensemble des vagues de chaleur, mais uniquement celles qui nécessitent d'organiser au mieux les mesures de prévention et de gestion pour éviter un impact massif. Les résultats de cette étude confirment que cette approche fondée sur des seuils très élevés permet d'identifier les jours les plus dangereux du point de vue de la mortalité, comparativement aux deux autres définitions testées.

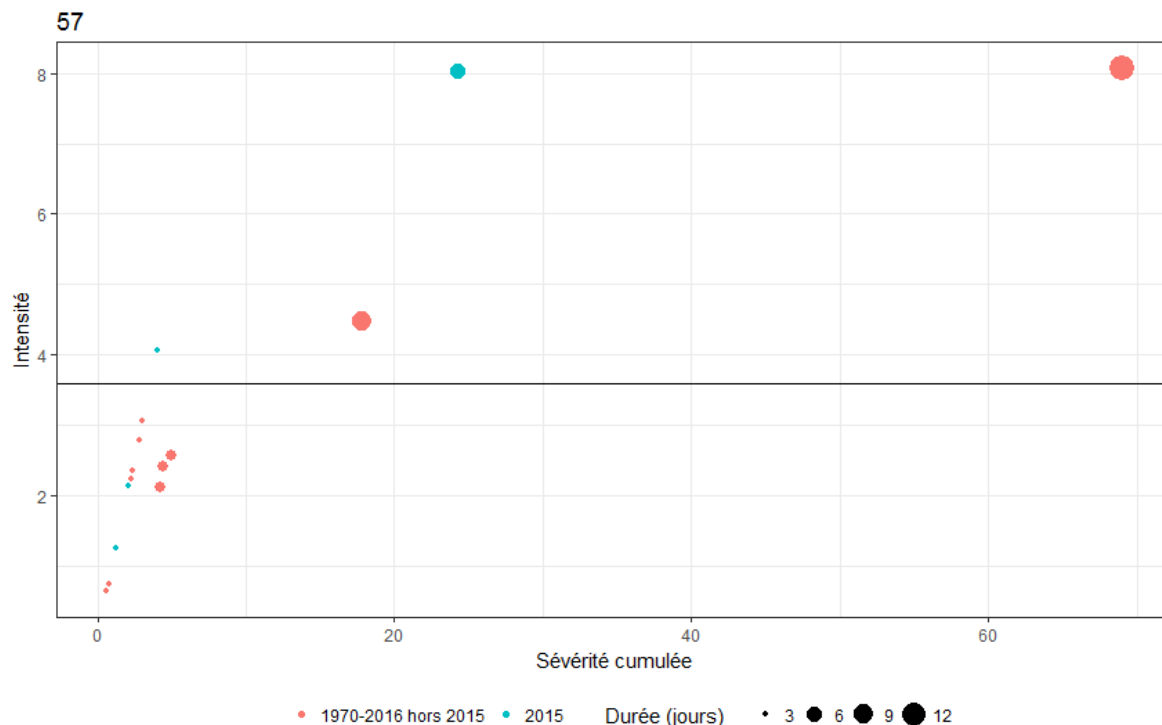
Pendant l'été, dans une logique opérationnelle, l'analyse de risque se fait sur la base de probabilité de dépasser les seuils, afin d'intégrer les incertitudes inhérentes à la prévision météorologique. Cette analyse du risque permet de classer chaque jour, chaque département, selon des niveaux de vigilance canicule gradués, correspondants à des niveaux du PNC : vigilance verte/veille saisonnière, vigilance jaune/avertissement chaleur, vigilance orange/alerte canicule, et vigilance rouge/mobilisation maximale. Le niveau vert correspond à une chaleur habituelle pour l'été, le niveau orange à un risque de dépassement très élevé des seuils d'alerte. Le niveau jaune peut couvrir plusieurs situations : pic de chaleur intense mais sur une seule journée, températures s'approchant des seuils sur plusieurs jours, anticipation d'un passage en niveau orange dans les jours suivants, ou fin d'une canicule plus importante. Le niveau rouge prend en compte l'extension géographique, et l'observation d'impacts intersectoriels. Il aurait par exemple correspondu à la canicule d'août 2003, et n'a jamais été utilisé depuis la mise en œuvre du PNC. Cette analyse est plutôt protectrice pour la population, i.e. il y a davantage de départements classés en vigilance jaune et orange que de dépassements réels des seuils d'alerte (22). Ceci permet donc de couvrir une palette plus large de situations, sans trop augmenter le nombre d'alertes. On note toutefois que le niveau de vigilance jaune est mal connu, alors qu'il peut correspondre à une chaleur courte mais très intense, voire à un dépassement des seuils d'alerte.

Après plusieurs années d'opération du Sacs, il apparaît qu'il serait utile de compléter ces niveaux de vigilance et de gestion par une qualification plus fine des caractéristiques d'une canicule à l'échelle départementale, en particulier de leur intensité, et pour la positionner par rapport à d'autres vagues de chaleur. Ceci contribuerait à l'aide à la décision pendant l'alerte, et fournirait des éléments de comparaison historique pour les bilans post-alerte. Il ne s'agirait alors pas de réduire les actions déjà mises en œuvre pour les vagues de chaleur les moins intenses, mais de renforcer davantage celles des canicules très intenses, voire de proposer un passage en niveau rouge sans attendre l'observation d'impacts intersectoriels, et donc de gagner du temps.

Par exemple, la Figure 10 illustre le caractère remarquable de la vague de chaleur de juin 2015 dans le département 57, avec une intensité similaire à 2003 mais une sévérité et une durée moindre, et un classement dans le dernier quartile de la distribution des intensités. Ceci indique une vague de chaleur nécessitant un renforcement des mesures de prévention, par rapport aux autres événements connus dans ce département depuis 1970, hors 2003.

I FIGURE 10 I

Exemple de position d'une canicule départementale par rapport aux canicules des années 1970-2016 – Canicule de 2015



5. CONCLUSIONS : VERS UNE PRÉVENTION DE L'ENSEMBLE DES IMPACTS DES VAGUES DE CHALEUR

Les analyses portant sur des définitions alternatives de vagues de chaleur présentées en Annexe 1 illustrent que ces définitions peuvent modifier de manière conséquente le nombre d'événements identifiés, et l'estimation des impacts associés. Ainsi, les 1 118 canicules identifiées sur la période sont à comparer aux 3 606 et 13 282 vagues de chaleur identifiées par les deux définitions alternatives testées (les canicules faisant partie de ces vagues de chaleur). Plus le nombre de vagues de chaleur identifiées est important plus le nombre de décès en excès associé est conséquent. Ceci est attendu, les études épidémiologiques internationales (7 , 26) et françaises (8) documentant un impact de la chaleur sur la mortalité dès des températures modérées, inférieures aux seuils utilisées pour définir les vagues de chaleur et a fortiori les canicules. Bien que faible, cet impact de la chaleur modérée s'applique un grand nombre de jour, et représente donc un poids de santé publique conséquent.

Cette étude montre également que la mortalité et l'intensité dans la chaleur sont fortement liées, et que certaines vagues de chaleur très intenses sont associées à un risque de surmortalité très élevé, d'où l'intérêt de les distinguer en tant que canicules.

Ces points suscitent des débat sur la manière dont il faut fixer les seuils des systèmes d'alerte canicule (9) : en ciblant les canicules, comme c'est le cas actuellement en France, on n'évite qu'un nombre réduit des décès attribuables à la chaleur, mais on minimise le nombre d'alerte.

En fixant un seuil plus bas, on évite un grand nombre de décès attribuables à la chaleur, au prix d'alertes très fréquentes (dans le deux cas, en supposant que le fait de lancer une alerte soit efficace pour éviter la mortalité liée à la chaleur, ce que n'a pas démontré cette étude au vu de la constance du risque en fonction de l'intensité avant et après la mise en place du PNC). Dans un contexte d'augmentation du nombre de vagues de chaleur, et de faible perception du risque dans la population, ce débat ne peut pas être résolu en considérant l'alerte comme le seul outil de prévention des impacts sanitaires de la chaleur. Il apparaît au contraire raisonnable de conserver une gestion de l'alerte ciblée sur les vagues de chaleur les plus graves, complétées par une prévention de fond des impacts de la chaleur tout au long de l'été. Cette prévention passe par l'éducation de la population générale, la formation des professionnels (professionnel de santé, de la petite enfance, des sports, des travailleurs), par l'amélioration du confort thermique des logements, la réduction des îlots de chaleur urbain, le développement du lien social...

Ce renforcement de la prévention est d'autant plus important que selon les scénarios d'émission de gaz à effet de serre (GES) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), l'intensité, la durée et surtout la période de survenue des vagues de chaleur évolueront plus ou moins rapidement. Pour l'horizon 2021-2050, il y a peu de différence entre les scénarii. Au-delà de 2050, les vagues de chaleur seront extrêmement plus intenses, durables, précoces (dès le mois de mai) ou tardives (jusqu'en octobre) en cas d'accroissement des GES. Ainsi, sous le scénario RCP 8.5, les vagues de chaleur pourraient devenir deux à trois fois plus nombreuses d'ici le milieu du 21^e siècle puis cinq à six fois plus nombreuses à la fin du siècle. Un peu moins de 10 % des vagues de chaleur observées pourraient être au moins aussi sévères que la canicule de 2003.

Dans les prochaines années, la multiplication des vagues de chaleur et des canicules semble donc inévitable et incite à inscrire la prévention dans une démarche plus large d'adaptation au changement climatique.

Références bibliographiques

1. Hanna EG, Tait PW. Limitations to Thermoregulation and Acclimatization Challenge Human Adaptation to Global Warming. *International journal of environmental research and public health*. 2015;12(7):8034-74.
2. Gronlund CJ. Racial and socioeconomic disparities in heat-related health effects and their mechanisms: a review. *Curr Epidemiol Rep*. 2014;1(3):165-73.
3. Hansen A, Bi L, Saniotis A, Nitschke M. Vulnerability to extreme heat and climate change: Is ethnicity a factor? *Global Health Action*. 2013;6(1).
4. Hansen A, Nitschke M, Bi P. Adaptation to extreme heat and climate change in culturally and linguistically diverse communities. *Applied Studies in Climate Adaptation* 2014. p. 241-9.
5. Basu R. High ambient temperature and mortality: A review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environmental Health: A Global Access Science Source*. 2009;8(1).
6. Anderson BG, Bell ML. Weather-related mortality: How heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology (Cambridge, Mass)*. 2009;20(2):205-13.
7. Gasparri A, Guo Y, Hashizume M, Lavigne E, Zanobetti A, Schwartz J, et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: A multicountry observational study. *The Lancet*. 2015;386(9991):369-75.
8. 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.
9. McGregor GB, P.; Menne, B. Vagues de chaleur et santé: guide pour l'élaboration de système d'alerte. Genève, Suisse: Organisation météorologique mondiale - Organisation mondiale de la santé, 2015.
10. Le Tertre A, Lefranc A, Eilstein D, Declercq C, Medina S, Blanchard M, et al. Impact of the 2003 heatwave on all-cause mortality in 9 French cities. *Epidemiology (Cambridge, Mass)*. 2006;17(1):75-9.
11. Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, et al. *The Physical Science Basis*. 2007.
12. Soubeyroux J, Ouzeau G, Schneider M, Cabanes O, Koukou-Arnaud R. Les vagues de chaleur en France : analyse de l'été 2015 et évolutions attendues en climat futur. *La Météorologie*. 2016;94:6.
13. Extremoscope. Les vagues de chaleur tardives de l'été 2016. 2017.
14. Perkins SE. A review on the scientific understanding of heatwaves-Their measurement, driving mechanisms, and changes at the global scale. *Atmospheric Research*. 2015;164-165:242-67.
15. Tong S, Wang XY, Barnett AG. Assessment of heat-related health impacts in Brisbane, Australia: comparison of different heatwave definitions. *PloS one*. 2010;5(8):e12155.
16. patients Csd. *Recommandations sanitaires du Plan national canicule 2014*. Paris: 2014.
17. Pelletier JL, V.; Flandre, H.; Lepletier, S. *Rapport d'information fait au nom de la mission commune d'information "La France et les français face à la canicule: les leçons d'une crise"*. Paris: Sénat, 2004.

18. Pascal M, Wagner V, Le Tertre A, Laaidi K, Honore C, Benichou 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.
19. Antics A, Pascal M, Laaidi K, Wagner V, Corso M, Declercq C, et al. A simple indicator to rapidly assess the short-term impact of heat waves on mortality within the French heat warning system. *International journal of biometeorology*. 2013;57(1):75-81.
20. Antics A, Pascal M, Laaidi K, Wagner V, Corso M, Declercq C, et al. A simple indicator to rapidly assess the short-term impact of heat waves on mortality within the French heat warning system. *Int J Biometeorol*. 2012:7.
21. Toulemon L, Barbieri M. The mortality impact of the August 2003 heat wave in France: Investigating the 'harvesting' effect and other long-term consequences. *Population Studies*. 2008;62(1):39-53.
22. Pascal MD, J; Fouillet, A; Lapostolle, A; Empereur-Bissonnet, P; Pouey, J; et. al.; Principaux enseignements de la surveillance sanitaire des impacts des vagues de chaleur de 2015 à 2017 en France. *Bull Epidémiol Hebd* 2018 16-17:326-33.
23. Valois PL, K; Jacob, J; Beaudeau, P; . Comparaison des méthodes et des questions utilisées pour suivre l'adaptation face aux épisodes de chaleurs élevées en France et au Québec. *Bull Epidémiol Hebd*. 2018;16-17:345-53.
24. Pison G, Toulemon L. The number of deaths in France will increase over the coming years. *Population and Societies*. 2016;531(1).
25. Pascal M, Laaidi K, Ledrans M, Baffert E, Caserio-Schonemann C, Le Tertre A, et al. France's heat health watch warning system. *International journal of biometeorology*. 2006;50(3):144-53.
26. Brooke Anderson G, Bell ML. Heat waves in the United States: Mortality risk during heat waves and effect modification by heat wave characteristics in 43 U.S. communities. *Environmental Health Perspectives*. 2011;119(2):210-8.
27. Chen K, Bi J, Chen J, Chen X, Huang L, Zhou L. Influence of heat wave definitions to the added effect of heat waves on daily mortality in Nanjing, China. *Sci Total Environ*. 2015;506-507:18-25.
28. D'Ippoliti D, Michelozzi P, Marino C, De'Donato F, Menne B, Katsouyanni K, et al. The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: Results from the EuroHEAT project. *Environmental Health: A Global Access Science Source*. 2010;9(1).
29. Russo S, Sillmann J, Fischer EM. Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. *Environmental Research Letters*. 2015;10(12).
30. Russo S, Dosio A, Graversen RG, Sillmann J, Carrao H, Dunbar MB, et al. Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 2014;119(22):12500-12.
31. Soubeyroux JMO, G.; Schneider, M.; Cabanes, O.; Kounkou, R.;. Les vagues de chaleur en France: analyse de l'été 2015 et évolutions attendues en climat futur. *La Météorologie*. 2016(94):45-51.
32. Nairn JR, Fawcett RJB. The excess heat factor: A metric for heatwave intensity and its use in classifying heatwave severity. *International journal of environmental research and public health*. 2014;12(1):227-53.
33. Scalley BD, Spicer T, Jian L, Xiao J, Nairn J, Robertson A, et al. Responding to heatwave intensity: Excess Heat Factor is a superior predictor of health service utilisation and a trigger for heatwave plans. *Aust N Z J Public Health*. 2015;39(6):582-7.

Annexes

Annexe 1. Comparaison de plusieurs définitions des vagues de chaleur sur la caractérisation de la surmortalité associée

A.1.1 Sélection des indicateurs

Une analyse de la littérature, ne prétendant pas à l'exhaustivité, s'est fondée sur une recherche sous Scopus d'articles d'épidémiologie ou de climatologie proposant une définition des vagues de chaleur, complétée par de la littérature grise sur les systèmes d'alerte canicule dans le monde. Cette analyse a mis en évidence des grandes typologies d'approches utilisées dans la littérature pour définir des indicateurs de vagues de chaleur : intensité (température au-delà d'un percentile historique de températures, ou d'une valeur absolue), et combinaison d'intensité et de durée (température au-delà d'un percentile historique de températures, ou d'une valeur absolue, pendant au moins N jours, N variant en générale de 2 à 6 jours).

Ces indicateurs de vague de chaleur peuvent s'appuyer sur la température moyenne, minimale, maximale, ou sur la température apparente (paramètre combinant température et humidité), sur des valeurs journalières, ou sur des moyennes de plusieurs jours. Les percentiles de températures peuvent être calculés sur la distribution des températures du mois, de l'été, ou de l'année. Par exemple, Chen *et al.* utilisent quinze définitions, correspondant à des variations de percentiles, de durées, et de températures moyennes, minimales ou maximales (27).

Certains indicateurs combinent enfin plusieurs critères et plusieurs paramètres de températures, par exemple une vague de chaleur peut être définie comme :

- deux jours où la température apparente maximale est supérieure au 90^e percentile de la distribution des températures apparentes maximales du mois,
- deux jours où la température minimale est supérieure au 90^e percentile de la distribution des températures minimales du mois
- la température minimale est supérieure au 90^e percentile de la distribution des températures minimales du mois et la température apparente maximale est supérieure au 50^e percentile de la distribution des températures apparentes maximales du mois (28).

Enfin, les indicateurs des vagues de chaleur peuvent s'appuyer sur des données de températures issues de stations de mesures jugées représentatives de l'exposition de la population dans le cadre d'études épidémiologiques (ex (28)), ou par plusieurs données de mesures ou de modélisations jugées représentatives des variations spatio-temporelles dans le cas d'études climatiques (ex (29)).

Cette recherche a également mis en évidence le très faible nombre de travaux se donnant comme objectif de comparer les vagues de chaleur entre elles. Ces travaux sont plutôt à vocation climatologique, et non relié à des objectifs sanitaires (29-31). La logique de ces indicateurs est de calculer un écart journalier à un seuil prédéfini, le plus souvent correspondant à un percentile de la distribution des températures, puis de normaliser cet écart.

À l'issue de cette recherche, au vu de la faible diversité des approches décrites dans la littérature, en dehors des variations sur les percentiles et les durées, deux indicateurs ont été retenus en complément de l'indicateur canicule (Tableau 8), et sont détaillés ci-dessous. Les seuils correspondants à chaque indicateur sont listés dans le Tableau 9.

I TABLEAU 8 I

Synthèse des indicateurs utilisés

Indicateurs	Objectifs ayant prévalu à sa création	Indicateurs de températures	Seuils
EHF	Décrire les vagues de chaleur en intégrant des hypothèses sur l'acclimatation physiologique à court-terme	Moyenne mobile sur trois jours de la température moyenne journalière	Percentiles 95 de la température moyenne journalière du département sur la période 1981-2010. Moyenne des températures moyennes journalières des 30 jours précédents.
Climatologique	Décrire les vagues de chaleur sans prendre en compte un impact sectoriel particulier	Température moyenne journalière	Percentiles 95, 97,5 et 99,5 de la température moyenne journalière du département sur la période 1981-2010.
Canicule	Anticiper les vagues de chaleur les plus dangereuses pour la santé et déclencher les alertes dans le cadre du PNC	Moyennes mobiles sur trois jours de la température minimale journalière et maximale journalière	Percentiles 99,5 des températures minimales et maximales journalières moyennées sur 3 jours, sur la période 1981-2010

A.1.1.1 L'Excess Heat Factor

L'Excess Heat Factor (EHF) prend en compte l'intensité par rapport à une référence historique, et par rapport aux jours précédents (32). Il est le seul indicateur affichant un objectif de normalisation de la description des vagues de chaleur pour des études sanitaires (32, 33).

L'EHF se décompose en un indicateur « historique » (EHI_{sig}) marquant un écart à un seuil historique, et un indicateur « d'acclimatation » (EHI_{accl}) marquant un écart à la température des 30 jours précédents.

EHI_{sig} se calcule à partir de la moyenne mobile sur trois jours des températures moyennes journalières :

$$EHI_{sig} = \frac{\sum_{j=1}^3 T_{moy\ i-j}}{3} - P95$$

P95 est le percentile 95 de la distribution des températures moyennes journalières, année entière, sur la période 1981-2010. La vague de chaleur démarre au jour $i-2$. Les valeurs départementales de P95 sont en Annexe 1.

EHI_{accl} compare la moyenne sur trois jours des températures moyennes journalières à la moyenne sur trente jours des températures moyennes journalières :

$$EHI_{accl} = \frac{\sum_{j=1}^3 T_{moy\ i-j}}{3} - \frac{\sum_{j=1}^{30} T_{moy\ i-j}}{30}$$

L'indicateur global est calculé comme le produit de ces deux indicateurs, en considérant :

- qu'il n'y a vague de chaleur que si les températures sont plus élevées que les normales historiques, i.e. $EHI_{sig} > 0$

- que cette vague de chaleur n'est aggravée par un risque de mauvaise acclimatation que si la température est au moins 1°C supérieure à celles des trente jours précédents :

$$EHF = \max(0, EHI_{sig}) * \max(1, EHI_{accl})$$

Les vagues de chaleur distantes de moins de trois jours sont reliés entre elles.

Un exemple de l'EHF à l'échelle départemental est donné par la Figure 11.

A1.1.2 Indicateur « climatologique » de vagues de chaleur

Cet indicateur a été développé par Météo-France afin de caractériser les vagues de chaleur notamment en terme de durée, d'intensité maximale et d'intensité cumulée (sévérité), sans notion d'impact dans un secteur particulier (31). Il définit une canicule à partir de trois seuils :

- Spic : seuil de pic de chaleur, correspondant au percentile 99,5 de la température moyenne journalière du département sur la période 1981-2010.
- Sdeb : seuil indiquant les dates de début et de fin de l'épisode, correspondant au percentile 97,5 de la température moyenne journalière du département sur la période 1981-2010.
- Sint : seuil d'interruption : correspondant au percentile 95 de la température moyenne journalière du département sur la période 1981-2010.

