

# Mesures de l'exposition et vulnérabilité des populations : une analyse des disparités cantonales de la surmortalité lors de la canicule d'août 2003 en France métropolitaine

Grégoire Rey(1), Anne Fouillet(1), Éric Jouglà(2), Denis Hémon(1)  
(1)INSERM – U754 - IFR69 (2)INSERM – CépiDc - IFR69

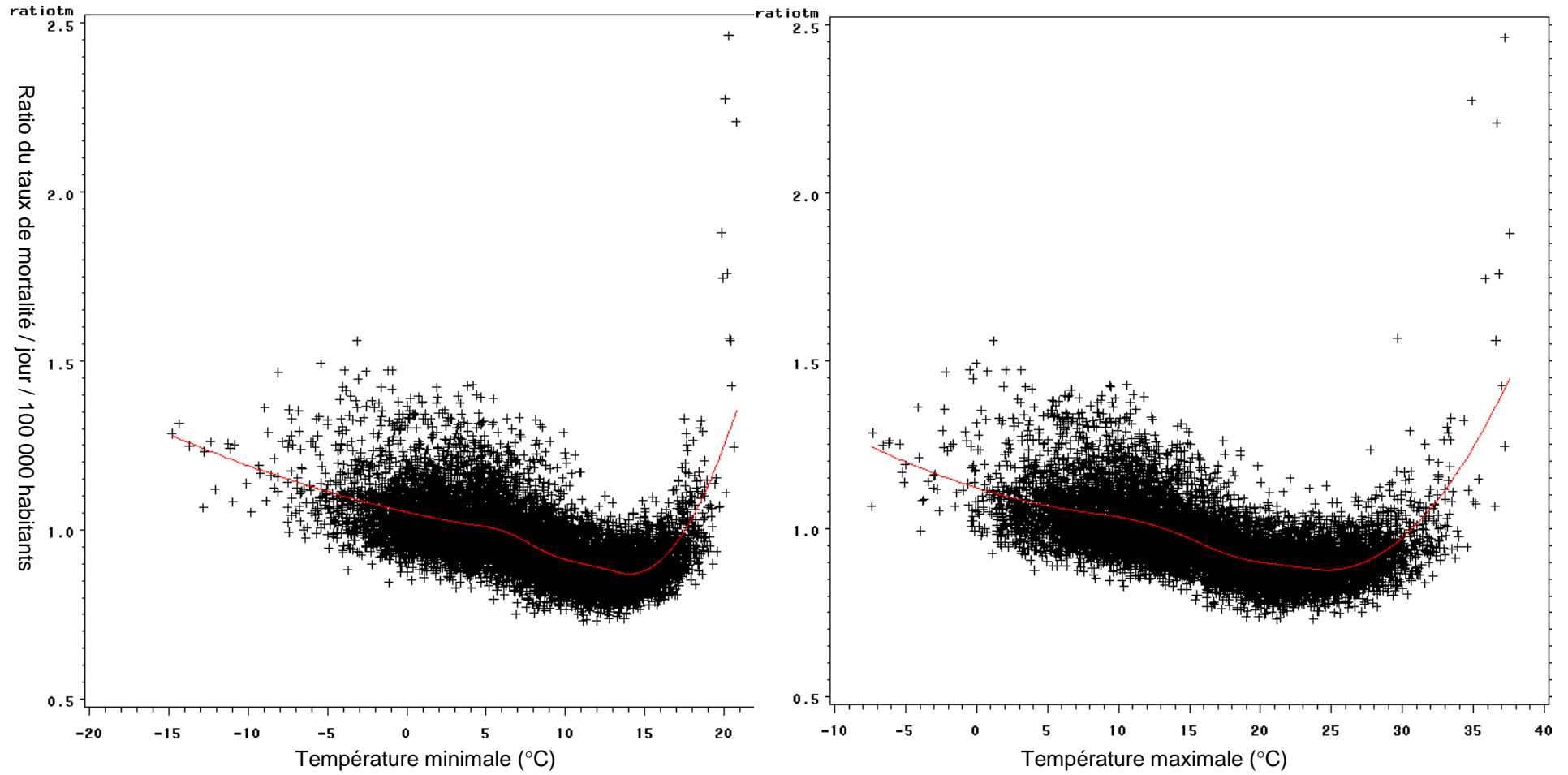
7 septembre 2007

**Inserm**

Institut national  
de la santé et de la recherche médicale

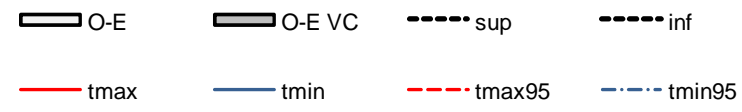
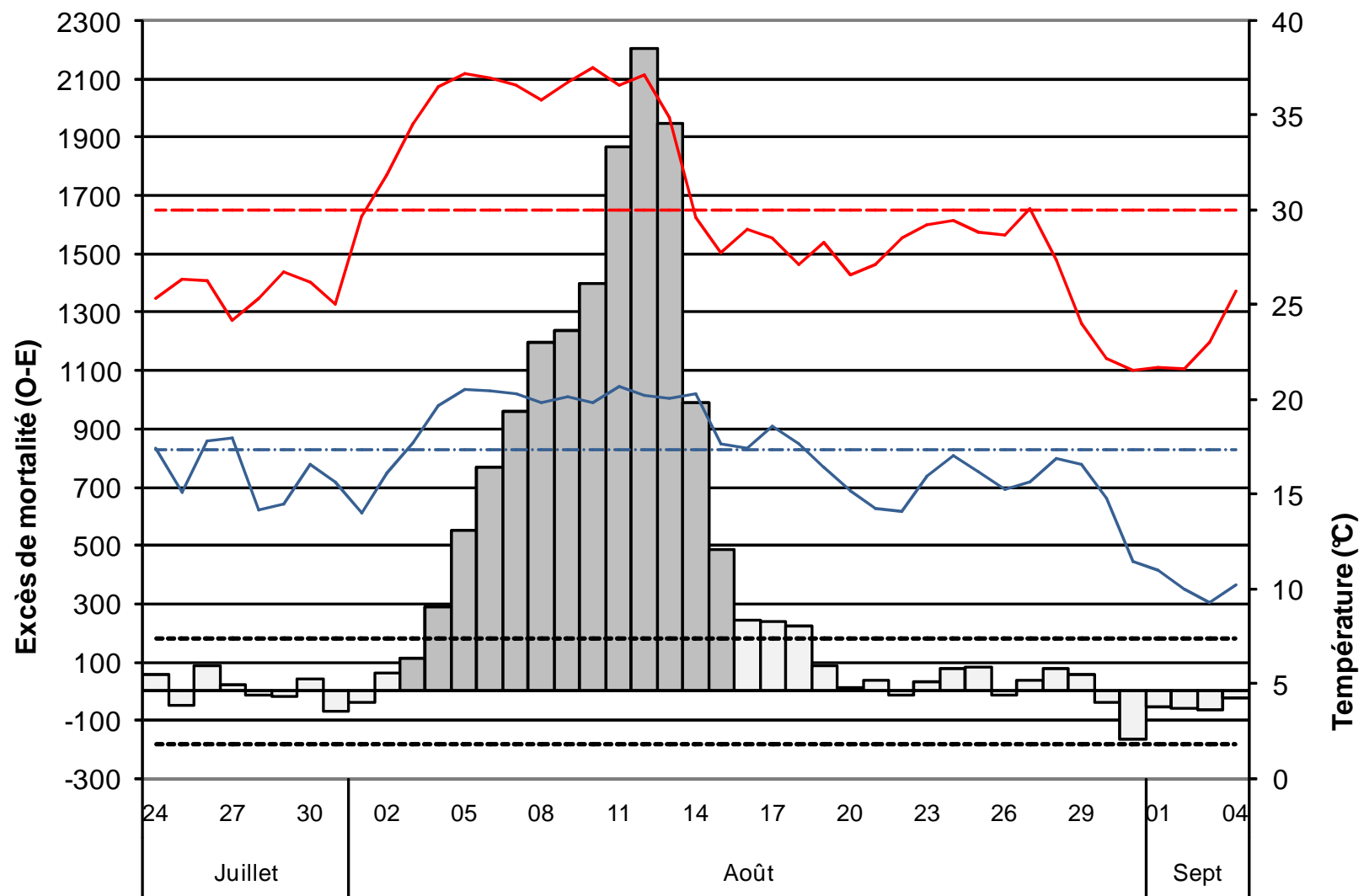
# Contexte

## Lien entre température et mortalité



# Contexte

## Hausse de la mortalité nette lors de la vague de chaleur d'août 2003



## Contexte Canicule de 2003

Du 3 au 15 août 2003 :

11 jours consécutifs avec température >95<sup>ème</sup> percentile

Excès de décès proche de 14 000 (+80%)

Dont plus de 95% de l'excès chez les 55 ans et plus

La quasi-totalité des causes de décès en excès

Extension sur l'ensemble du territoire métropolitain

⇒ épisode ponctuel, d'ampleur exceptionnelle et touchant des populations variées : permet une étude fine des facteurs de risque