Une vague de chaleur est identifiée dès lors que la température moyenne dépasse le percentile 99,5 (Spic). Les jours entourant ce pic sont inclus dans la période de vague de chaleur lorsque leur température moyenne est supérieure au percentile 97,5 (Sdeb). La vague de chaleur est interrompue si la température descend pendant au moins trois jours successifs en dessous de percentile 97,5 (Sdeb) ou si elle passe même pour une seule journée en deçà du percentile 95 (Sint).

Seules les vagues de chaleur durant au moins trois jours sont conservées dans l'analyse. Les vagues de chaleur distantes de moins de trois jours sont reliés entre elles, sauf si la température est inférieure à Sint pendant ces jours.

Un exemple de l'indicateur climatologique à l'échelle départemental est donné par la Figure 11.

I TABLEAU 9 I

Seuils départementaux utilisés pour l'identification des vagues de chaleur, selon l'indicateur (°C)

Département	Indicateur					
	EHF P95 Tmoy	Climatologique			Canicule	
		P95 Tmoy	P97,5 Tmoy	P99,5 Tmoy	P99,5 Tmin	P99,5 Tmax
1	22,0	22,0	23,3	25,5	17,6	32,8
2	20,6	20,6	22,0	24,4	16,8	31,8
3	22,0	22,0	23,4	25,9	17,7	33,1
4	20,1	20,1	21,1	22,6	13,7	31,2
5	17,7	17,7	18,7	20,4	12,4	28,2
6	20,7	20,7	21,6	23,0	16,6	29,3
7	22,3	22,3	23,5	25,3	17,5	32,7
8	20,4	20,4	21,8	24,1	16,8	31,2
9	20,4	20,4	21,5	23,5	15,9	30,9
10	21,3	21,3	22,7	25,1	17,1	32,5
11	23,5	23,5	24,6	26,3	19,5	33,4
12	21,8	21,8	23,2	25,5	17,4	33,1
13	24,8	24,8	25,7	27,1	20,1	34,2
14	19,4	19,4	20,7	23,0	16,2	29,0
15	19,8	19,8	21,3	23,6	15,6	30,9
16	22,4	22,4	23,8	26,2	18,2	33,8
17	22,3	22,3	23,8	26,1	18,7	33,1
18	22,0	22,0	23,2	25,7	17,6	33,1
19	21,0	21,0	22,4	24,7	16,8	32,2
21	21,5	21,5	22,8	25,0	17,1	32,5
22	18,9	18,9	20,0	22,1	15,9	28,2
23	20,5	20,5	21,9	24,4	16,4	31,6
24	22,6	22,6	23,9	26,3	18,3	34,0
25	20,2	20,2	21,4	23,8	15,9	31,2
26	22,5	22,5	23,7	25,3	16,9	33,5
27	20,4	20,4	21,8	24,2	16,4	31,6
28	20,9	20,9	22,3	24,6	16,8	32,2
29	18,9	18,9	19,9	22,2	16,2	28,1
2A	24,0	24,0	25,0	27,0	20,2	32,9
2B	23,9	23,9	24,8	26,3	20,4	31,9
30	24,5	24,5	25,5	27,1	19,4	34,6
31	22,9	22,9	24,1	26,1	18,4	33,9
32	23,6	23,6	24,8	27,1	19,1	35,0
33	22,9	22,9	24,2	26,7	19,0	33,9
34	24,1	24,1	25,1	26,8	19,7	33,9
35	20,4	20,4	21,6	24,1	17,0	30,6
36	22,1	22,1	23,4	25,7	17,8	33,2
37	21,8	21,8	23,2	25,7	17,8	33,1

38	21,1	21,1	22,3	24,3	16,7	31,4
39	20,8	20,8	22,1	24,3	16,4	31,9
40	23,1	23,1	24,3	26,8	19,1	34,3
41	21,5	21,5	22,9	25,2	17,3	32,9
42	21,5	21,5	23,0	25,2	17,2	32,4
43	19,8	19,8	21,3	23,3	14,9	31,5
44	21,2	21,2	22,7	25,2	17,8	32,0
45	21,5	21,5	22,9	25,3	17,3	33,0
46	23,2	23,2	24,6	27,1	18,6	34,7
47	23,6	23,6	24,8	27,2	19,1	34,6
48	19,4	19,4	20,6	22,7	14,6	30,5
49	21,8	21,8	23,2	25,8	18,1	32,8
50	19,1	19,1	20,2	22,5	16,2	28,0
51	21,1	21,1	22,4	24,9	17,1	32,0
52	20,9	20,9	22,2	24,4	16,7	31,8
53	20,7	20,7	22,2	24,7	17,3	31,6
54	20,8	20,8	22,1	24,3	16,9	31,3
55	20,6	20,6	22,0	24,2	16,6	31,6
56	20,1	20,1	21,4	23,9	16,8	30,5
57	21,0	21,0	22,4	24,5	17,1	31,4
58	21,7	21,7	23,0	25,5	17,5	32,9
59	20,2	20,2	21,5	24,0	17,0	30,4
60	20,5	20,5	21,9	24,4	16,6	31,4
61	19,9	19,9	21,3	23,8	16,3	30,7
62	19,6	19,6	20,9	23,5	16,5	29,6
63	20,3	20,3	21,8	24,2	16,0	31,3
64	21,9	21,9	23,1	25,5	18,3	32,1
65	19,8	19,8	21,1	23,7	16,0	29,9
66	21,7	21,7	22,6	24,1	17,6	30,6
67	21,8	21,8	23,0	25,3	17,7	31,9
68	21,4	21,4	22,4	24,9	17,3	31,5
69	22,7	22,7	24,0	26,1	18,6	33,1
70	21,5	21,5	22,8	24,9	17,1	32,6
71	22,1	22,1	23,5	25,8	17,7	33,3
72	21,2	21,2	22,6	25,1	17,6	32,4
73	17,1	17,1	18,3	20,3	13,6	26,6
74	19,2	19,2	20,3	22,6	15,4	29,2
75	23,0	23,0	24,4	26,9	20,1	32,8
76	19,5	19,5	20,9	23,4	16,3	29,3
77	21,4	21,4	22,7	25,3	17,5	32,3
78	21,0	21,0	22,4	25,0	17,1	32,0
79	22,2	22,2	23,7	26,1	18,1	33,6
80	20,0	20,0	21,3	23,7	16,6	30,4
81	23,2	23,2	24,4	26,6	18,6	34,5
82	23,8	23,8	25,0	27,3	19,1	35,1
83	23,9	23,9	24,7	26,2	18,4	34,0

84	24,1	24,1	25,0	26,6	18,5	34,8
85	21,7	21,7	23,2	25,5	18,2	32,4
86	22,1	22,1	23,4	25,9	17,8	33,4
87	21,5	21,5	22,9	25,2	17,5	32,4
88	20,4	20,4	21,7	23,9	16,2	31,3
89	21,6	21,6	22,9	25,4	17,3	32,8
90	21,3	21,3	22,4	24,7	17,1	31,6
91	21,5	21,5	22,8	25,4	17,7	32,5
92	22,4	22,4	23,9	26,4	19,3	32,7
93	22,1	22,1	23,6	26,1	18,9	32,3
94	22,5	22,5	23,9	26,4	19,1	32,9
95	21,1	21,1	22,5	25,0	17,4	31,8

A1.1.3. Comparaison des caractéristiques des vagues de chaleur selon l'indicateur

Chaque jour de la vague de chaleur, une variable de sévérité est calculée. Sa définition varie selon l'indicateur, et est rapportée dans le Tableau 10.

La description des vagues de chaleur s'appuie sur trois paramètres :

- La durée, i.e. le nombre de jour entre le premier et le dernier jour de la vague de chaleur
- La sévérité cumulée, qui correspond à la somme des sévérités journalières normalisées du premier au dernier jour de la vague de chaleur
- L'intensité, qui représente la plus forte sévérité journalière normalisée observée pendant la vague de chaleur.

La sévérité cumulée et l'intensité des trois indicateurs font l'objet d'une normalisation en soustrayant la moyenne et en divisant par l'écart-type dans chaque département. Cette normalisation permet de comparer directement les indicateurs entre eux et entre départements en s'affranchissant de leur échelle et variabilité d'origine.

À noter que les percentiles servant à définir les seuils sont tous calculés sur l'année entière sur la période 1981-2010. La moyenne et l'écart-type des sévérités sont calculées sur les sévérités journalières pendant les vagues de chaleur (sévérité \geq 0), et pour l'ensemble de la période 1970-2016.

Pour chaque indicateur, les vagues de chaleur sont classées selon leur intensité, leur sévérité cumulée et leur durée (adapté de (14)).

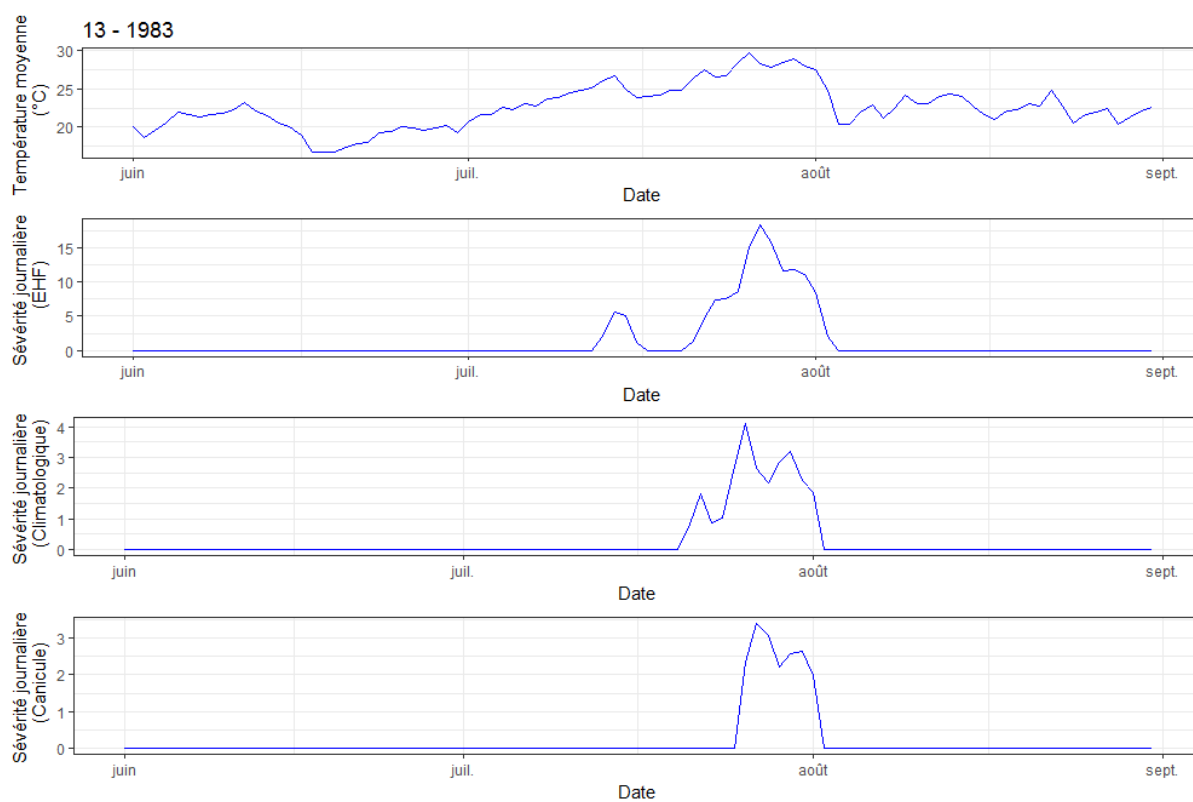
I TABLEAU 10 I

Calcul de la sévérité journalière selon l'indicateur

Indicateurs	Définition de la sévérité journalière
EHF	Chaque jour i , la sévérité est définie comme la valeur de l'EHF du jour $severité_i = EHF_i$
Climatologique	Chaque jour i , la sévérité est définie comme la différence entre la température du jour et $Sdeb$, $severité_i = T_{moy_i} - Sdeb$
Canicule	Chaque jour i , la sévérité est définie comme la différence entre les températures moyennées sur trois jours et les percentiles 99,5 des températures moyennées sur trois jours. $severité_i = \left(\frac{T_{min\ i} + T_{min\ i-1} + T_{min\ i-2}}{3} - P99,5min \right) + \left(\frac{T_{max\ i} + T_{max\ i-1} + T_{max\ i-2}}{3} - P99,5max \right)$

I FIGURE 11 I

Température moyenne journalière (°C) et sévérité journalière pour chacun des indicateurs, dans les Bouches-du-Rhône en 1983



A.1.2 Description des vagues de chaleur selon l'indicateur

A.1.2.1 Nombres et périodes de survenues des vagues de chaleur

Les trois indicateurs identifient des nombres très variables de vagues de chaleur : 13 282 pour l'EHF, 3 606 pour l'indicateur climatologique, et 1 118 pour l'indicateur Canicule. Pour tous les indicateurs, on observe une augmentation du nombre de vagues de chaleur au cours du temps, plus marquée pour les indicateurs alerte et climatologique que pour l'EHF (Tableau 11).

Les vagues de chaleur identifiées par l'EHF sont plus longues que celles identifiées par l'indicateur climatologique, elles-mêmes plus longues que celles identifiées par l'indicateur alerte. Plus les vagues de chaleur sont intenses, plus elles peuvent être identifiées par les trois indicateurs, et les périodes sont alors imbriquées (Figure 12). Entre 1970 et 2016, en cumulé sur l'ensemble des départements métropolitains, 64 535 jours sont classés en vague de chaleur selon l'EHF, 18 026 selon l'indicateur climatologique et 3 165 selon le l'indicateur Canicule. Tous les jours identifiés par l'indicateur climatologique et par l'indicateur Canicule sont également identifiés par l'EHF. La majorité (98%) des jours identifiés par l'indicateur Canicule sont également identifiés par l'indicateur climatologique.

I TABLEAU 11 I

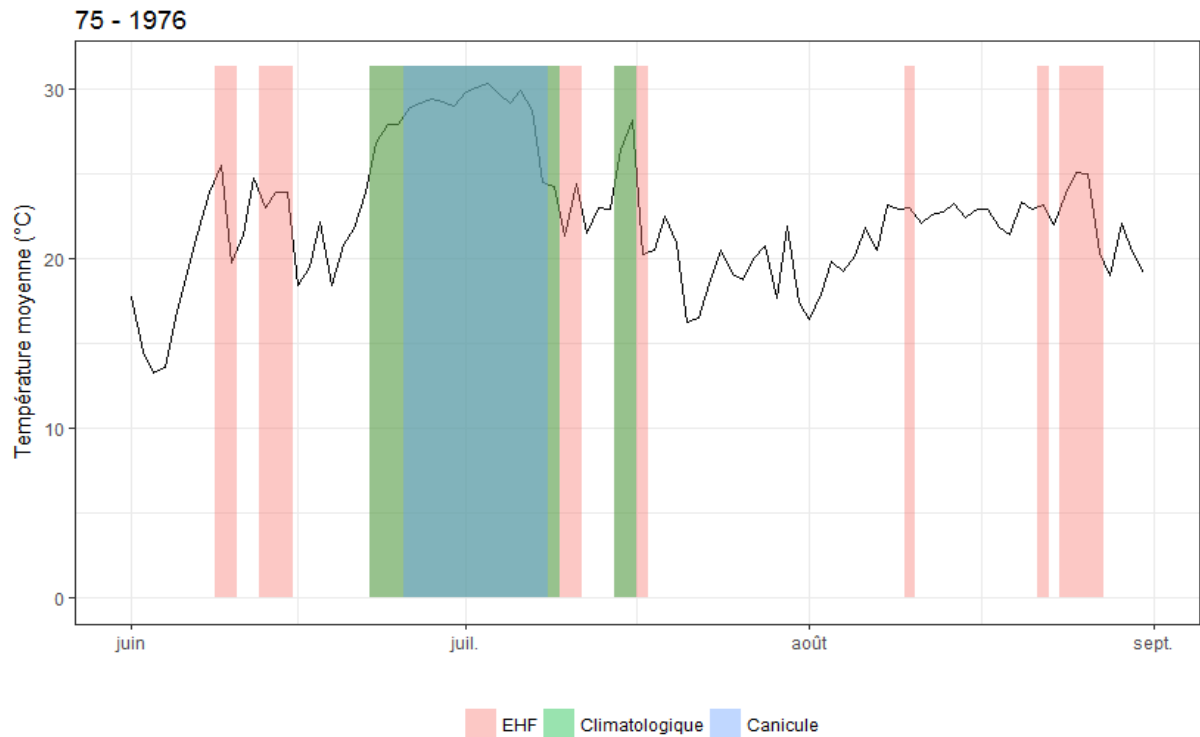
Nombre de vagues de chaleur par décennies selon l'indicateur

	EHF	Climatologique	Canicule
1970-1973 (4 ans)	711	27	10
1974-1983 (10 ans)	1 496	363	166
1984-1993 (10 ans)	3 042	513	135
1994-2003 (10 ans)	3 436	1 111	288
2004-2013 (10 ans)	3 345	1 075	332
2014-2016 (3 ans)	1 252	517	187

Les vagues de chaleur les plus sévères se produisant au cœur de l'été, la majorité des vagues de chaleur identifiées par les indicateurs concernent juillet et août : 73% selon l'EHF, 84% selon l'indicateur climatologique, et 88% selon l'indicateur Canicule. Selon l'indicateur EHF, il y a de plus en plus de vagues de chaleur débutant en septembre dans les décennies récentes. Les indicateurs climatologiques et Canicule n'identifient de vagues de chaleur en septembre qu'en 2016 (Figure 13).

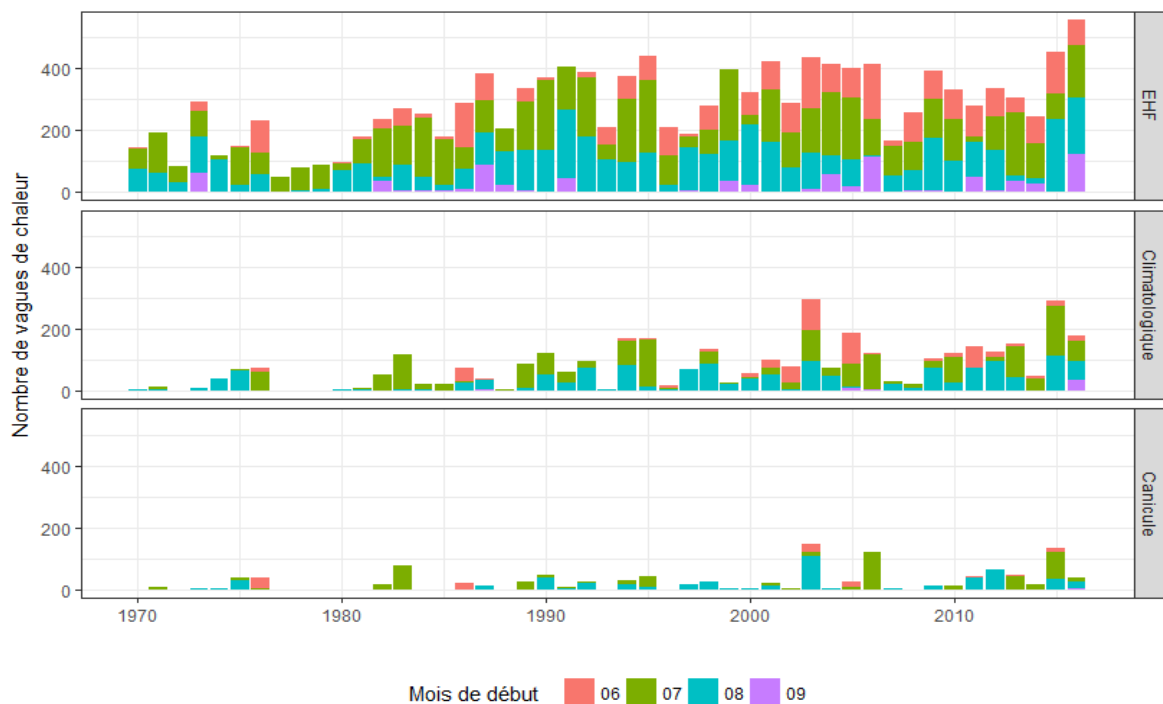
I FIGURE 12 I

Exemple de périodes de vague de chaleur identifiées par les indicateurs à Paris en 1976



I FIGURE 13 I

Nombre de vagues de chaleur par année et mois de début selon l'indicateur

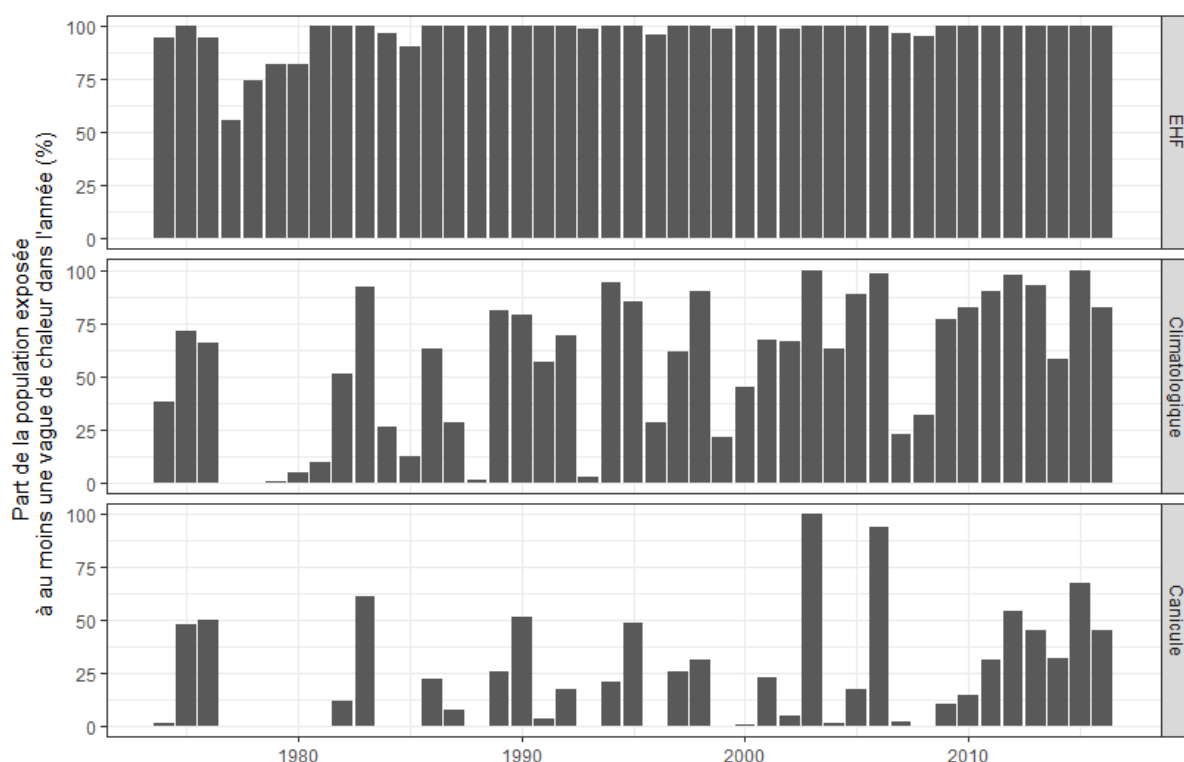


A1.2.2. Répartition géographique et population exposée

Le nombre de départements concernés par au moins une vague de chaleur chaque année varie largement selon l'indicateur (Figure 14). En moyenne, 35% des vagues de chaleur identifiées par l'EHF sont observées après 2004, vs 44% pour l'indicateur climatologique et 45% pour l'indicateur Canicule, mais avec une plus grande variabilité pour ce dernier (Figure 15).

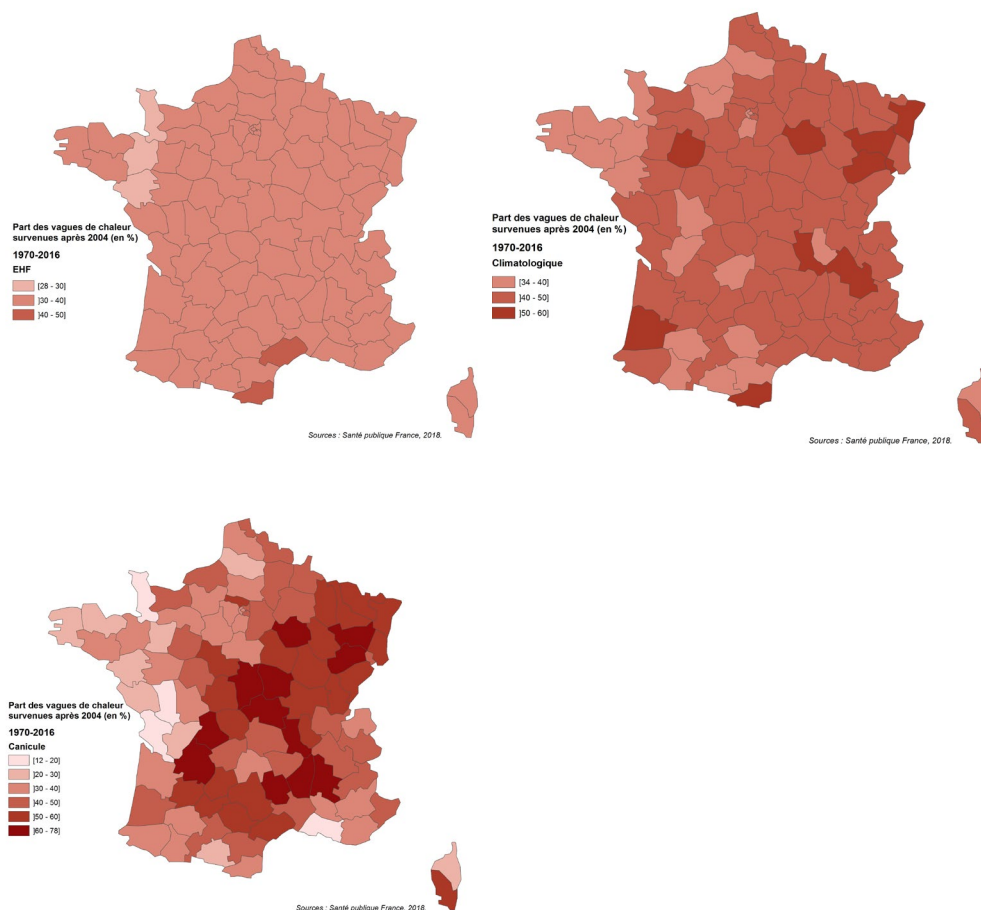
I FIGURE 14 I

Nombre de départements concernés par au moins une vague de chaleur par an, selon l'indicateur



I FIGURE 15 I

Part des vagues de chaleur (%) de la période 1970-2016 survenant après 2004 selon la définition

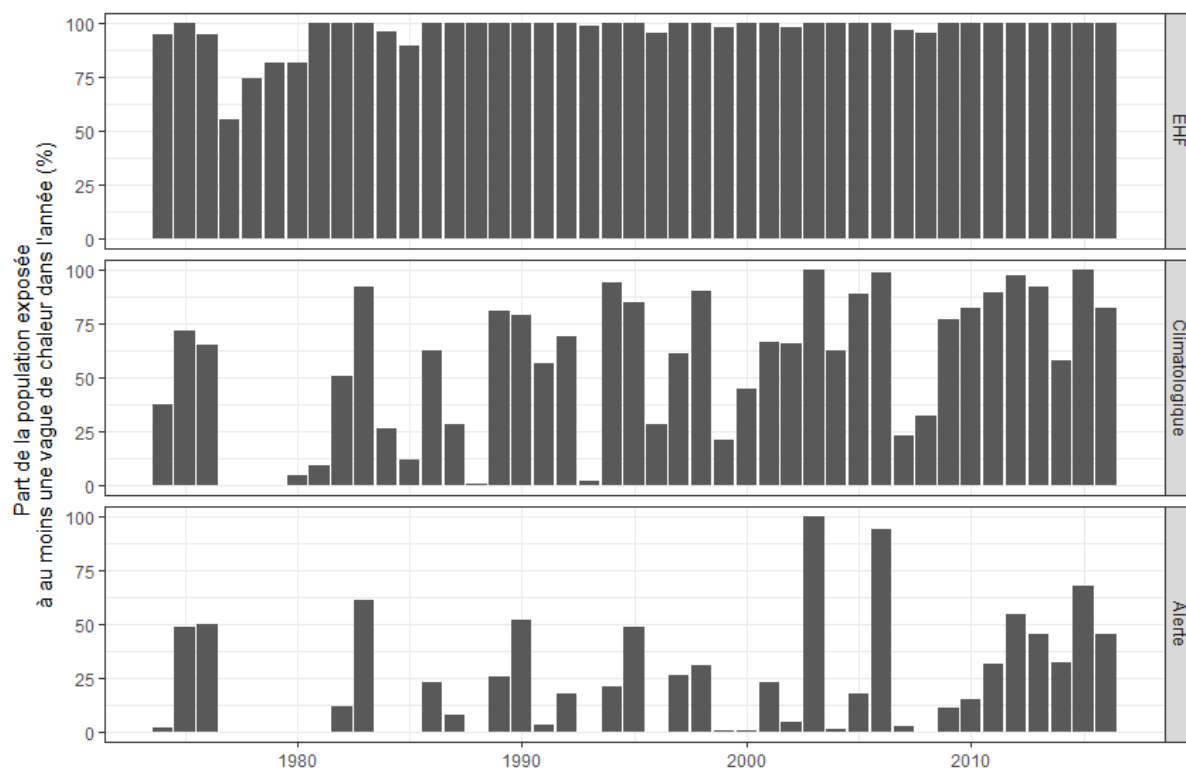


Entre les années 1975 et 2013, la population a augmenté de 14 334 384 personnes, et la part des 75 ans et plus est passé de 5% (2 658 560 personnes) à 9% (5 894 287). La population exposée (y compris la part de population vulnérable liée à l'âge) à la chaleur a donc augmenté indépendamment du nombre de vagues de chaleur.

L'indicateur EHF identifiant des vagues quasiment tous les ans dans l'ensemble des départements, la totalité de la population est exposée à au moins une vague de chaleur chaque année depuis 1970. Selon cet indicateur, quasiment l'ensemble de la population française est concernée par au moins un épisode chaque année depuis les années 1980. Selon l'indicateur Canicule, seules les années 2003 et 2006 exposent presque toute la population française à au moins une vague de chaleur (Figure 16).

I FIGURE 16 I

% de la population métropolitaine concernée par au moins un épisode dans l'année

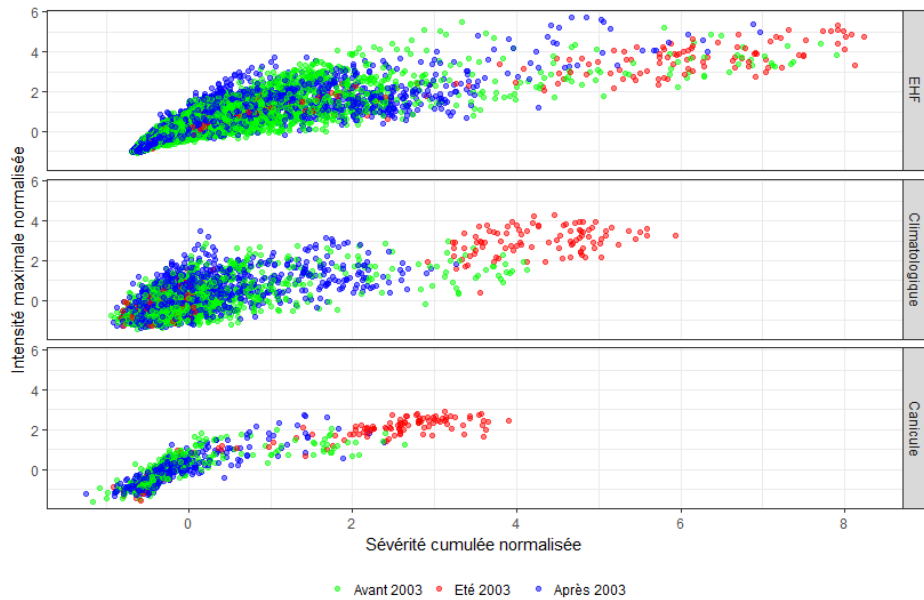


A.1.2.3 Intensité, sévérité cumulée et durée des vagues de chaleur

Pour tous les indicateurs, l'intensité maximale et la sévérité cumulée sont très corrélées (Figure 17). Des intensités plus élevées ont tendance à être plus fréquente pendant les vagues de chaleur les plus longues, en particulier pour l'indicateur Canicule, et pour l'EHF (Figure 18). Enfin, selon les indicateurs climatologique et Canicules, les vagues de chaleur de l'été 2003 se distinguent très nettement du reste de la période d'étude, en particulier en termes d'intensité et de sévérité. La distinction est moins marquée pour l'EHF.

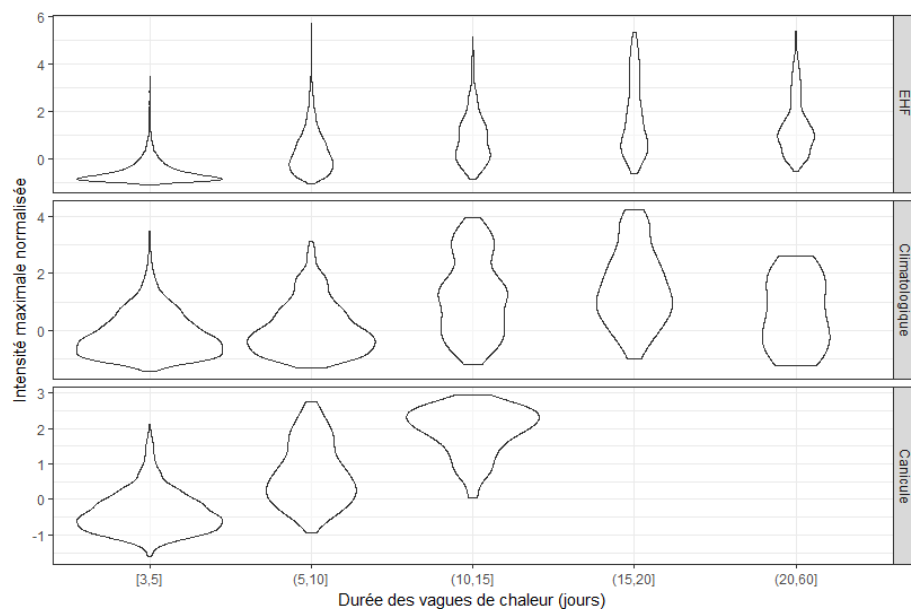
I FIGURE 17 I

Intensité vs sévérité cumulée des vagues de chaleur – chaque point correspond à une vague de chaleur départementale



I FIGURE 18 I

Distribution de l'intensité selon la durée des vagues de chaleur



A.1.3 Surmortalité estimée pendant les périodes de vagues de chaleur

Entre 1971 et 2013, une surmortalité a pu être calculée pour 8 835 vagues de chaleur identifiées par l'EHF, 3 087 identifiées par l'indicateur climatologique et 931 identifiées par l'indicateur Canicule. La surmortalité n'a pas pu être calculée pour les vagues de chaleur dans les départements de Corse avant 1980 (date de leur création). La surmortalité n'a pas pu être calculée pour certaines vagues de chaleur de 1971, lorsque des vagues de chaleur étaient également observées pendant les mêmes jours de 1970.

Plus de 92 000 décès en excès sont observés sur l'ensemble des vagues de chaleur identifiées par l'EHF, correspondant à une surmortalité de 5%. Les vagues de chaleur identifiées par l'indicateur climatologique cumulent plus de 36 000 décès, correspondant à une surmortalité de 9%, et celles identifiées par l'indicateur Canicule cumulent plus de 32 000 décès, correspondant à une surmortalité de 23% (Tableau 12).

L'indicateur Canicule cible donc davantage les jours où la chaleur contribue de manière plus importante à la mortalité, suivi par l'indicateur climatologique et par l'EHF. Ce gradient est attendu, puisque l'identification des jours de plus fortes surmortalités était un des objectifs ayant prévalu à la construction de cet indicateur Canicule.

I TABLEAU 12 I

Surmortalités estimées sur l'ensemble des vagues de chaleur selon les indicateurs et les décennies

	1971-1973	1974-1983	1984-1993	1994-2003	2004-2013	1971-2013
EHF						
Nombre d'épisodes	559	1 495	3 042	3 436	3 345	12 030
Surmortalité totale*	6 482 [4 754 : 7 950]	22 799 [12 992 : 31 600]	11 053 [-4 880 : 27 105]	40 514 [21 435 : 59 203]	11 817 [-7 110 : 30 199]	92 665 [27 190 : 156 057]
Surmortalité totale** %	8 [6 : 10]	9 [5 : 12]	3 [-1 : 7]	7 [4 : 11]	2 [-1 : 6]	5 [2 : 9]
Climatologique						
Nombre d'épisodes	25	363	513	1 111	1 075	3 087
Surmortalité totale*	535 [477 : 566]	7 909 [5 397 : 10 259]	3 990 [1 688 : 6 179]	21 548 [15 898 : 26 891]	2 245 [-3 518 : 79 23]	36 227 [26 978 : 51 818]
Surmortalité totale** %	17 [15 : 18]	12 [8 : 15]	8 [3 : 12]	14 [10 : 17]	2 [-3 : 6]	9 [5 : 13]
Canicule						
Nombre d'épisodes	10	166	135	288	332	931
Surmortalité totale*	406 [388 : 416]	9 957 [9 050 : 10 902]	2 149 [1 572 : 2 712]	17 274 [15 817 : 18 730]	2 281 [672 : 3 844]	32 067 [27 499 : 36 604]
Surmortalité totale** %	28 [27 : 29]	29 [27 : 32]	15 [11 : 19]	31 [29 : 34]	7 [2 : 11]	23 [20 : 26]

* somme de la surmortalité moyenne, minimale et maximale, sur l'ensemble des vagues de chaleur départementales.

**% par rapport à la mortalité totale attendue sur la période et dans les départements concernés par les épisodes.

Au niveau national, l'estimation de la surmortalité est cohérente pour les trois indicateurs pour 2003, et varie plus largement pour les autres années qui ont connu des vagues de chaleur importantes (Tableau 13).

I TABLEAU 13 I

Surmortalité estimée sur les années totalisant le plus de vagues de chaleur départementales

		2003	1983	2006	1976
EHF	Nombre cumulé de jours de vagues de chaleur	5 578	3 085	4 112	2 310
	Surmortalité totale*	18 999 [15 895 :21956]	6 098 [4 268 : 7 965]	3 588 [1 087 :6 356]	6 306 [4 558 :7 817]
	Surmortalité totale** %	17 [14 :19]	10 [7 :12]	5 [1 :8]	11 [8 :14]
Climatologique	Nombre cumulé de jours de vagues de chaleur	2 419	976	1 526	795
	Surmortalité totale*	14 874 [13 212 :16 457]	2 580 [1 891 :3 383]	367 [-644 :1 543]	3 307 [2 645 : 3 833]
	Surmortalité totale** %	25 [22 :28]	13 [9 :17]	1 [-2 :6]	15 [12 :18]
Canicule	Nombre cumulé de jours de vagues de chaleur	1 267	412	620	334
	Surmortalité totale*	15 257 [14 482 :16 067]	2 900 [2 536 : 3 306]	1 442 [799 :2 146]	4 540 [4 277 :4 772]
	Surmortalité totale** %	40 [38 :43]	26 [23 :29]	9 [6 :14]	34 [32 :36]

A.1.4. Discussion

La définition des vagues de chaleur a une influence considérable sur l'estimation du nombre de vagues de chaleur et des impacts associés. Dans cette étude, trois indicateurs ont été comparés, avec un indicateur identifiant un nombre très important d'évènement (EHF), et des indicateurs se concentrant sur des événements plus intenses (climatologique et Canicule).

L'absence de consensus sur la définition la plus appropriée, et l'utilisation récurrente de définition fondée sur les impacts dans la littérature (i.e. une vague de chaleur serait une période de chaleur avec un impact sanitaire (9)) complique la caractérisation du phénomène. Ainsi, selon l'EHF, entre 1971 et 2013, plus de 72 000 décès en excès sont observés pendant 8 835 vagues de chaleur. Selon l'indicateur Canicule, plus de 32 000 décès sont observés pendant 931 vagues de chaleur.