⇒ épisode récent : bonne disponibilité des données

## Bibliographie

### Facteurs socio-économiques

Facteur de vulnérabilité	Catégorie touchée	Auteurs (année)
Niveau économique	Pauvre Pas d'association	Schuman(1972), Buechley (1973), <a href="#">Naughton(2002)</a> Gouveia (2003)
Niveau d'études	Faible niveau Pas d'association	<a href="#">O'Neill (2003)</a> <a href="#">Borrell (2006)</a>
Isolement	Personne seule	<a href="#">Semenza (1995)</a> , <a href="#">Naughton (2002)</a> , <a href="#">InVS (2003)</a>
Habitat	Dernier étage Mauvaise isolation	<a href="#">Semenza (1995)</a> , <a href="#">Naughton (1999)</a> , <a href="#">InVS (2003)</a> <a href="#">InVS (2003)</a>
Air conditionné	Absence d'A/C	<a href="#">Kilbourne (1983)</a> , <a href="#">Semenza (1995)</a> , <a href="#">Naughton (1999)</a>
Couleur	Non blanc, Noir	<a href="#">Whitman (1995,1999)</a>
Criminalité	Quartier à forte criminalité	<a href="#">Klinenberg (1995)</a>

[Etude cas-témoins](#)

[Analyse des informations sur les registres de décès](#)

Analyse écologique

## **Bibliographie**

### **Facteurs socio-économiques**

**Les bas niveaux socio-économiques apparaissent généralement comme des facteurs de vulnérabilité à la chaleur**

**Les limites :**

Etude cas-témoins : comparaison de sujets décédés du fait de la chaleur à des témoins vivants

⇒ spécificité de la vulnérabilité à la chaleur difficilement appréciable

Autres analyses : données météorologiques rarement à une échelle géographique fine

⇒ confusion possible entre différentiels d'exposition et de vulnérabilité, notamment en raison du gradient rural/urbain

## Objectif et approche

Préciser des facteurs populationnels de vulnérabilité socio-économiques à la vague de chaleur d'août 2003, à l'échelle des cantons

Et pour cela :

- Construire un Indicateur d'Exposition à la Chaleur (IEC)
- Construire et valider un indicateur de "défavorisation" (disparités socio-économiques)
- Observer les variations de l'IEC selon le niveau socio-économique (différentiel d'exposition)
- Analyser l'interaction entre IEC et niveau socio-économique sur la mortalité (différentiel de vulnérabilité face à l'exposition)

Effet d'îlot de chaleur urbain et différence de mode de vie

⇒ Analyses faites séparément par Tranche d'Unité Urbaine (concept INSEE)

# Données

## **Données de mortalité**

INSERM CépiDc

Uniquement les décès des plus de 55 ans

Utilisation de la commune de domicile du sujet décédé

## **Population**

INSEE - Département de démographie

Interpolation avec calage sur marge

## **Données météorologiques et de pollution**

Températures minimum (Tn) et maximum (Tx) quotidiennes

Concentration moyenne quotidienne d'ozone (O<sub>3</sub>) issue du modèle d'interpolation MOCAGE

Sur une grille d'un pas de 10km (4145 points de grille)

## **Données socioéconomiques**

Recensement INSEE de 1999

Revenu fiscaux des ménages 2001

## Méthode

### Choix de l'échelle spatiale

Analyses réalisées à l'échelle des cantons :

-perte d'informations faible par rapport à l'échelle communale pour les variables socio-économiques et de températures

- gain de précision statistique liée à la baisse de variabilité de Poisson des effectifs de décès.

### Tranche d'Unité Urbaine

Tranche d'Unité Urbaine (TUU)	Définition
1. Rurale	Moins de 2 000 habitants
2. Quasi-rurale	De 2 000 à 9 999 habitants
3. Quasi-urbaine	De 10 000 à 99 999 habitants
4. Urbaine	De 100 000 à 1 999 999 habitants
5. Agglomération parisienne	Unité urbaine de Paris

# Méthode

## Calcul d'un indicateur de "défavorisation"

Contraintes :                   - maximiser la représentation de l'hétérogénéité socio-économique  
                                      - sens homogène sur l'ensemble de la France métropolitaine

⇒ Analyse en Composantes Principales de 4 variables représentant chacune un aspect fondamental du niveau socio-économique :

- Revenu annuel médian par ménage
- Pourcentage d'ouvriers dans la population active
- Pourcentage de bacheliers dans la population de 15 ans et plus
- Pourcentage de chômeurs dans la population active

L'indice de défavorisation est défini comme la première composante principale de l'ACP

Pourcentage de variance expliquée : 68%

Corrélation de l'indice avec les différentes variables :

Revenu médian	%Ouvriers	%Bacheliers	%Chômeurs
-0,93	0,87	-0,94	0,47

Vérification de l'homogénéité par Tranche d'Unité Urbaine

# Méthode

## Approches comparatives

Comparaison des nombres de décès observés (O) et attendus (E)

O : nombre de décès par canton du 3 au 15 août 2003

E : taux de mortalité moyen par canton sur la période de référence (mois de juillet-août 2000-2002) multiplié par la population de 2003