Quant à l'indicateur climatologique, qui se situe comme un intermédiaire entre l'EHF et l'indicateur Canicule, il identifie beaucoup plus de vagues de chaleur et de jour que les canicules, mais pour un impact sur la mortalité similaire. Ceci est peut être le reflet de la relation température-mortalité qui implique une augmentation très rapide de la mortalité dans les trois premiers jours suivant un jour chaud, puis pour une chaleur modérée (température moyenne entre les percentiles 75 et 90 de la distribution des températures), cette augmentation immédiate est compensée par une baisse de la mortalité observée à partir du 3^e jour suivant l'exposition. Cet effet diminue pour les chaleurs plus intenses, et au-delà du percentile 99,2 de la distribution des températures moyennes, l'effet moisson ne compense plus l'augmentation initiale de la mortalité. Il disparaît totalement au-delà du percentile 99,8 (8). Ce phénomène pourrait expliquer pourquoi la surmortalité associée aux périodes identifiées

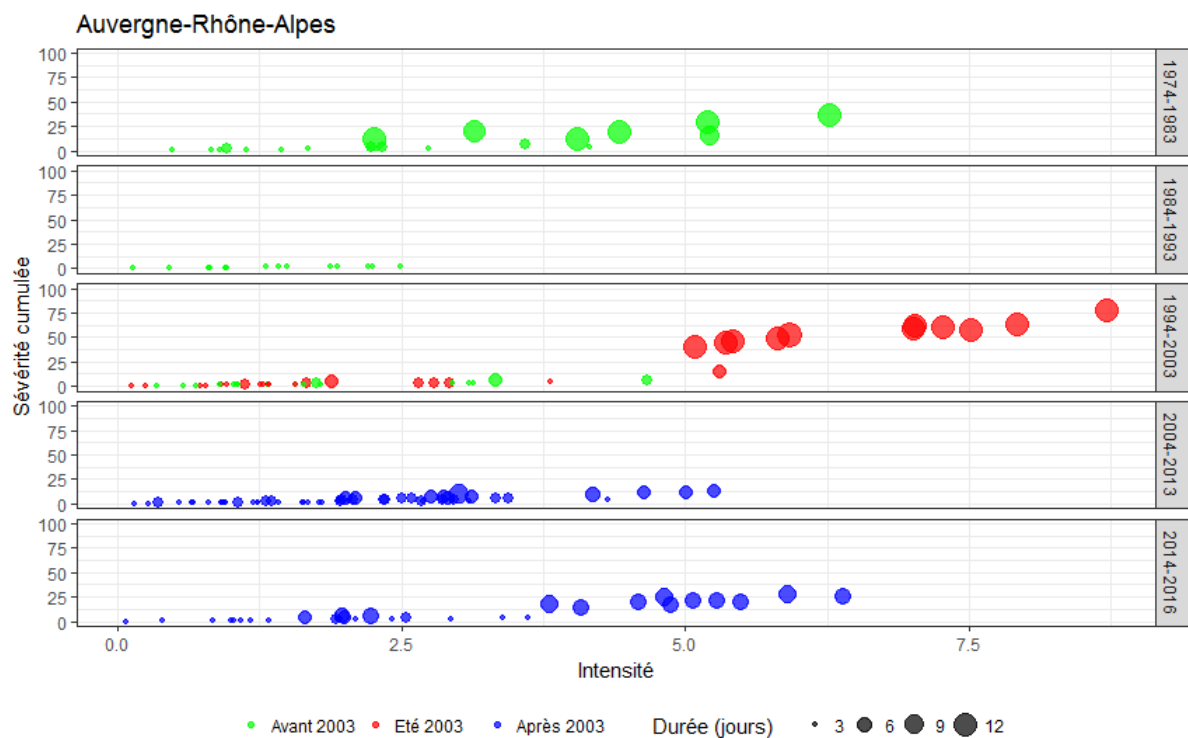
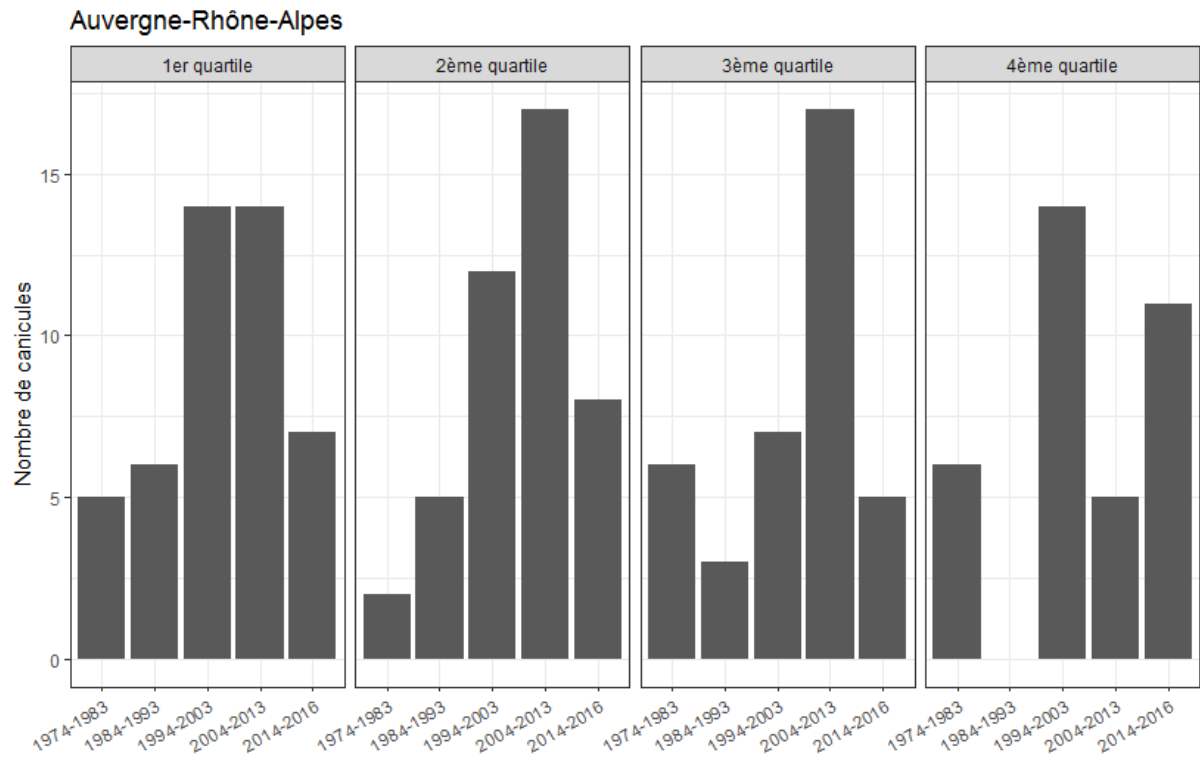
par l'indicateur de l'indicateur climatologique est plus faible que celle identifiée par l'indicateur Canicule.

Dans une logique d'alerte, il faut aboutir à un équilibre délicat entre le nombre d'alerte, et la surmortalité potentiellement associée, et entre la prévention s'appuyant sur l'alerte et la prévention de fond. Entre 1971 et 2013, pour un nombre trois fois plus élevé de vagues de chaleur, l'indicateur climatologique aboutit à un nombre de décès quasiment identique à l'indicateur Canicule, mais à un nombre beaucoup plus faible que l'EHF.

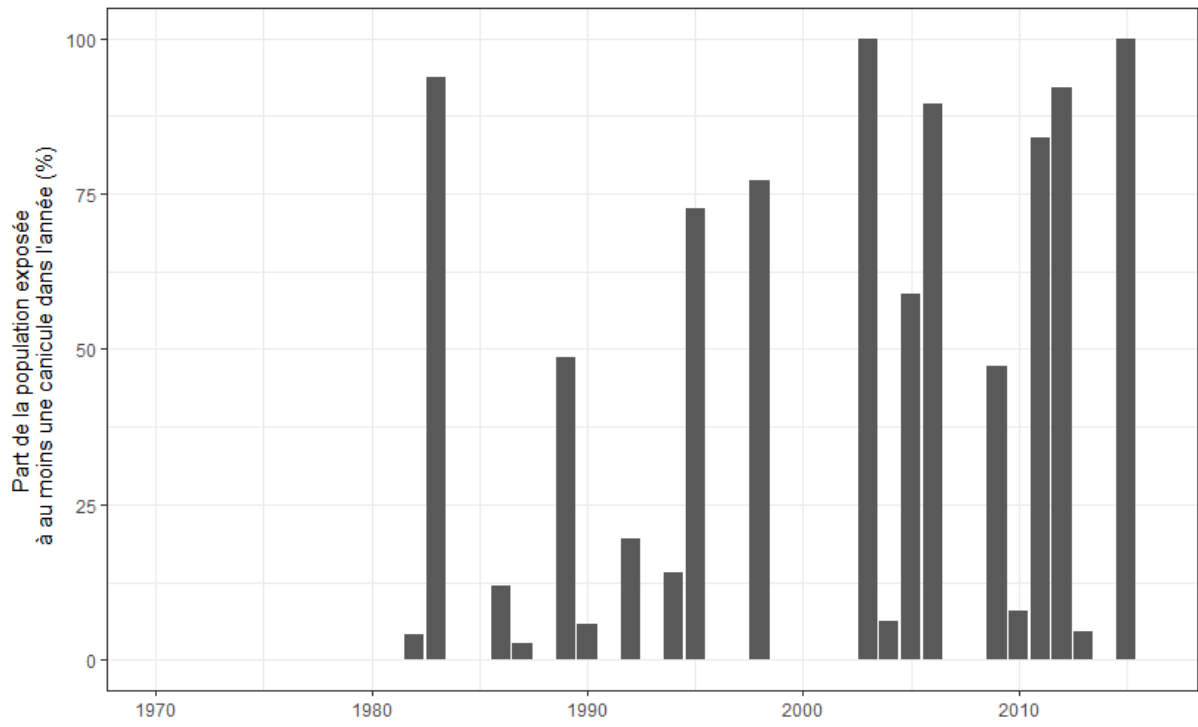
L'intérêt de l'indicateur EHF est de mettre en évidence l'existence de décès pendant les chaleurs moins extrêmes, de manière cohérente avec les connaissances sur la relation température-mortalité (8). Toutefois, pour mettre en évidence cet impact, il serait plus pertinent de modéliser l'ensemble de la mortalité attribuable à la chaleur, ainsi que cela a déjà été réalisé pour 18 villes françaises (8).

Annexe 2. Caractéristiques des vagues de chaleur du Sacs par région

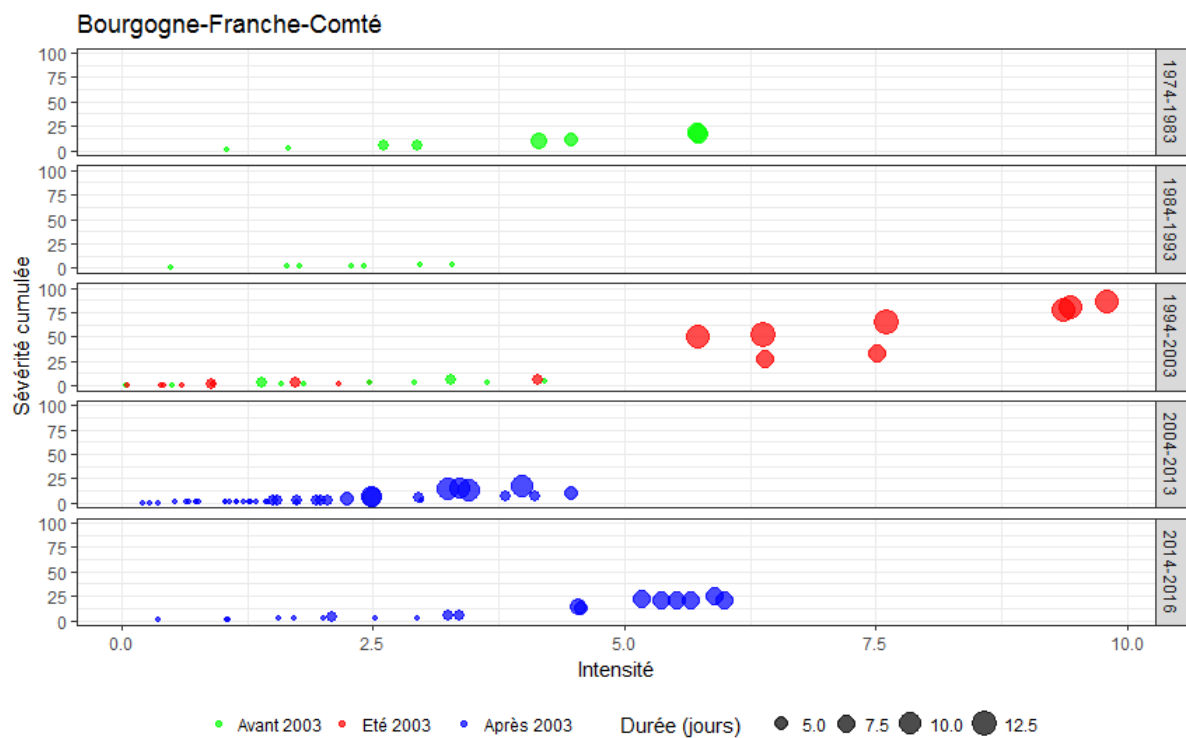
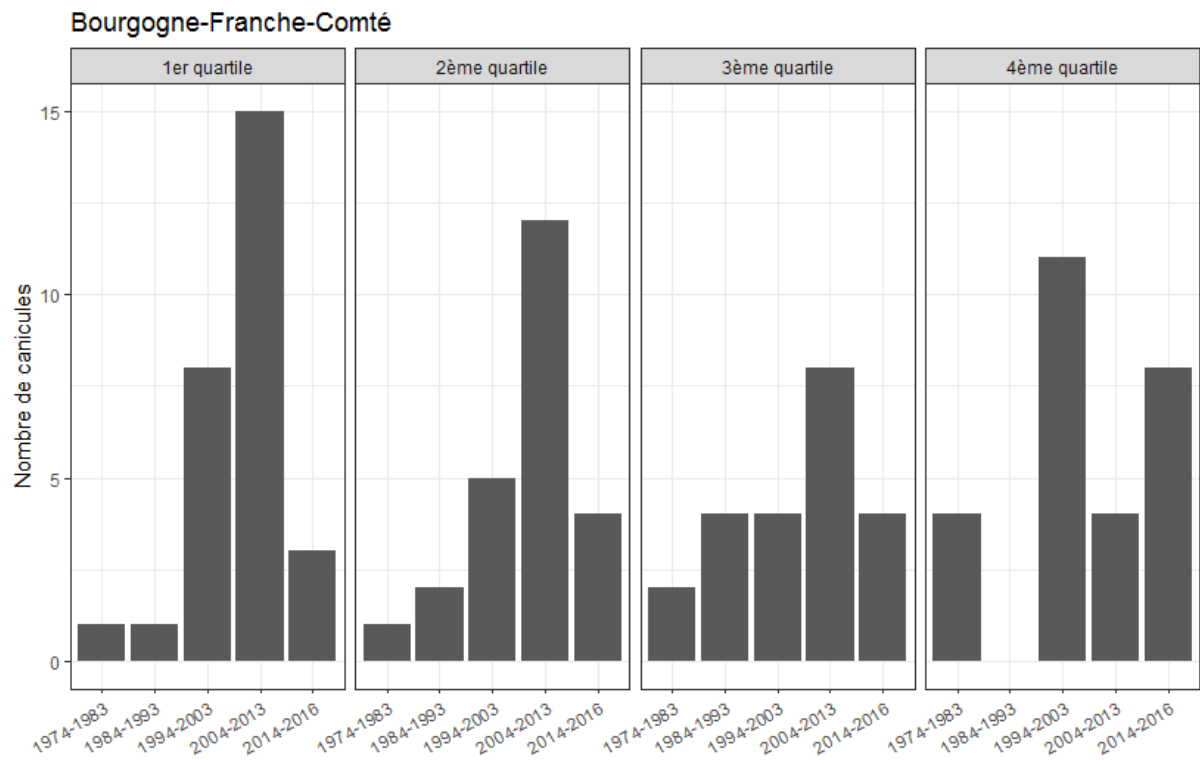
A.2.1 Auvergne-Rhône-Alpes



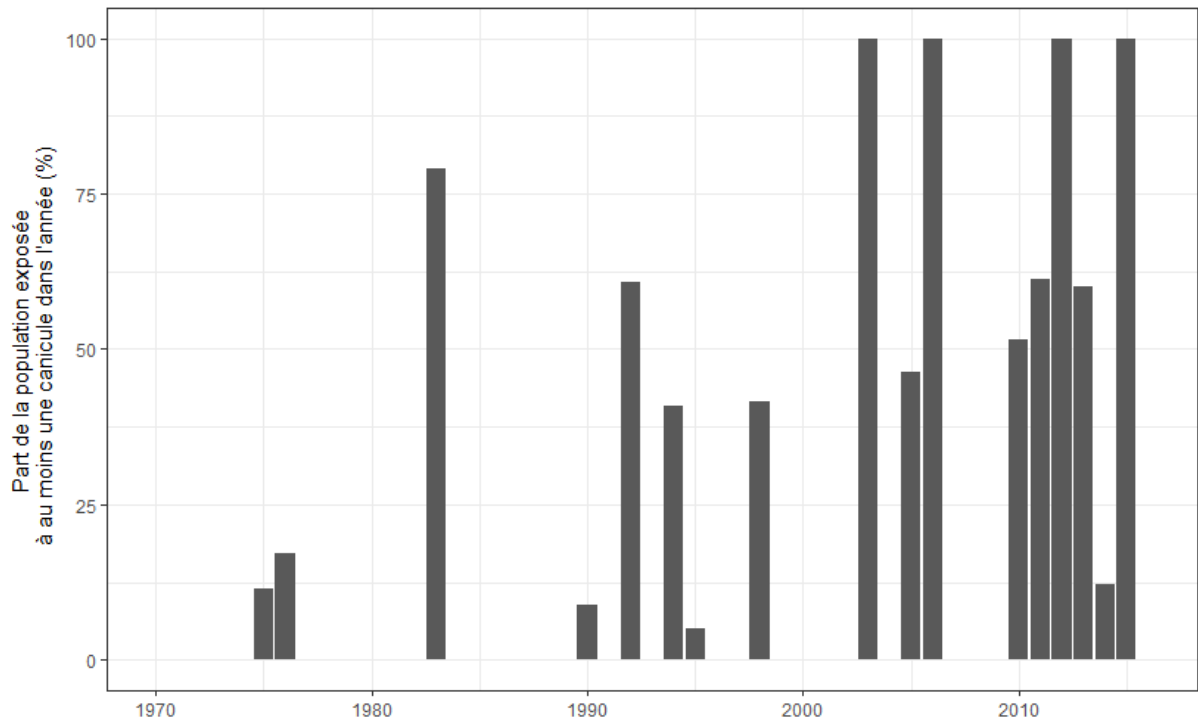
Auvergne-Rhône-Alpes



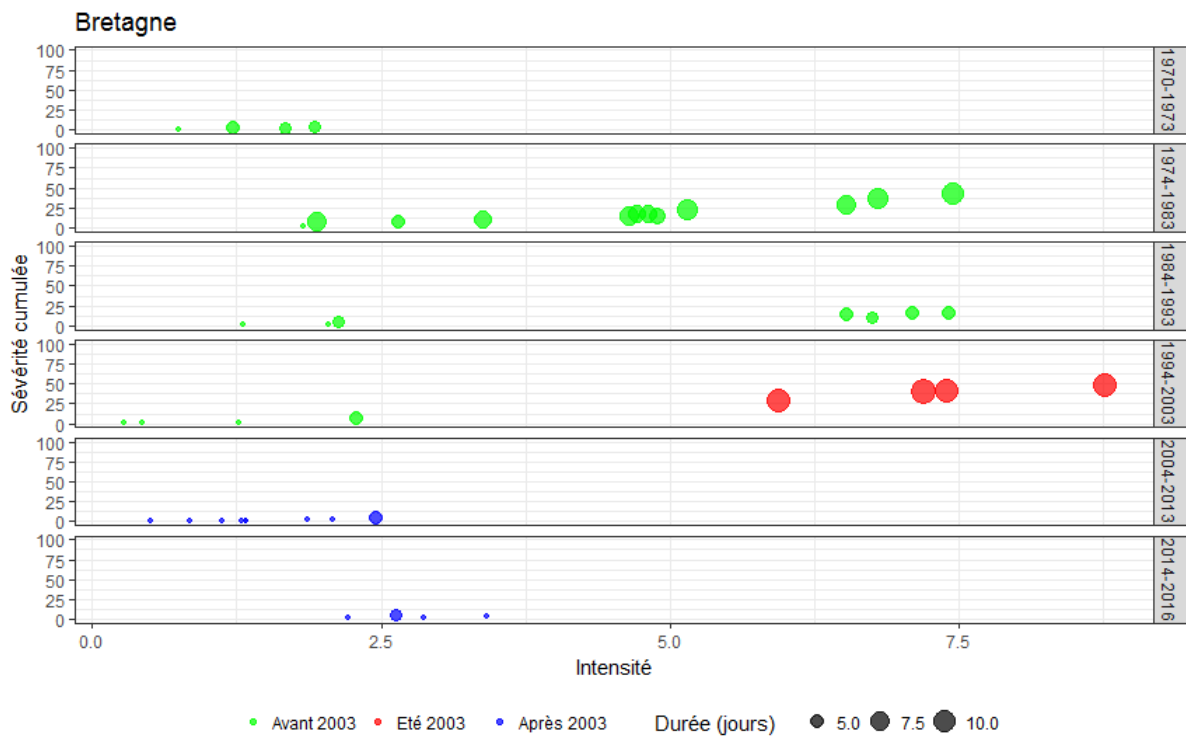
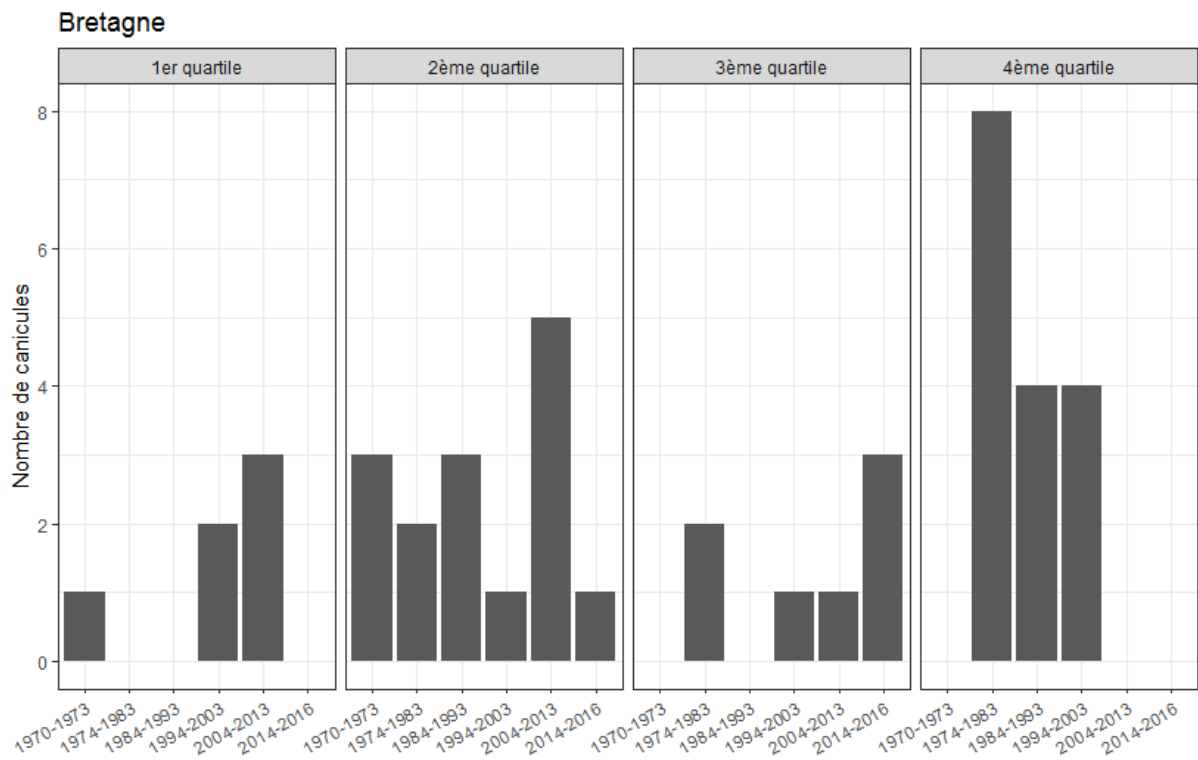
A.2.2 Bourgogne-Franche-Comté