Approche multiplicative : ratio de mortalité (O/E)

- plus propice à la modélisation de Poisson
- met en évidence des augmentations relatives de la mortalité

Approche additive : différence des taux de mortalité observé et attendu

- effet important de la structure de la population par âge : standardisation
- met en évidence la vulnérabilité de la population

## Méthode

### Calcul de l'Indicateur d'Exposition à la Chaleur (IEC)

Régression de Poisson du ratio de mortalité selon le modèle :

$$\text{Log}[E(O_i)] = \text{Log}(E_i) + \alpha + \sum_k \beta_k \cdot \text{IM}_{k,i}$$

Où :  
- IM : indicateur météorologique moyenné du 3 au 15 août 2003  
- i un canton

IEC exprimé dans l'unité du ratio de mortalité :

$$\text{IEC}_i = \exp\left(\hat{\alpha} + \sum_{k \in S} \hat{\beta}_k \cdot \text{IM}_{k,i}\right)$$

S : ensemble des indicateurs météorologiques

## Méthode

S : ensemble des indicateurs météorologiques

Constitué des groupes :

- Base : variables issues d'une analyse temporelle de 1975 à 2003 (Fouillet et al.) :
  - Températures maximale et minimale quotidiennes (Tx et Tn) et leur interaction,
  - Accumulation au dessus d'un seuil cantonale égale à  $\sup(27, Tx_{ref} + 2)$ ,
  - Moyenne mobile de la température Moymob
  - Interaction Tx x Accum,
- Relatif : Différences des températures avec les températures de référence (moyenne de juillet-août 2000-2002) :
  - Températures maximale et minimale relatives quotidiennes (Tx rel et Tn rel) et leur interaction Tx rel x Tn rel
- Ozone et interactions :
  - $O_3$ ,
  - $O_3$  x Tx,  $O_3$  x Tn,
  - $O_3$  x Accum

# Méthode

## Interaction

Plusieurs approches de l'interaction de la défavorisation sur la relation chaleur-mortalité

Approche multiplicative :

$$\log[E(O_i)] = \log(E_i) + \alpha \cdot \log(IEC_i) + \beta \cdot \text{Défavorisation}_i \cdot \log(IEC_i)$$

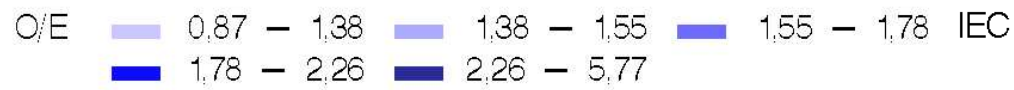
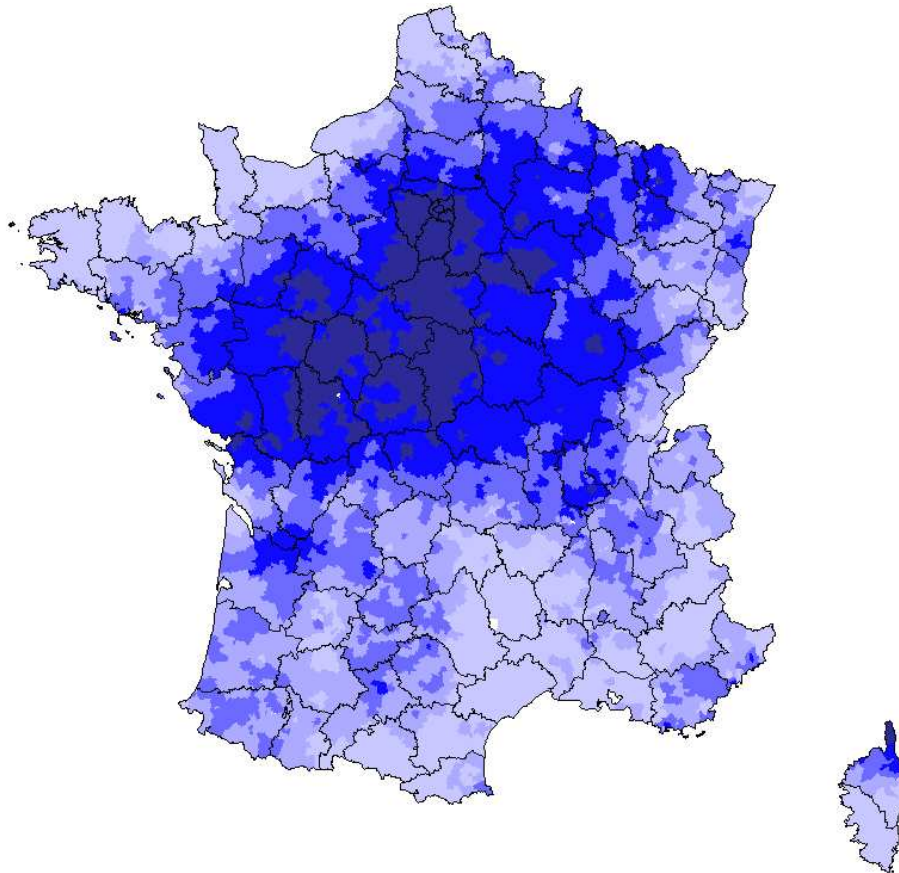
Approche Additive : Excès standardisé de surmortalité (taux) :  $tx_O - tx_E$