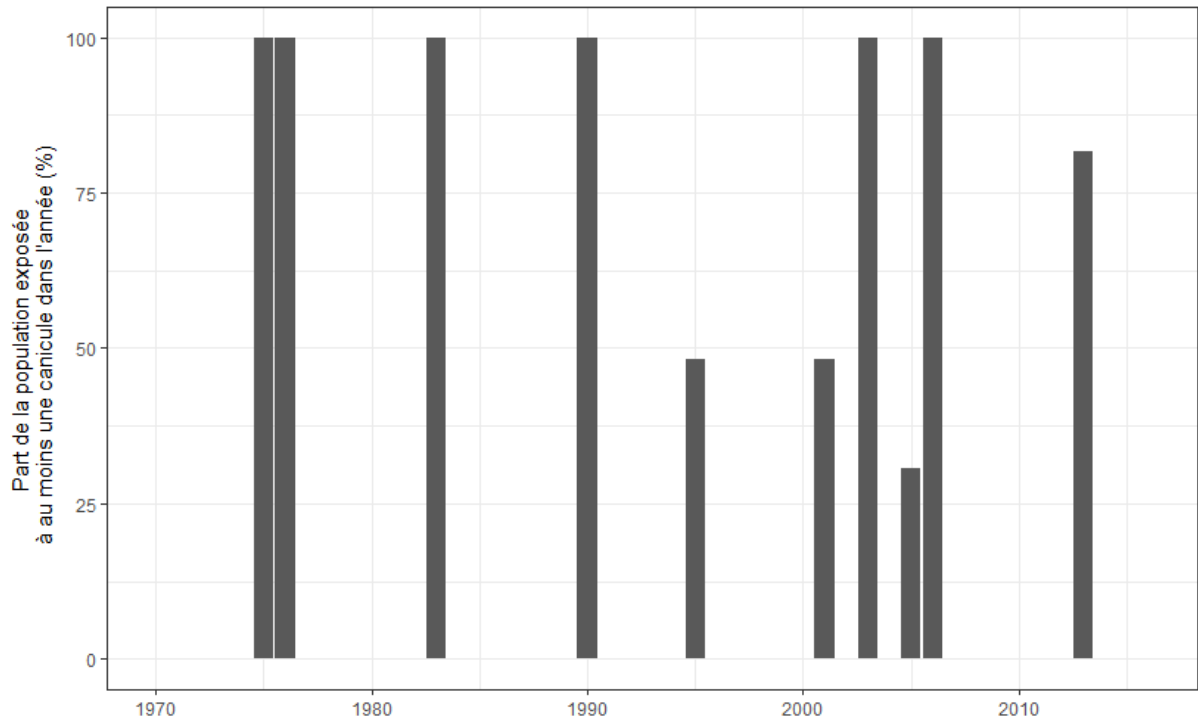
Bourgogne-Franche-Comté



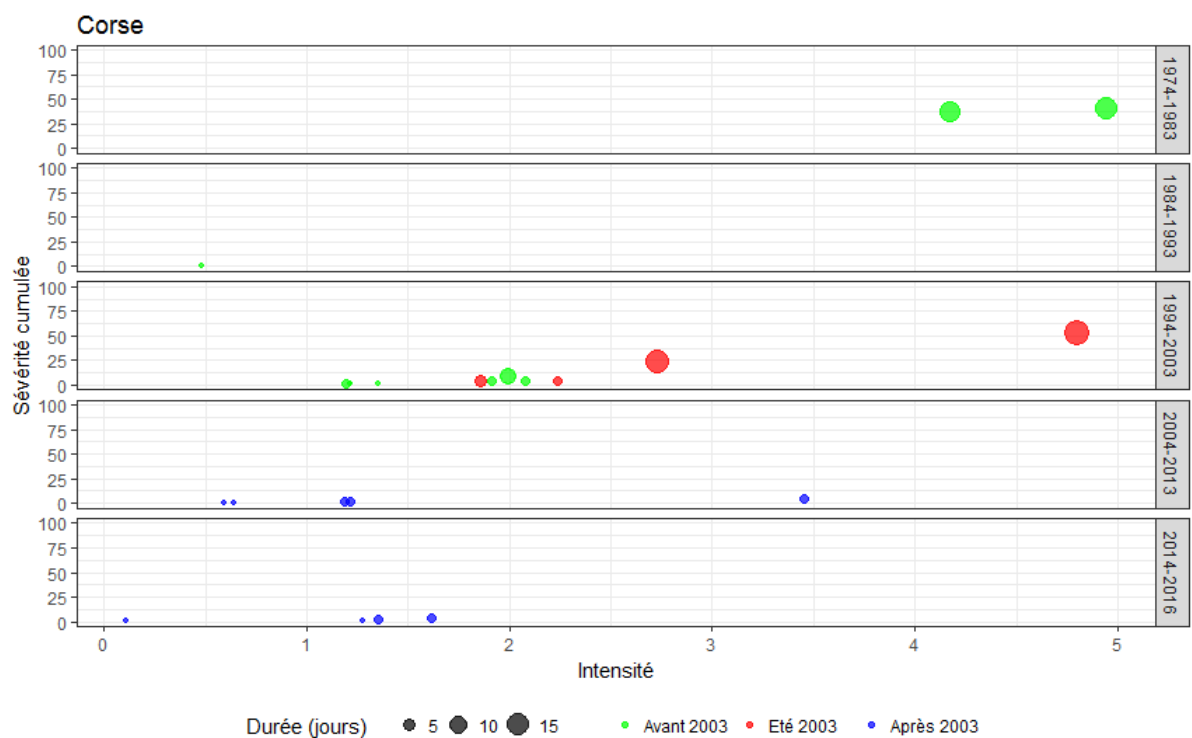
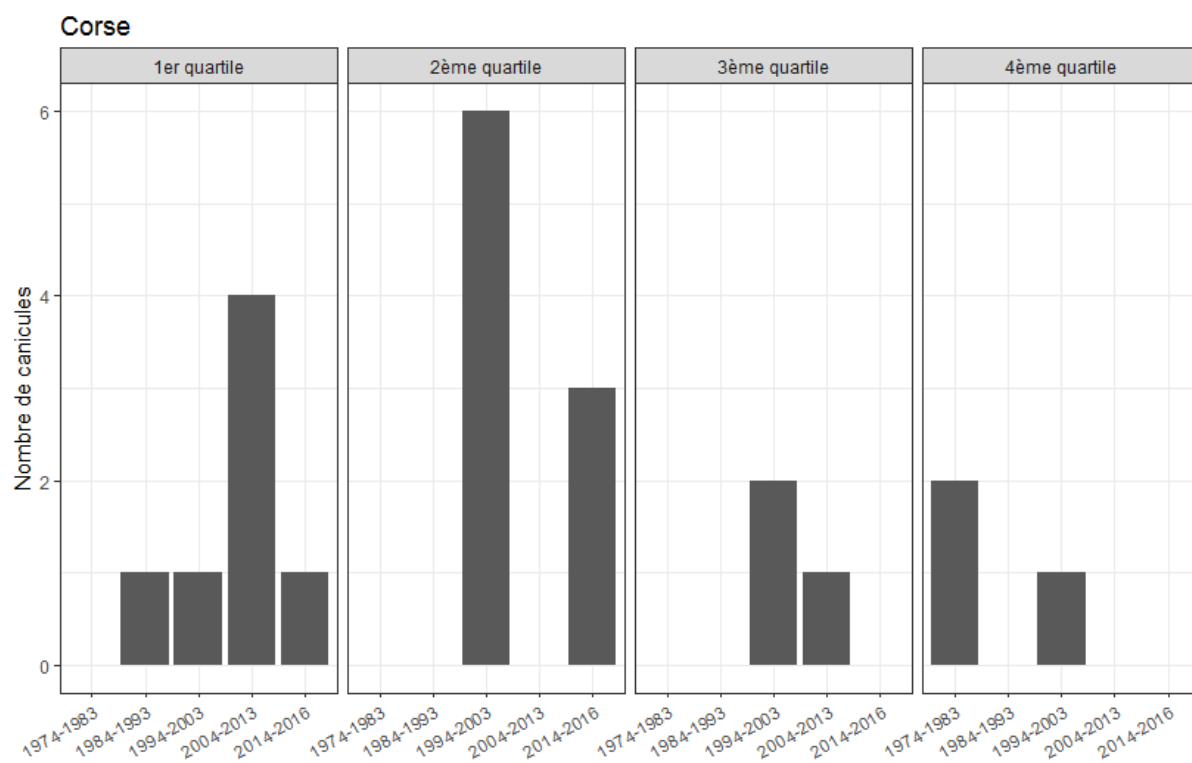
A.2.3 Bretagne

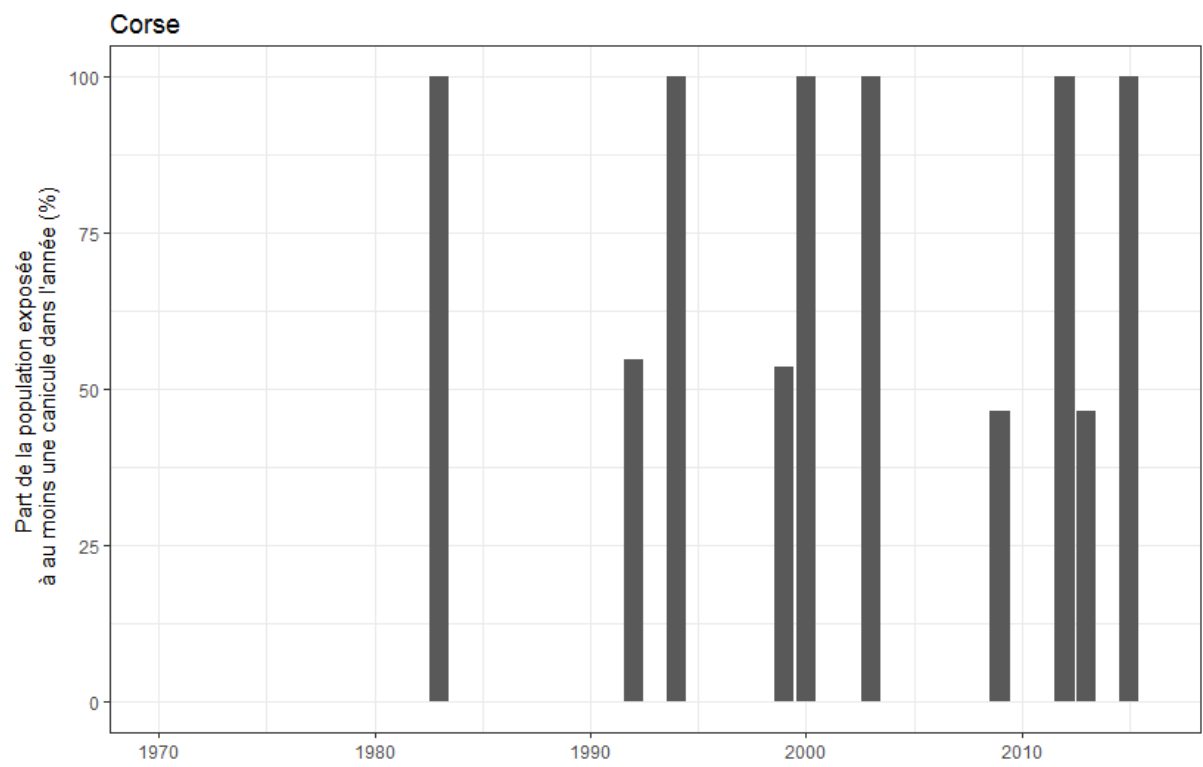


Bretagne

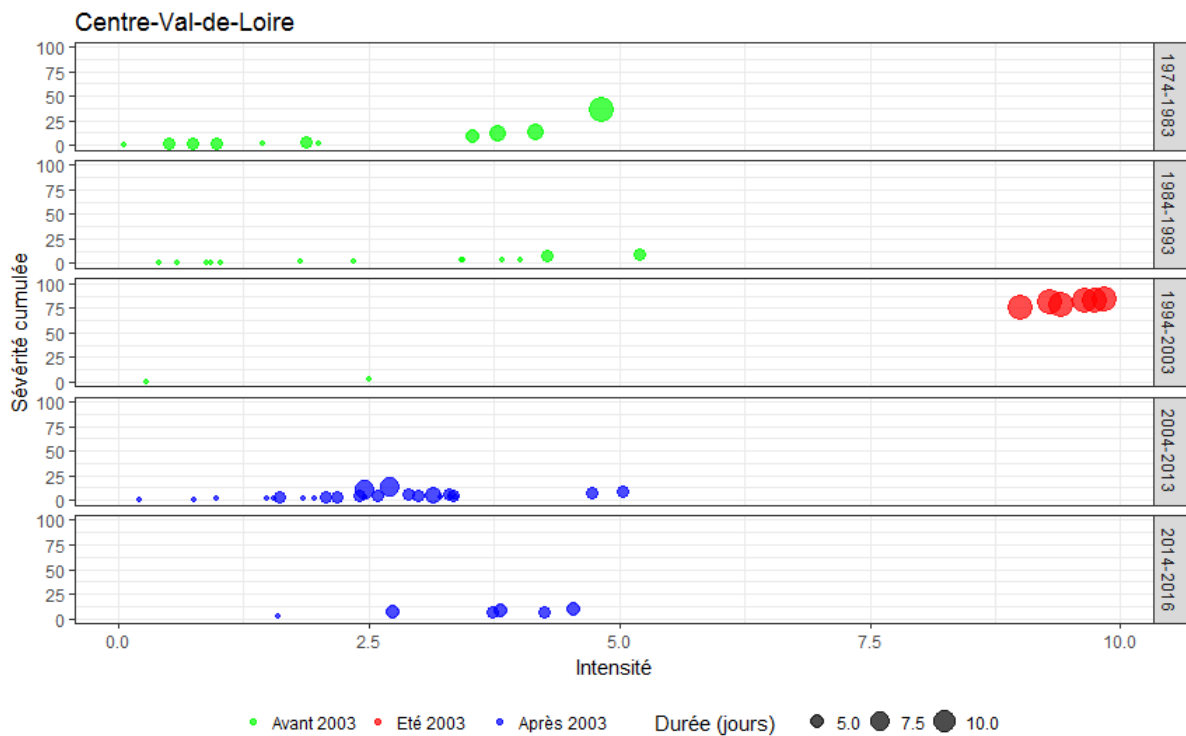
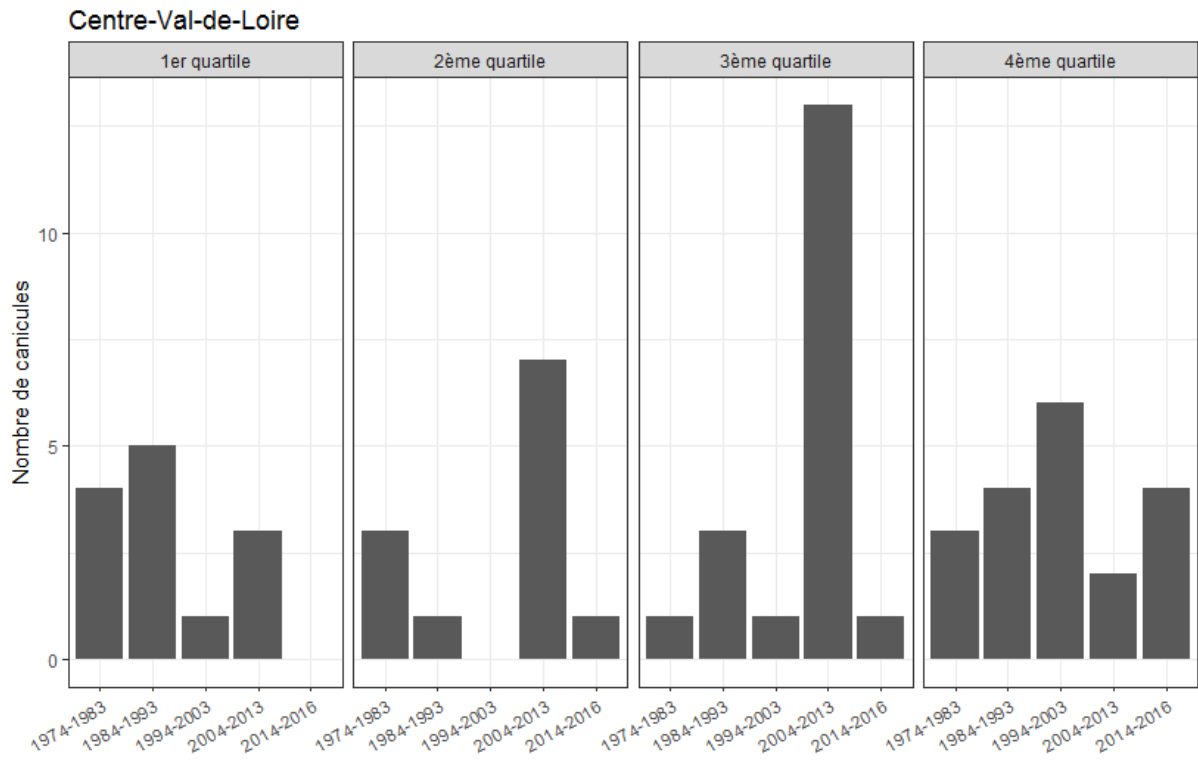


A.2.4 Corse

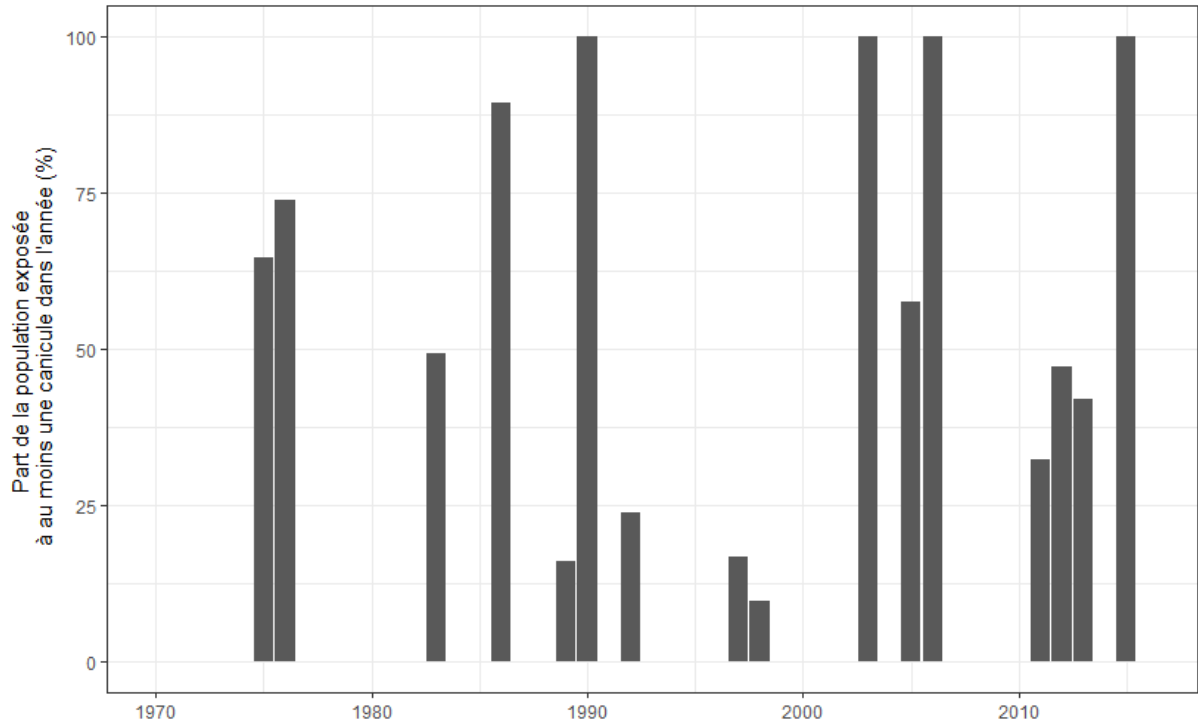




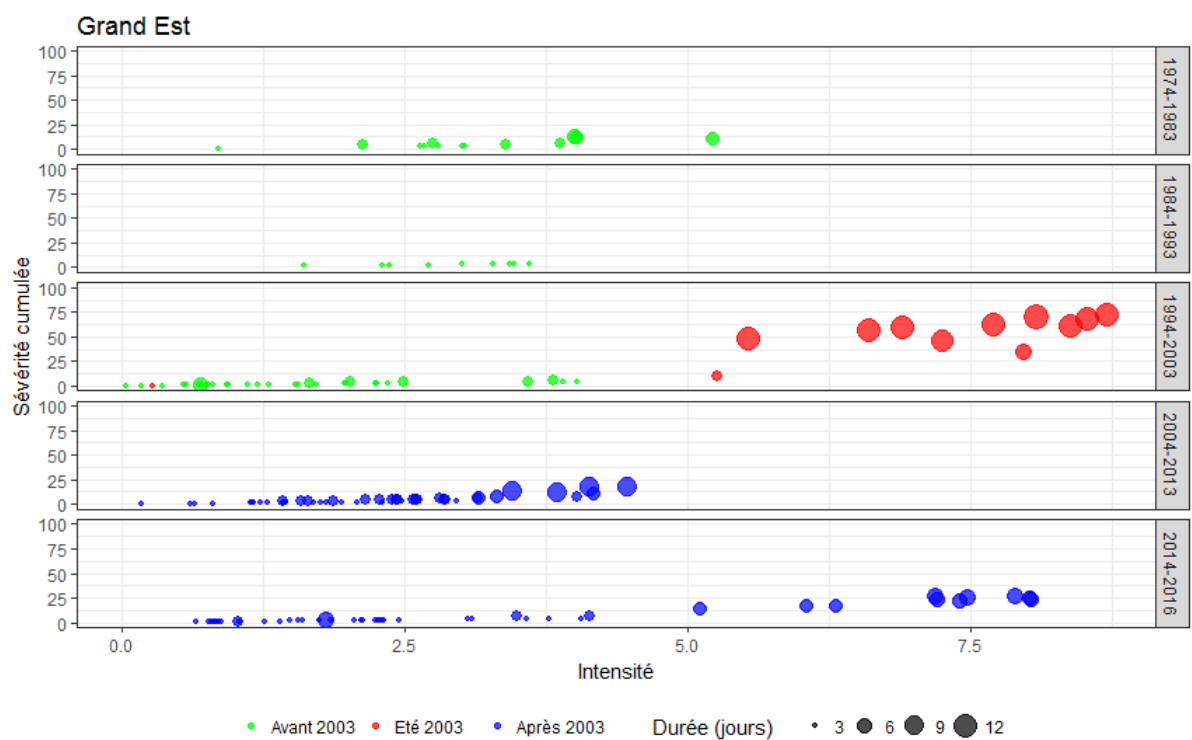
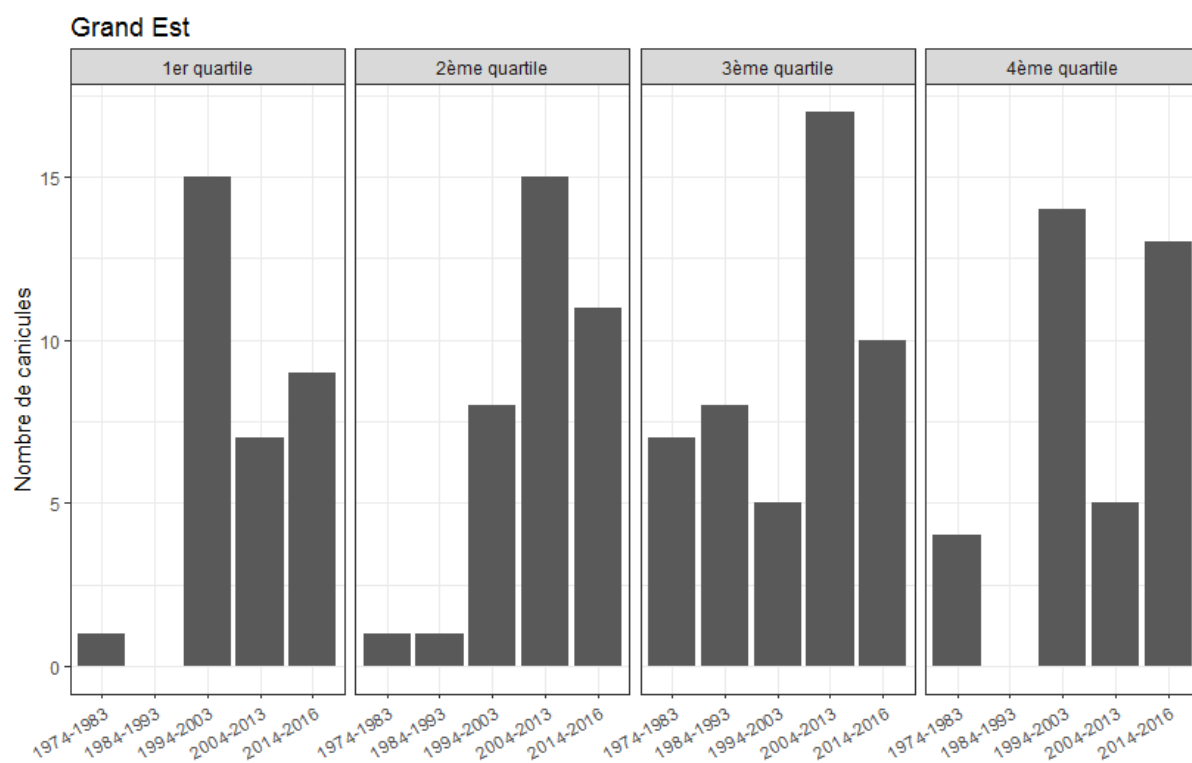
A.2.5 Centre-Val de Loire

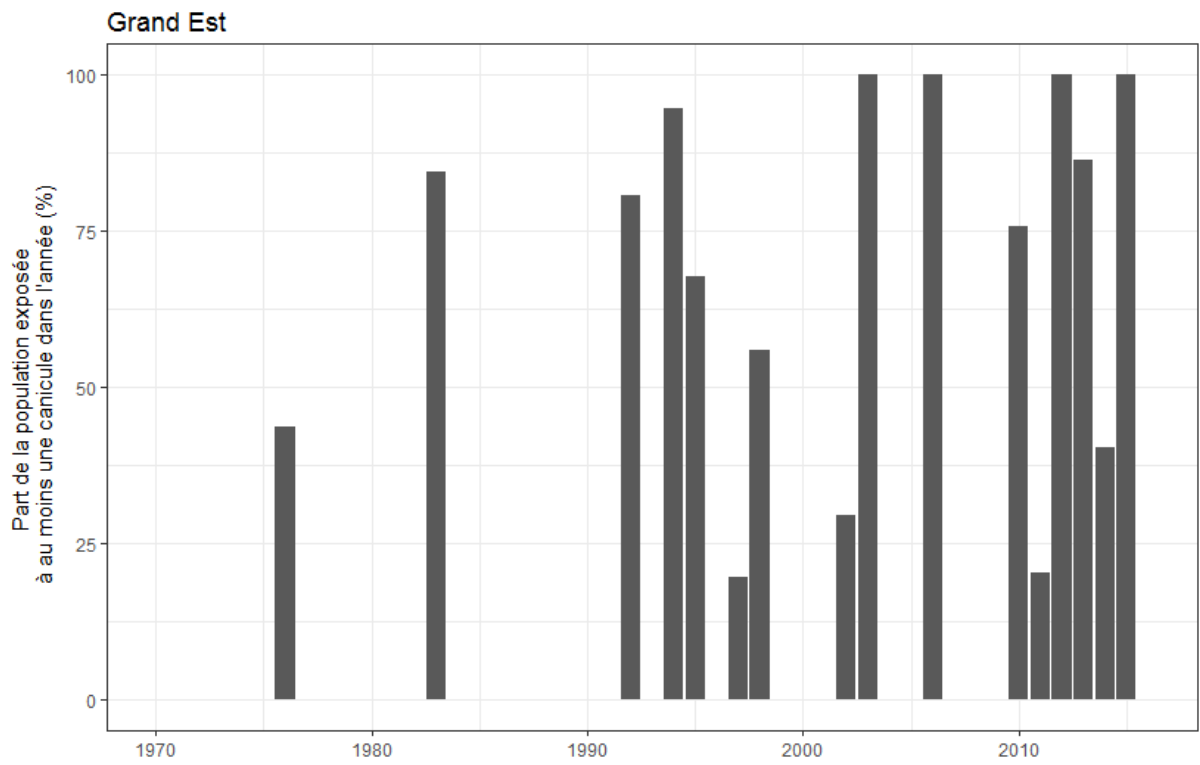


Centre-Val-de-Loire

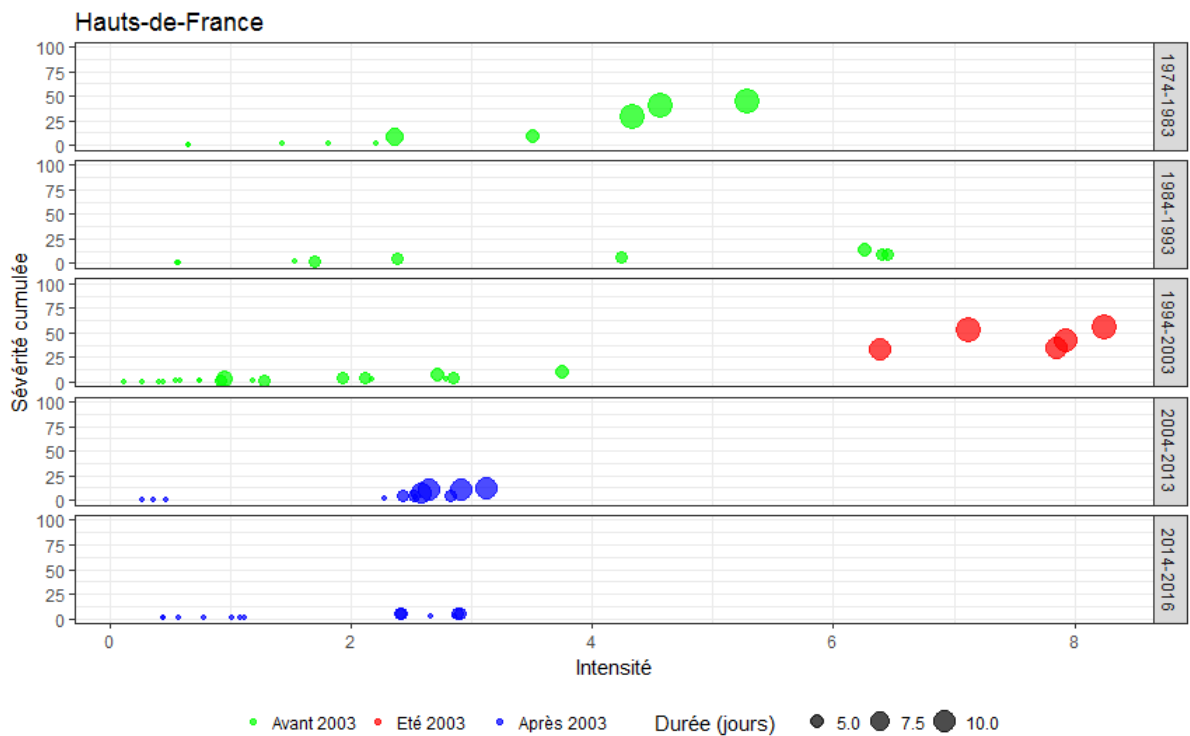
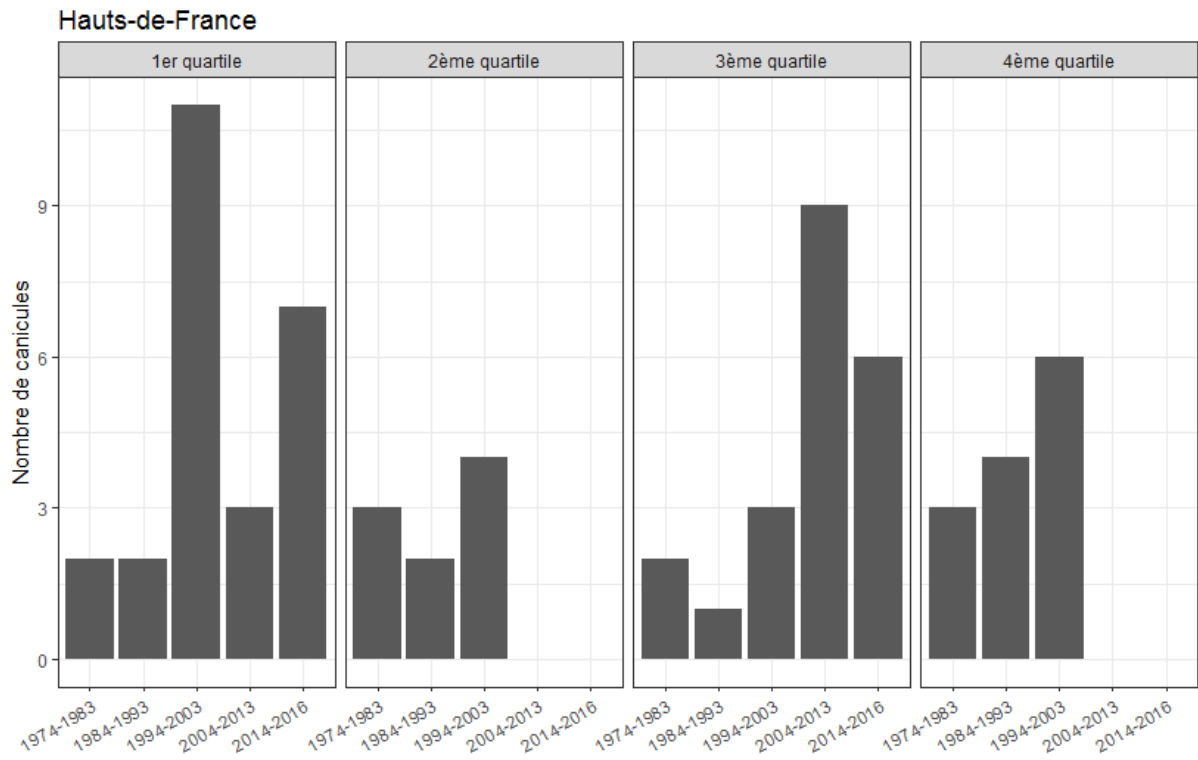


A.2.6 Grand Est

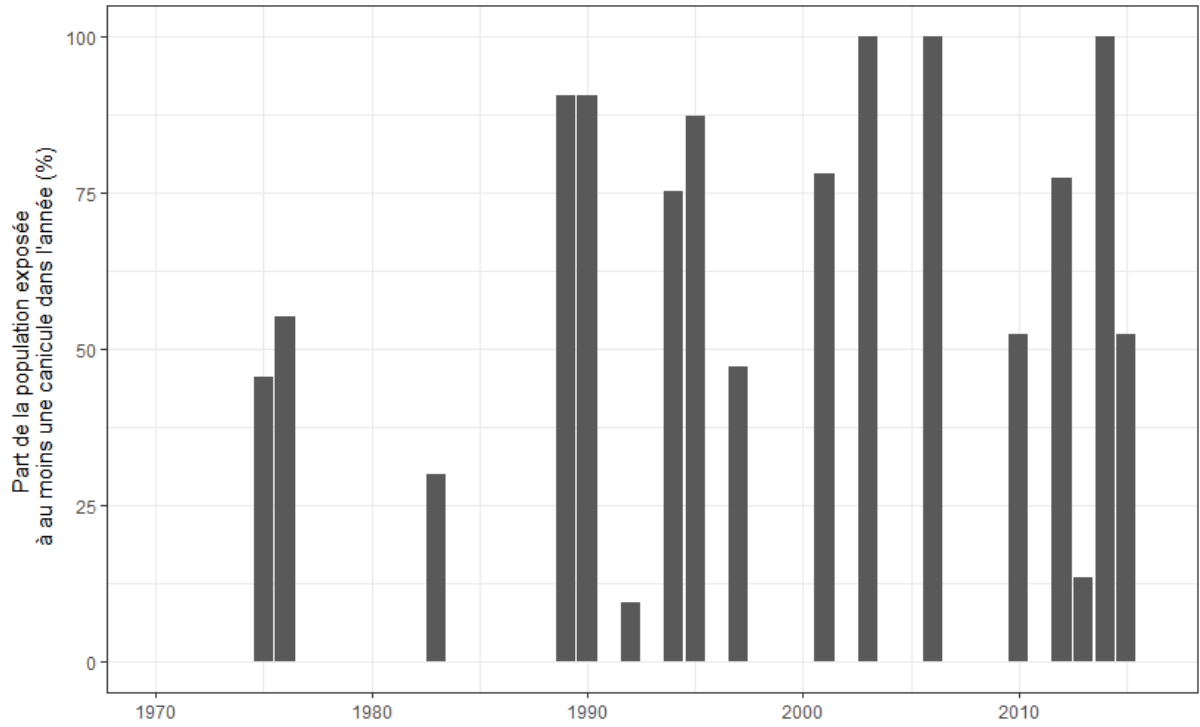




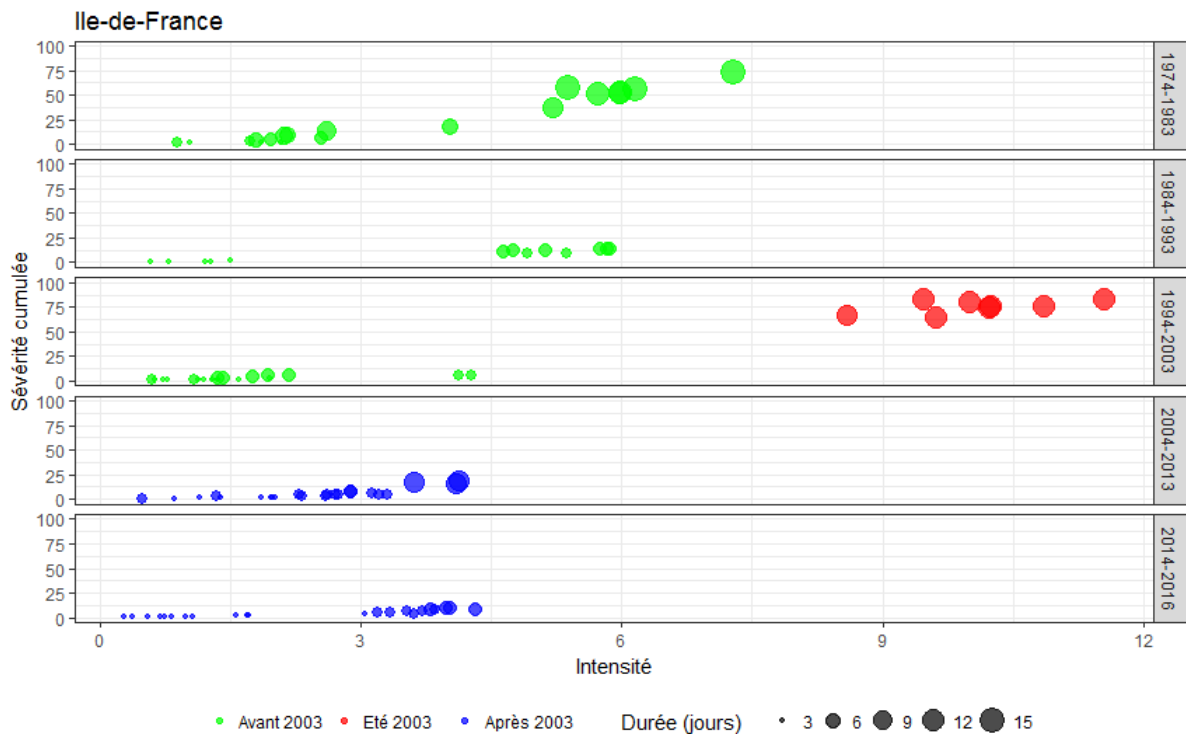
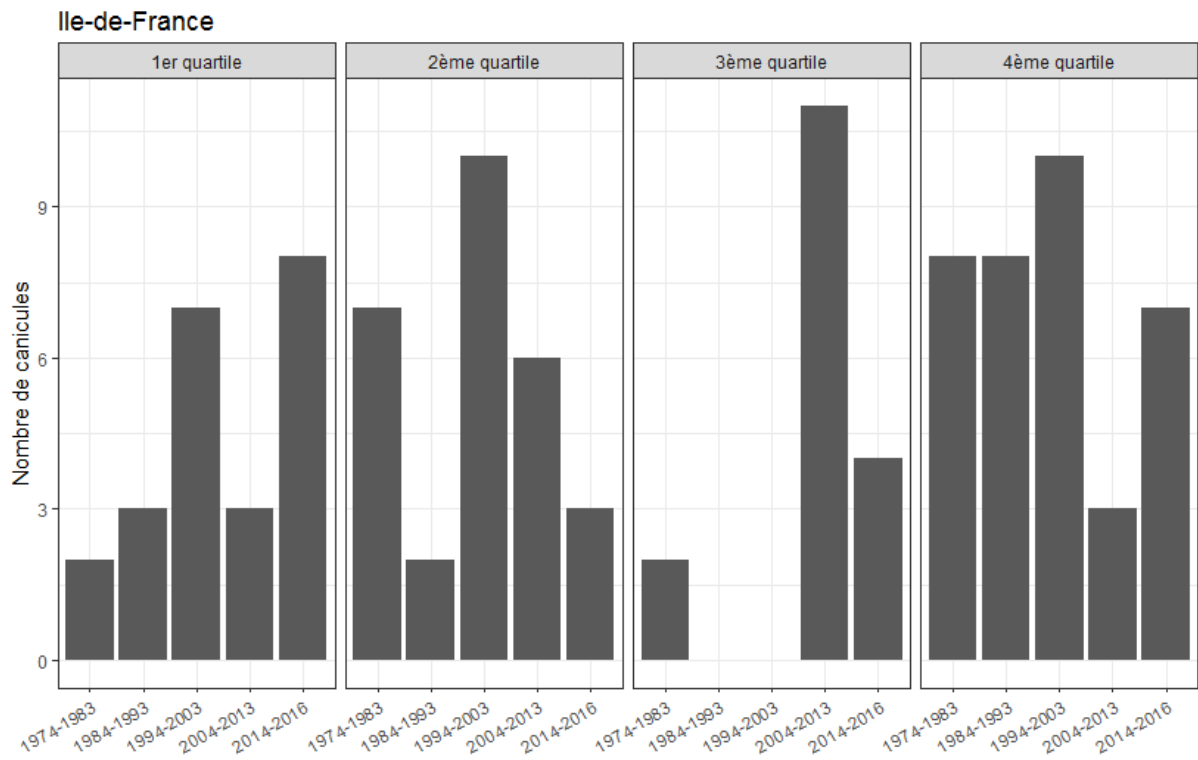
A.2.7 Hauts-de-France