Calcul de cet excès par quintile d'exposition et de défavorisation

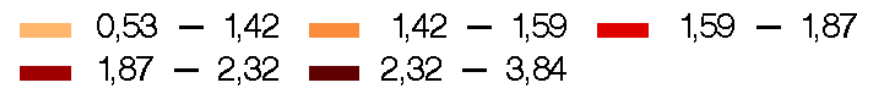
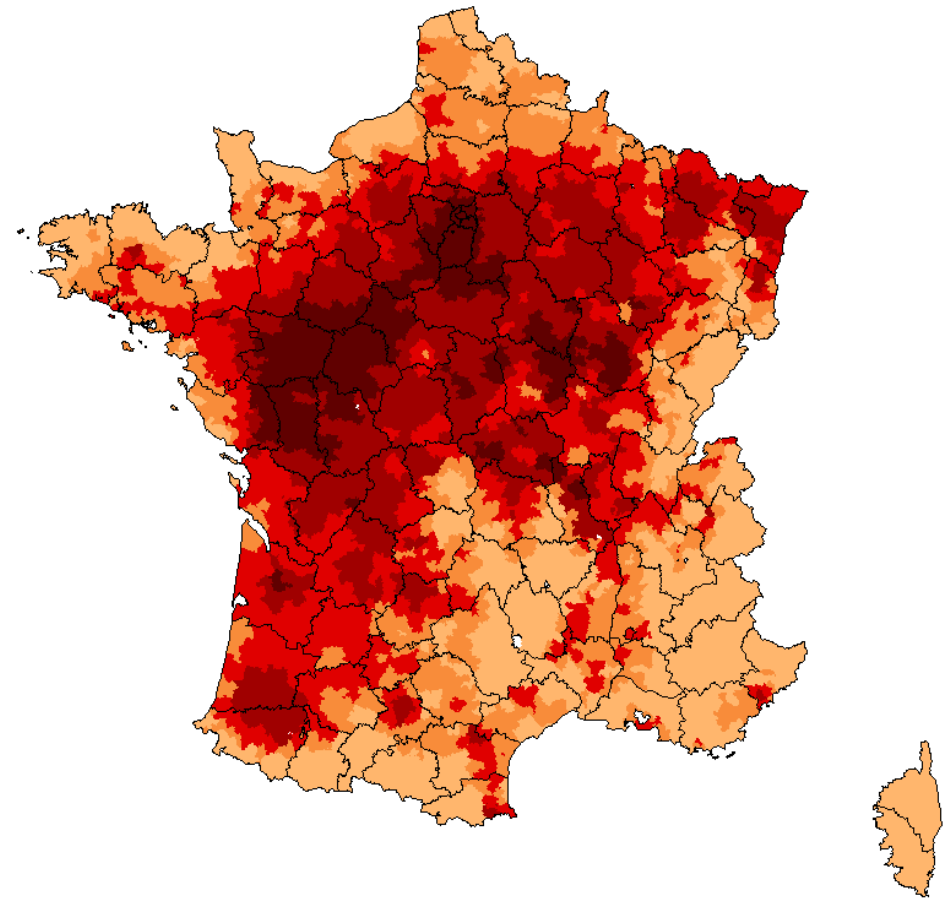
# Résultats

## Cartographie France

Ratios de mortalité lissés (modèle BYM)



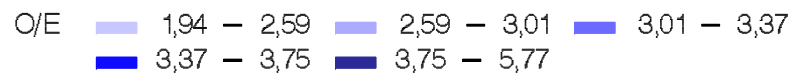
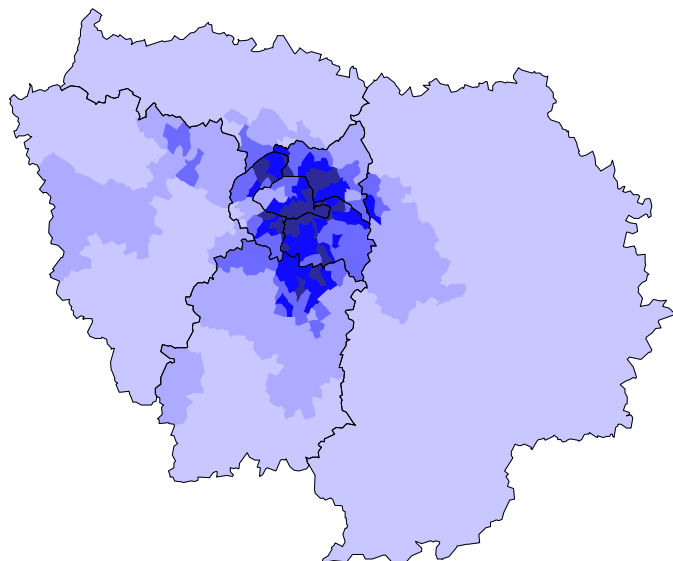
Indicateur d'Exposition à la Chaleur (IEC)