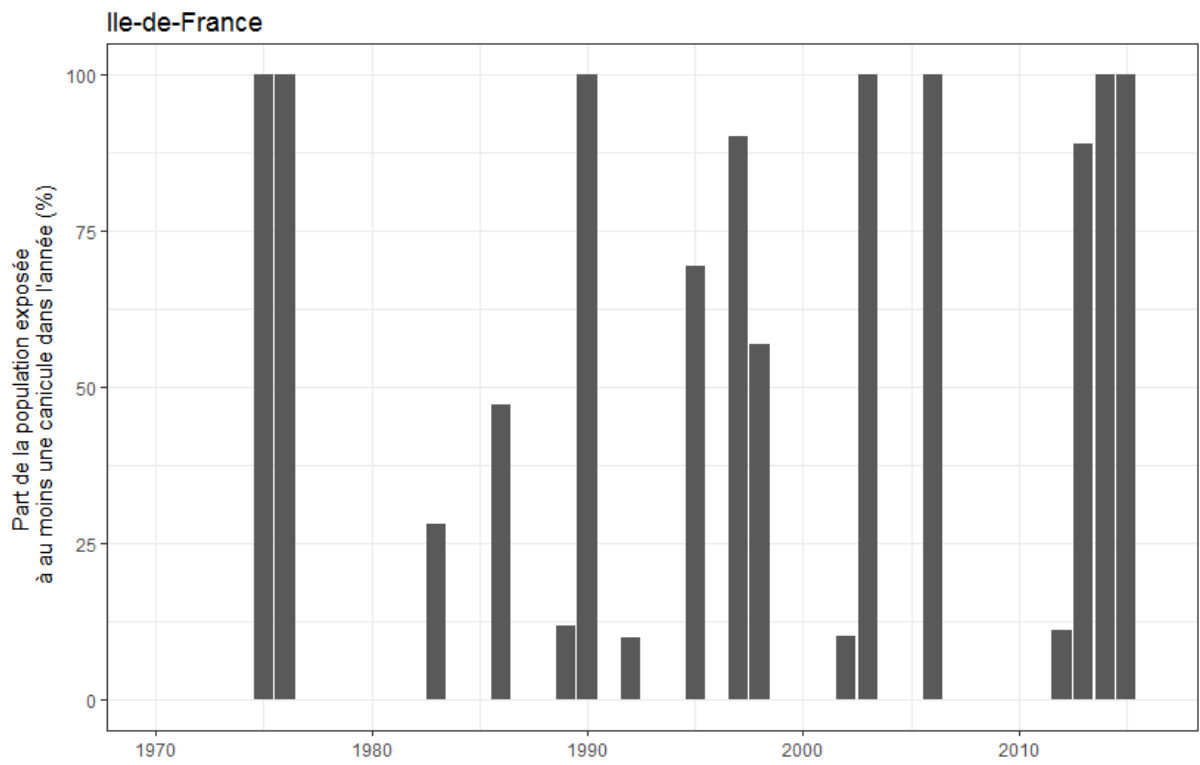


Hauts-de-France



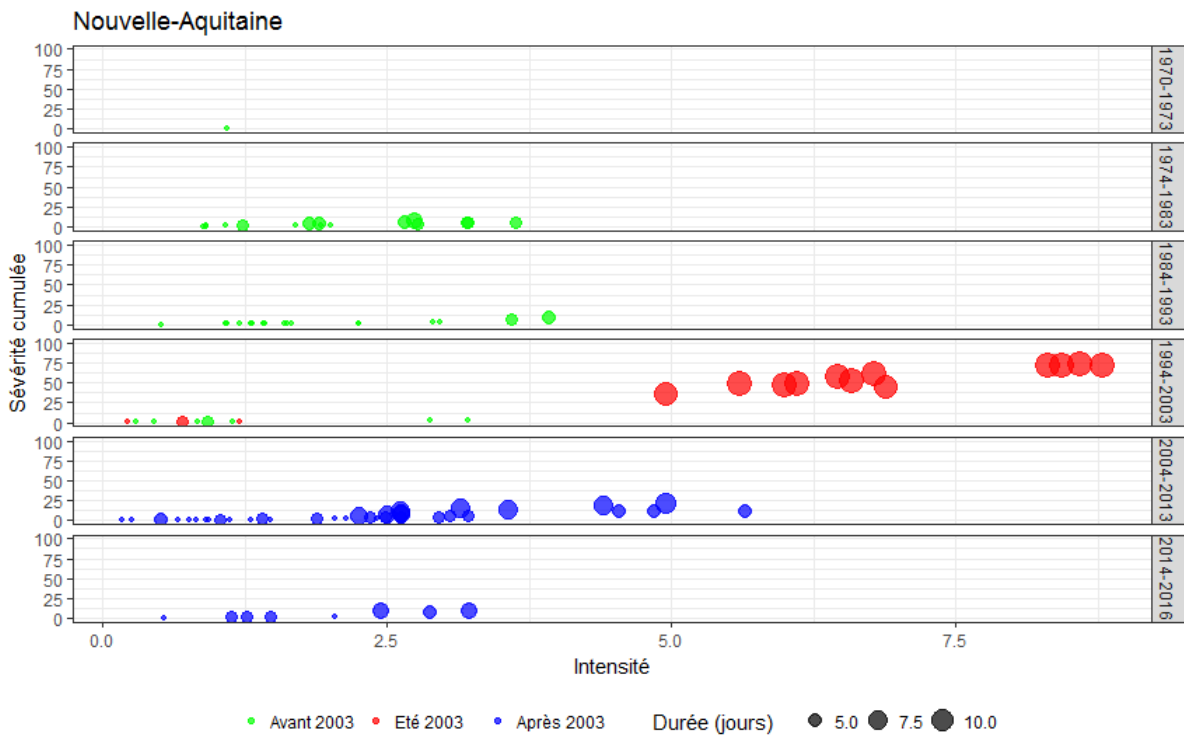
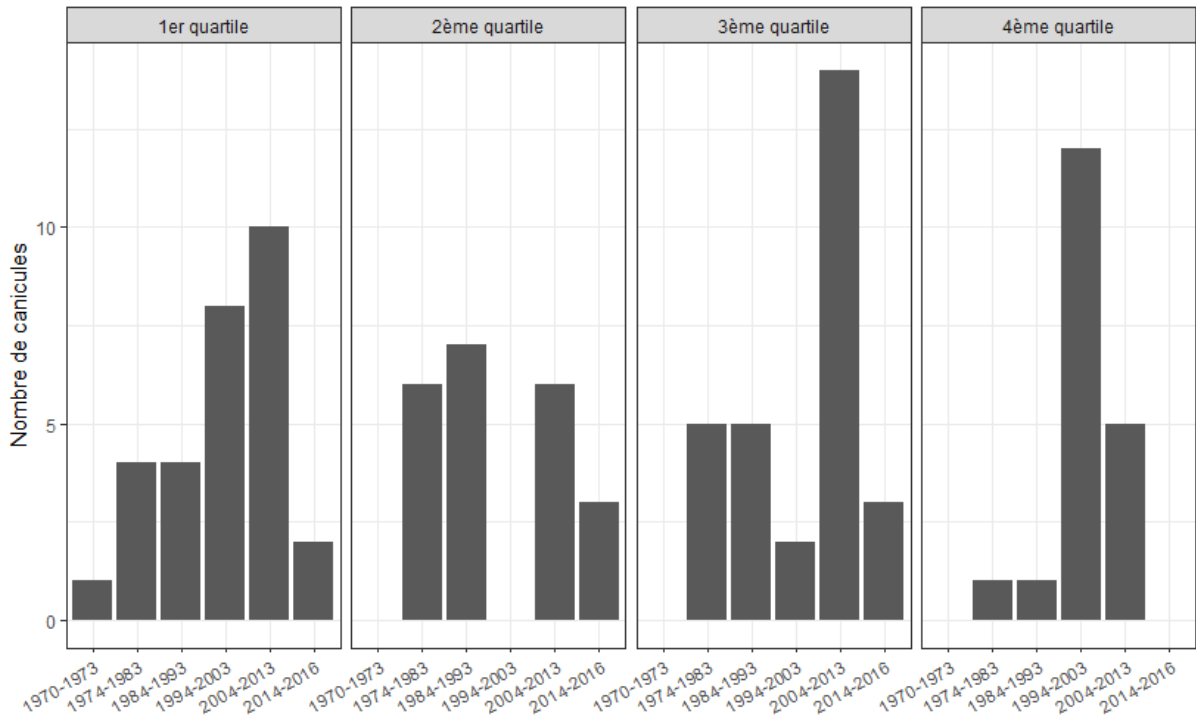
A.2.8. Île-de-France



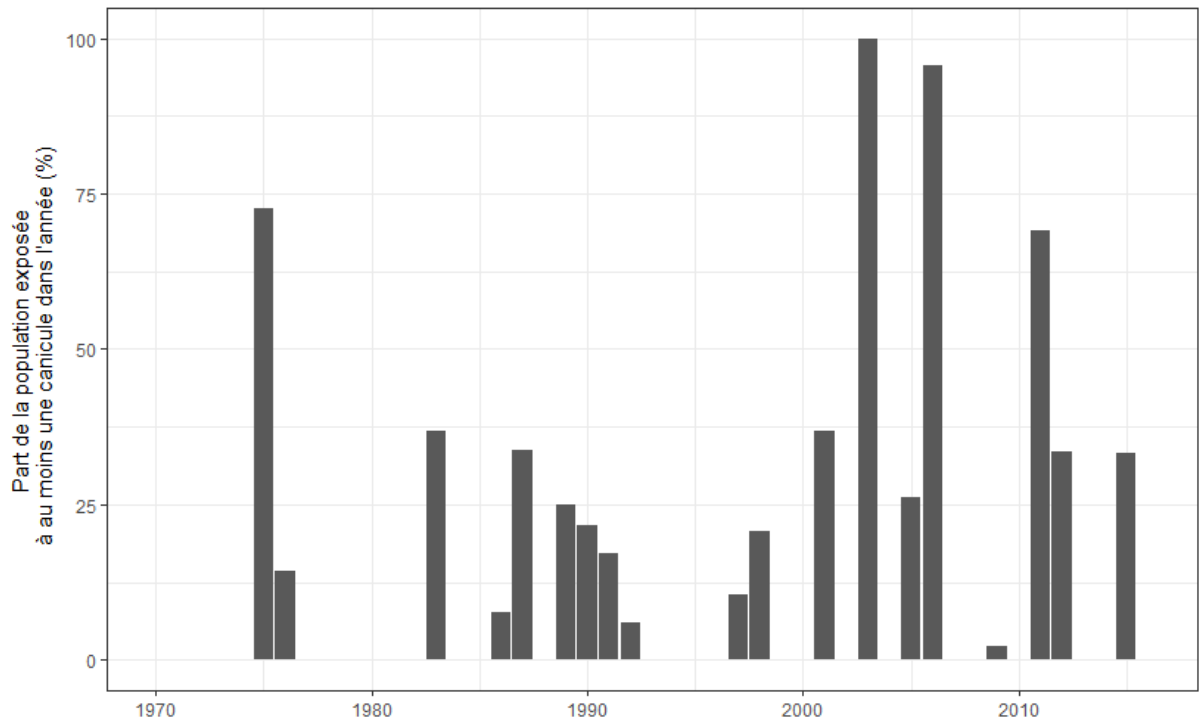


A.2.9 Nouvelle-Aquitaine

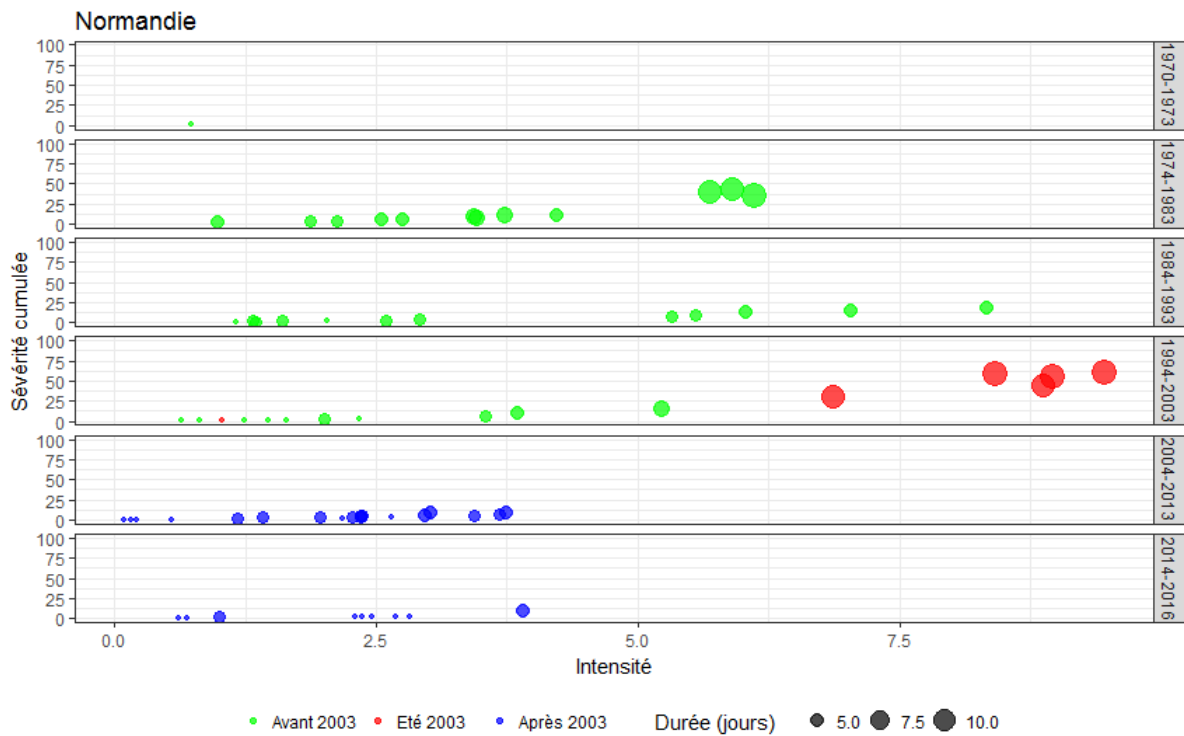
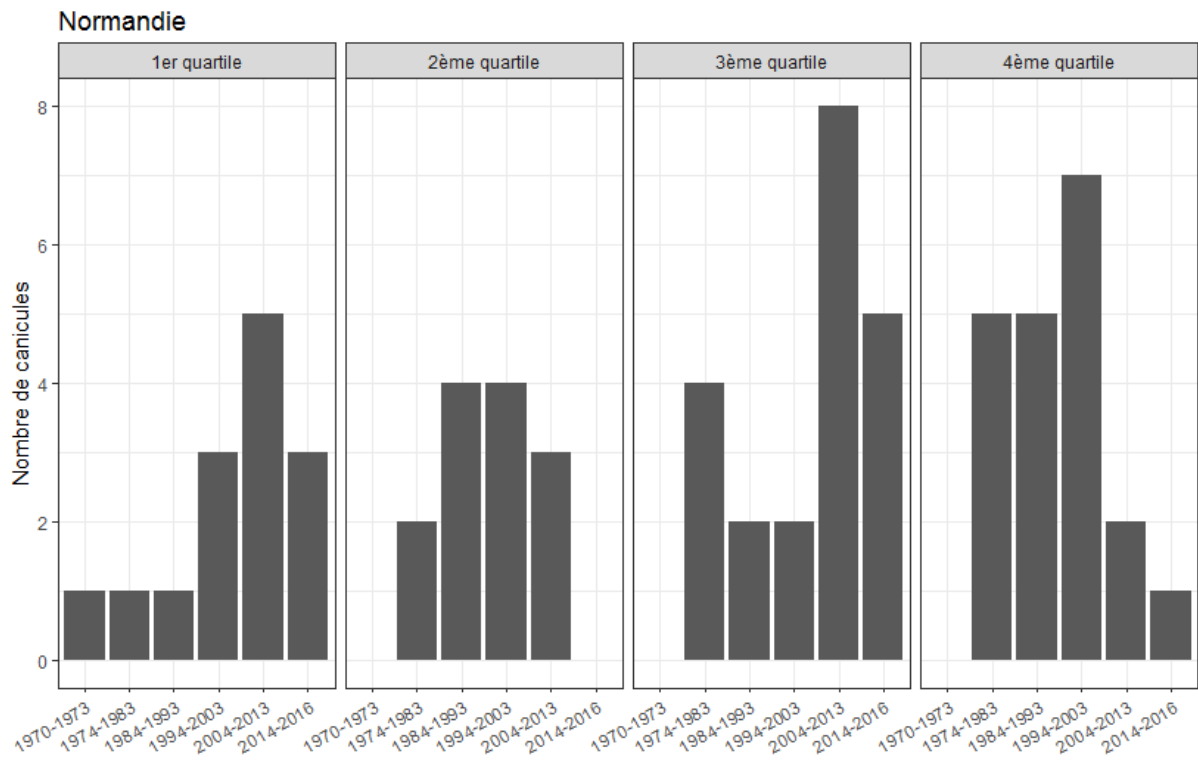
Nouvelle-Aquitaine