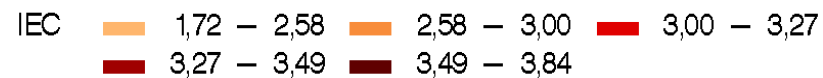
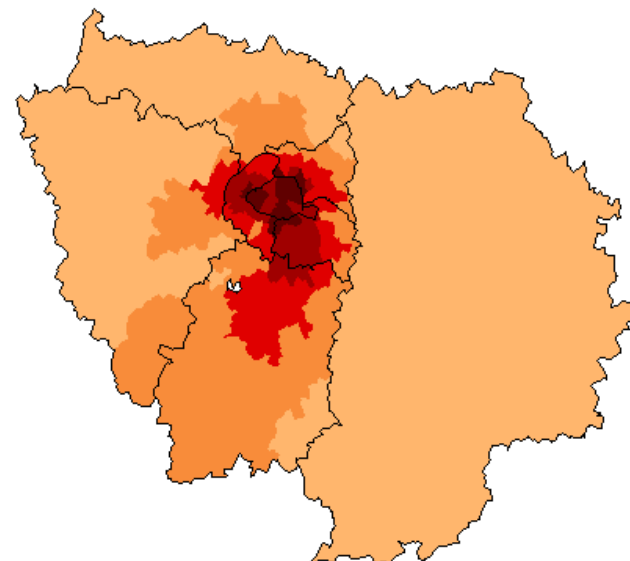
# Résultats

## Cartographie Ile de France

Ratios de mortalité lissés (modèle BYM)