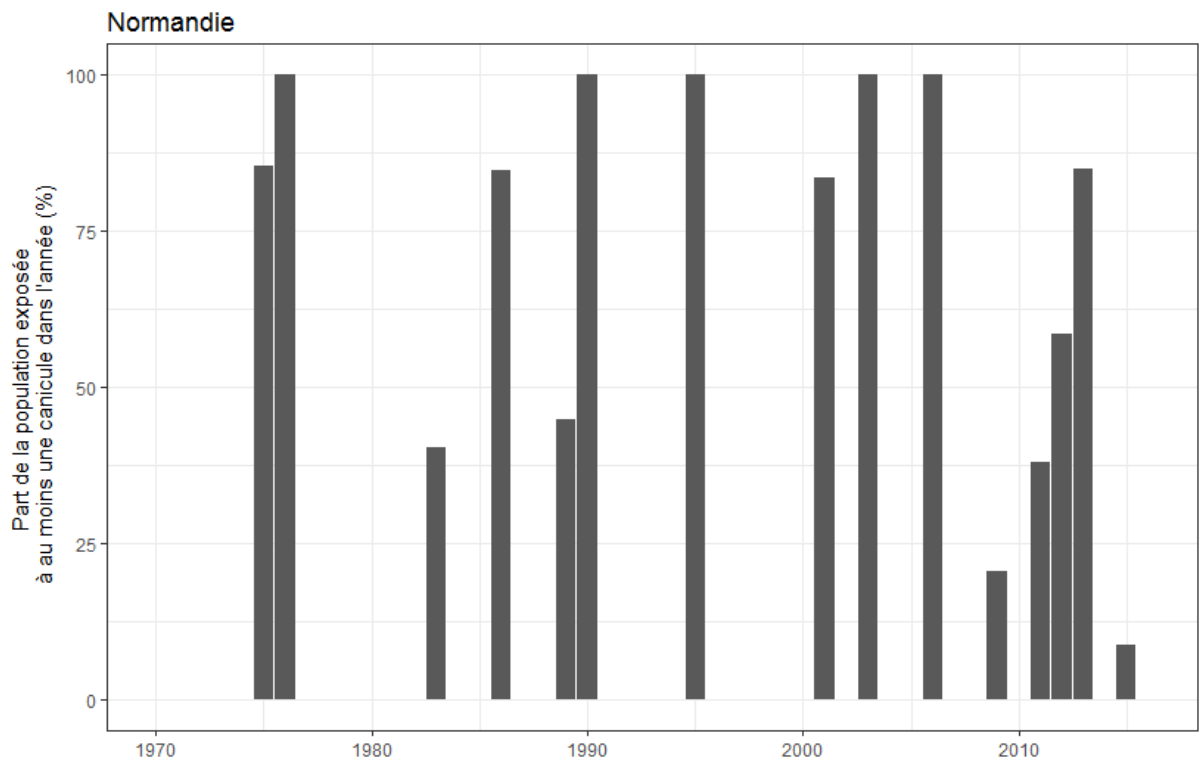


Nouvelle-Aquitaine

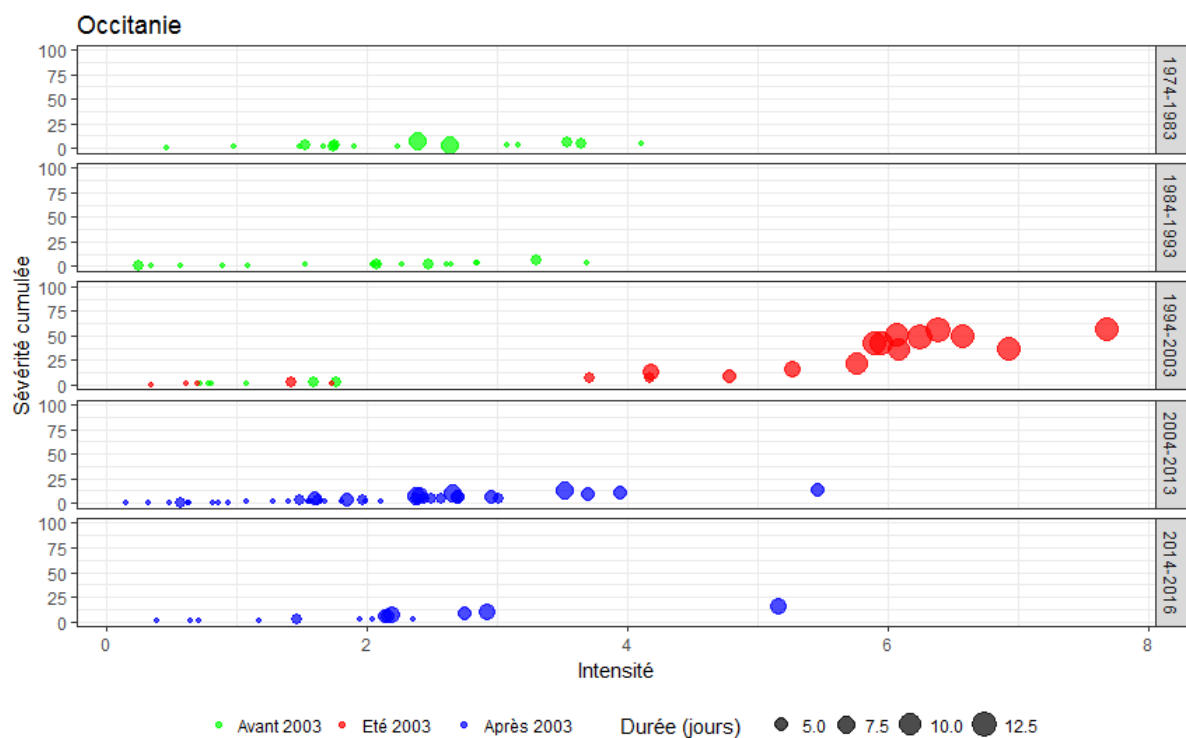
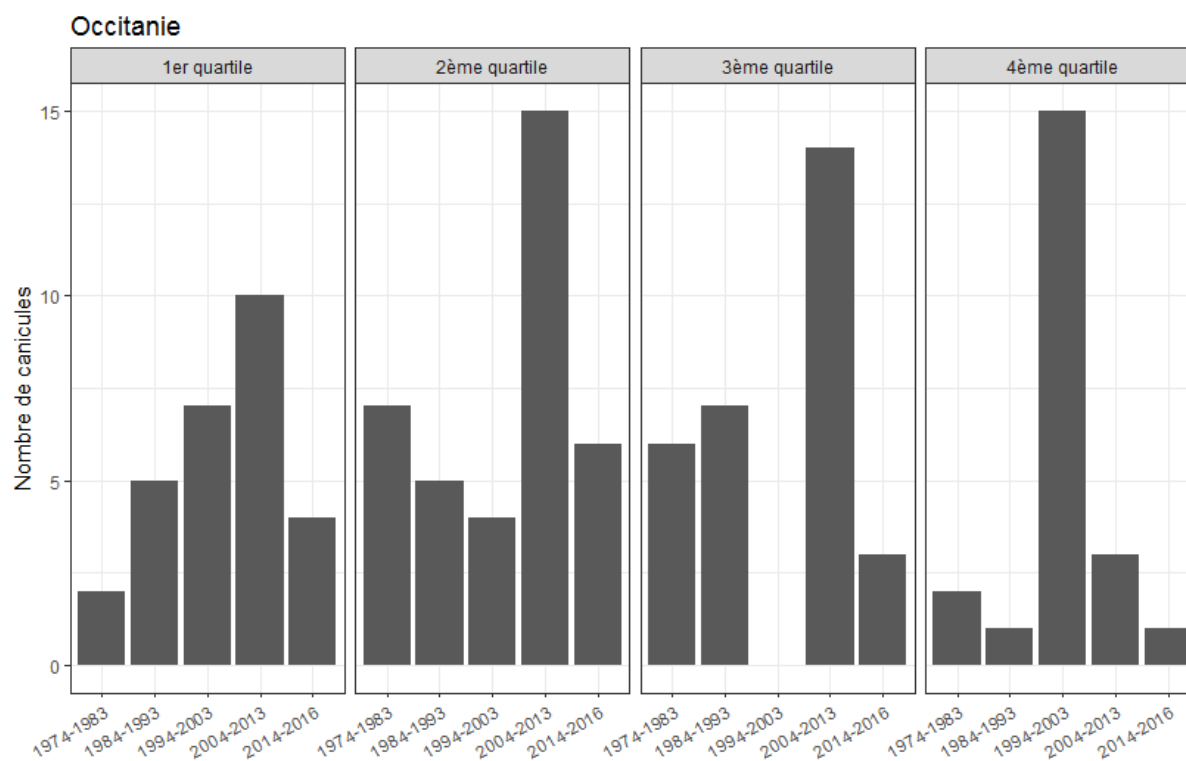


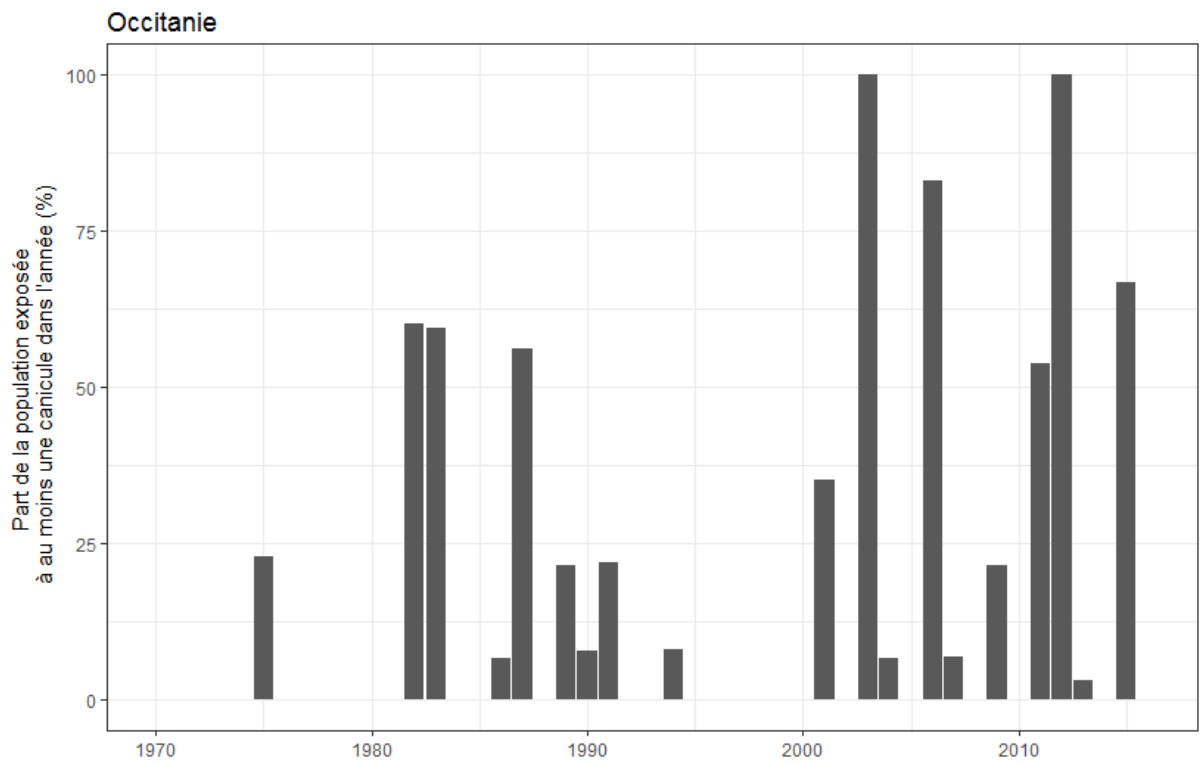
A.2.10 Normandie



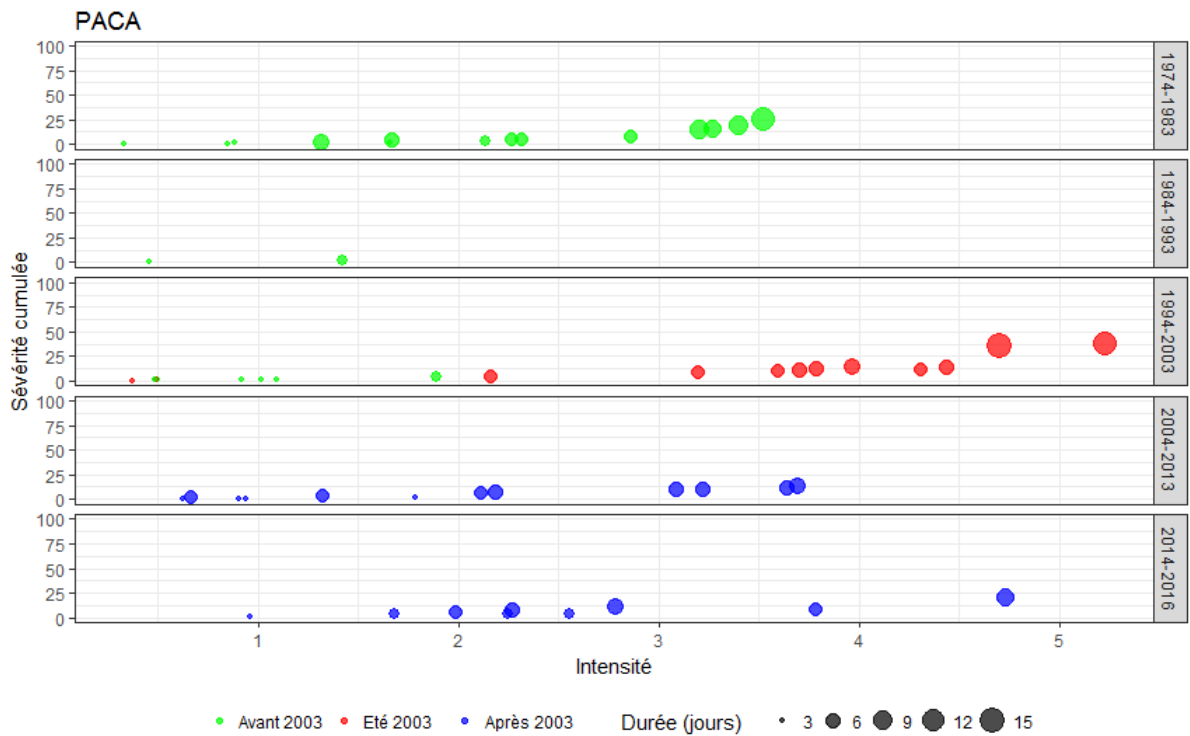
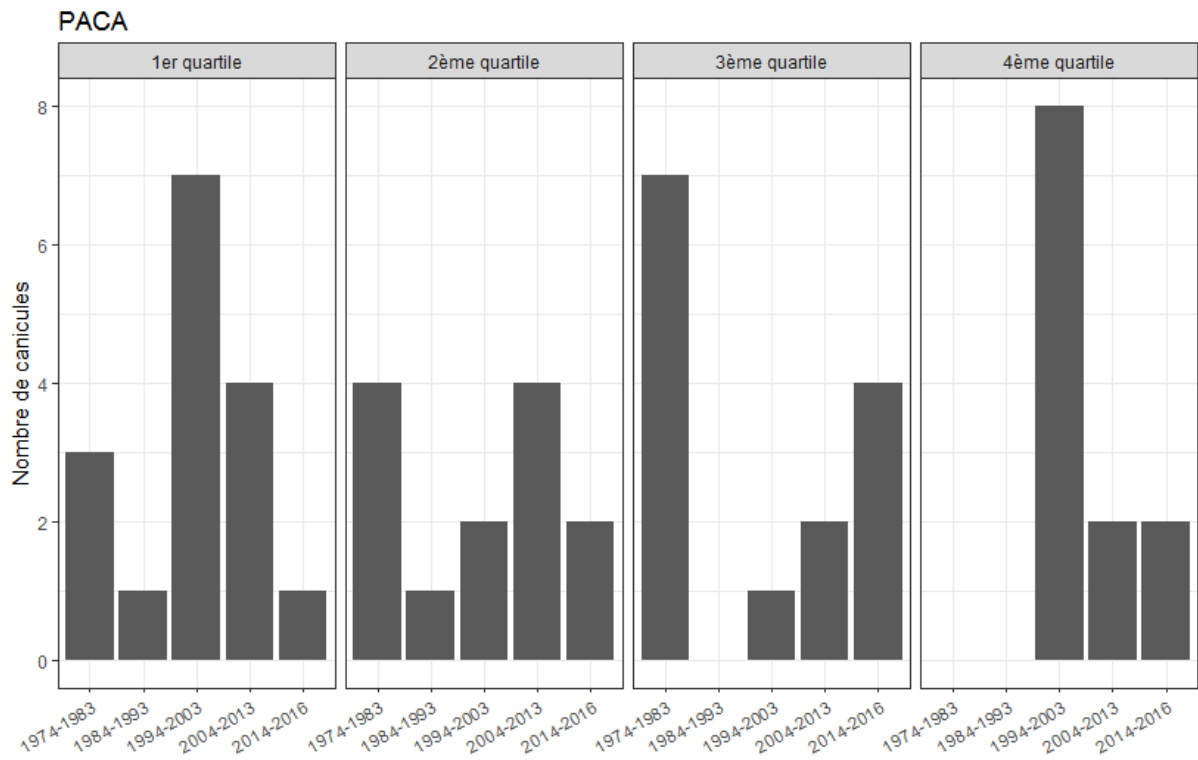


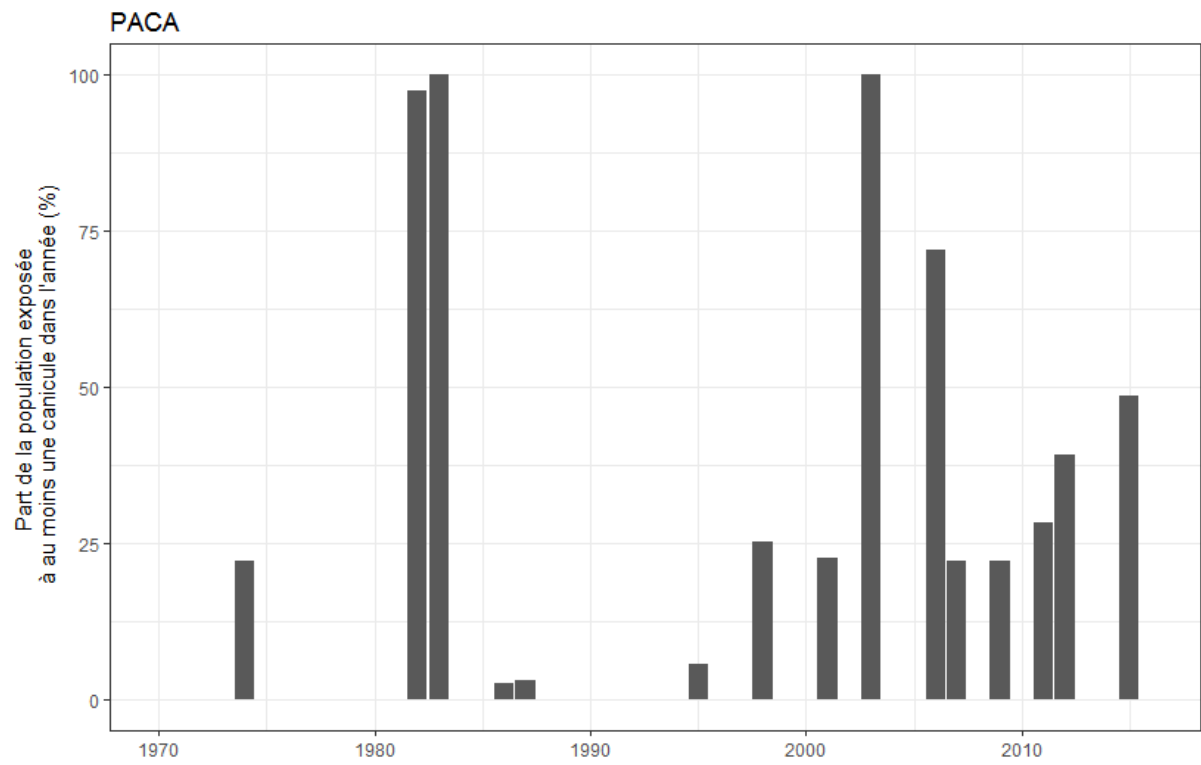
A.2.11 Occitanie



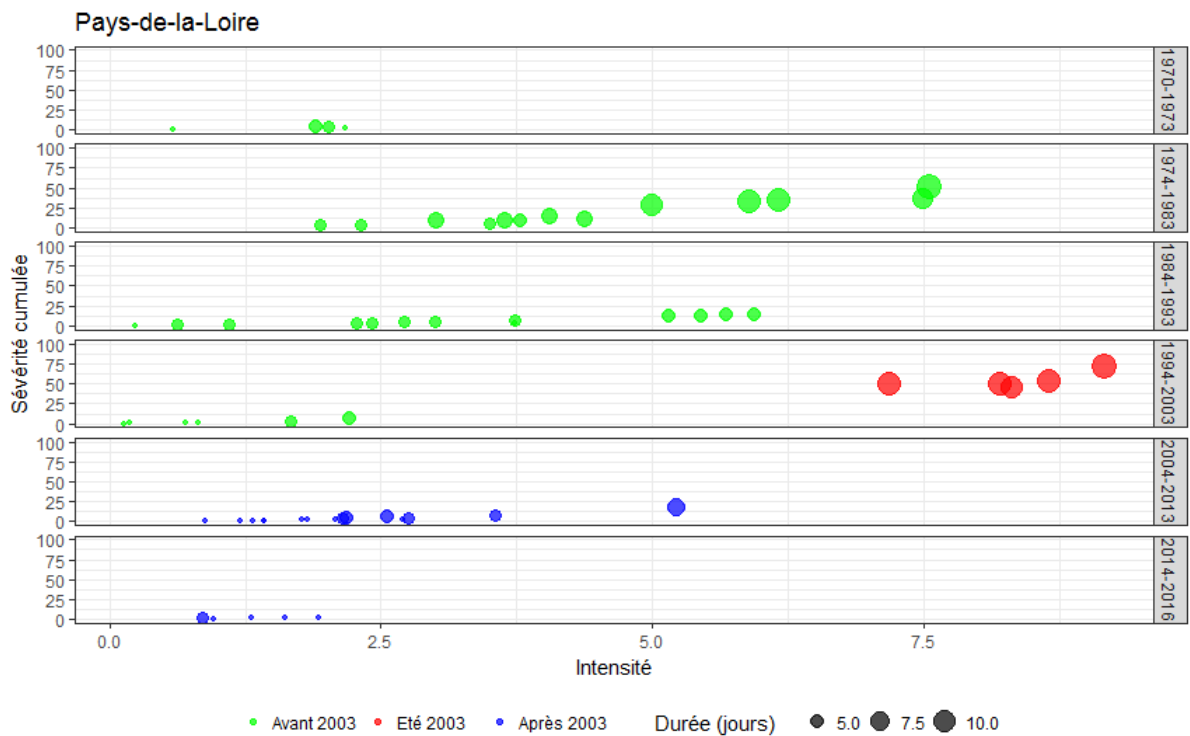
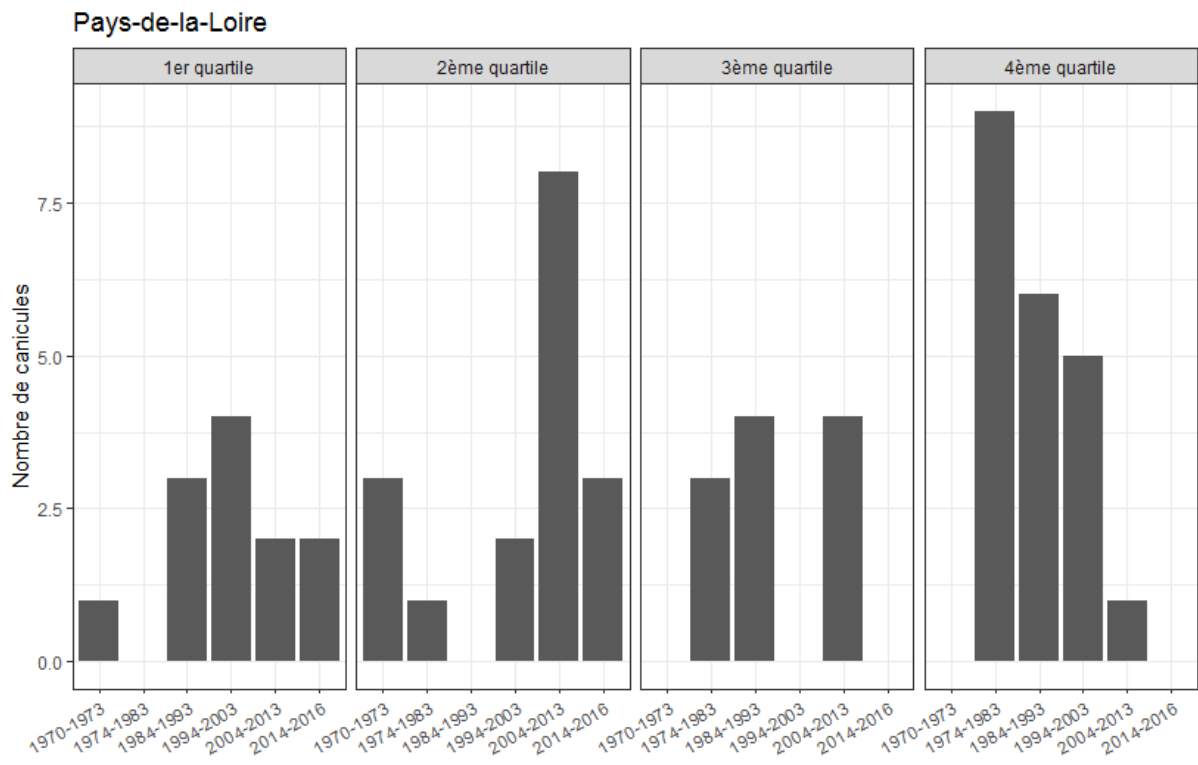


A.2.12 PACA





A.2.13 Pays de la Loire



Pays-de-la-Loire