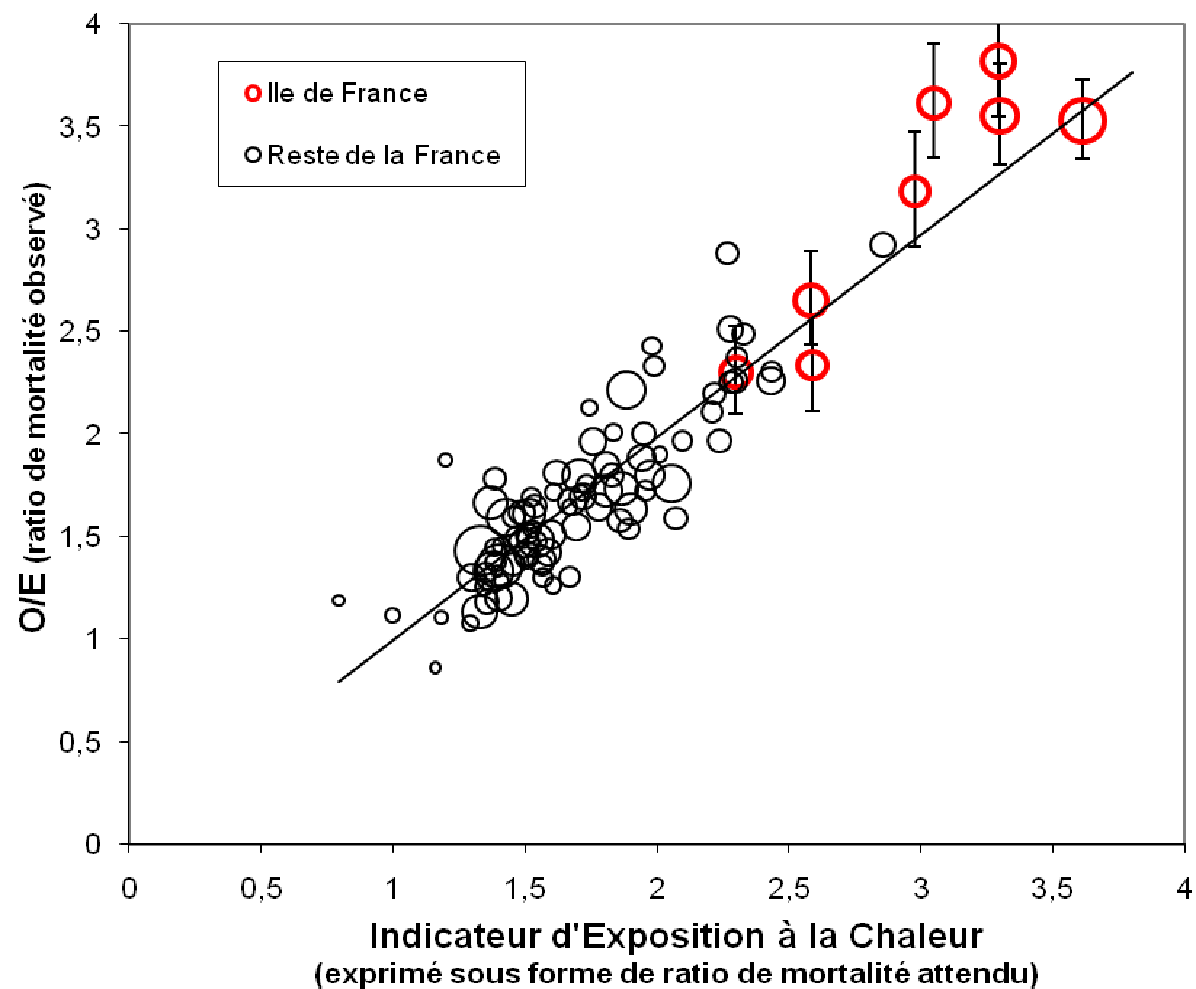


Indicateur d'Exposition à la Chaleur (IEC)



# Résultats

## O/E et IEC par département



La ligne noire continue représente la diagonale

Les barres horizontales représentent les bornes des intervalles de confiance à 95%

# Résultats

## Relation chaleur mortalité

L'indicateur d'exposition explique 68% de la surdispersion

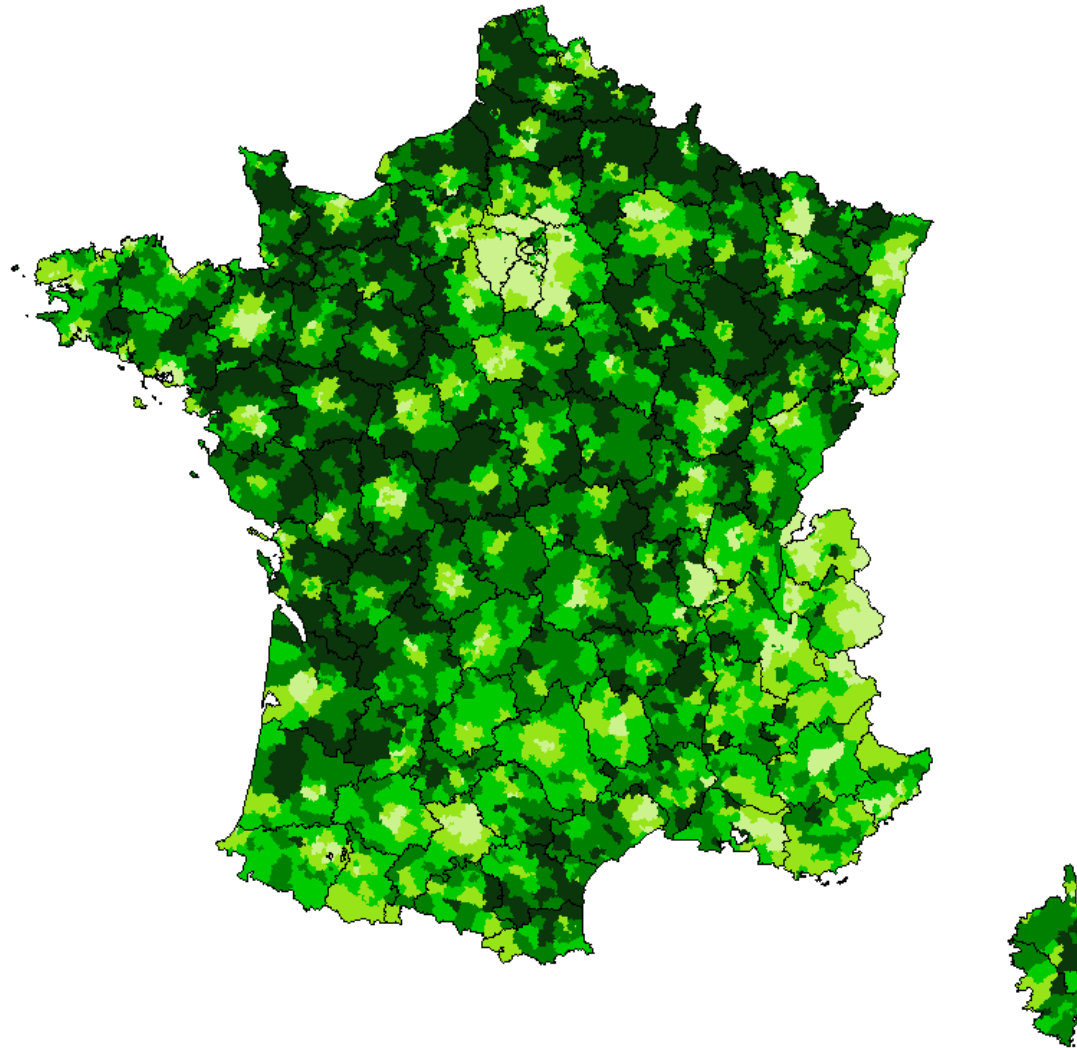
Quels sont les facteurs de variations de cet indicateur :

- Avec la Tranche d'Unité Urbaine ?
- Avec l'indicateur de défavorisation ?

L'association entre exposition à la chaleur et surmortalité dépend-t-elle de la défavorisation ?

# Résultats

## L'indicateur de défavorisation



# Résultats

## Différentiel d'exposition

Tranche d'unité urbaine	Rurale	Quasi-rurale	Quasi-urbaine	Urbaine	Agglomération Parisienne
<b>Population</b> 55 ans et +	3 963 675	1 761 097	3 489 292	4 478 146	2 169 228
<b>IEC Moyen</b>	1,68	1,63	1,63	1,69	3,12
<b>IEC Ajusté<sup>1</sup></b> [IC <sub>95%</sub> ]	1,00 [Ref.]	0,99 [0,97; 1,01]	1,00 [0,99; 1,02]	1,11 [1,09; 1,13]	1,32 [1,26; 1,38]
<b>Défavorisation D5-D1 (100 pour Paris)</b>	40%	51%	48%	62%	100%
<b>IEC<sub>D5</sub> / IEC<sub>D1</sub><sup>2</sup></b> [IC <sub>95%</sub> ]	1,03 [1,00; 1,06]	0,99 [0,94; 1,04]	1,02 [0,99; 1,06]	0,91 [0,88; 0,94]	0,90 [0,86; 0,93]

<sup>1</sup>: ajusté sur les 22 régions

<sup>2</sup>: calculé en multipliant l'association linéaire entre défavorisation et log-IEC, ajusté sur les 22 régions

D5 : Quintile le plus défavorisé; D1 : Quintile le moins défavorisé

## Résultats

### Différentiel de fragilité face à l'exposition

Tranche d'unité urbaine	Rurale	Quasi-rurale	Quasi-urbaine	Urbaine	Agglomération Parisienne
<b>Population</b> 55 ans et +	3 963 675	1 761 097	3 489 292	4 478 146	2 169 228
<b>Défavorisation D5-D1</b> <b>(100 pour Paris)</b>	40%	51%	48%	62%	100%
<b>Interaction</b> <b>Log-IEC x Défavorisation<sup>1</sup></b> <b>[IC 95%]</b>	0,008 [-0,083; 0,099]	-0,014 [-0,114; 0,085]	0,093* [0,012; 0,174]	-0,002 [-0,067; 0,062]	0,040** [0,022; 0,059]

<sup>1</sup>: issu d'un modèle de régression de Poisson du ratio de mortalité avec surdispersion  
D5 : Quintile le plus défavorisé; D1 : Quintile le moins défavorisé

## Résultats

Différence de taux de surmortalité standardisés entre le 5<sup>ème</sup> et le 1<sup>er</sup> quintile de défavorisation

$$= (TmO_{D5} - TmE_{D5}) - (TmO_{D1} - TmE_{D1})$$

(en décès par jour pour 100 000 habitants)

Quintile d'IEC	Tranche d'unité urbaine				
	Rurale	Quasi-rurale	Quasi- urbaine	Urbaine	Aggl. parisienne
<b>IEC1</b>	<b>-0,1</b> [-2,3; 2,0]	<b>2,3</b> [-1,1; 5,7]	<b>2,5</b> [0,0; 5,1]	<b>-0,4</b> [-2,3; 1,5]	<b>1,7</b> [-5,9; 9,2]
<b>IEC2</b>	<b>-1,1</b> [-3,3; 1,1]	<b>0,2</b> [-3,3; 3,7]	<b>1,8</b> [-0,4; 4,0]	<b>2,0</b> [-1,4; 5,3]	<b>-1,1</b> [-5,6; 3,4]
<b>IEC3</b>	<b>0,3</b> [-2,2; 2,9]	<b>-0,7</b> [-4,1; 2,8]	<b>-0,2</b> [-2,6; 2,1]	<b>-0,8</b> [-3,0; 1,3]	<b>9,6</b> [4,2; 15,0]
<b>IEC4</b>	<b>-1,1</b> [-3,6; 1,4]	<b>2,0</b> [-2,6; 6,6]	<b>1,4</b> [-0,8; 3,7]	<b>1,8</b> [-0,7; 4,4]	<b>10,6</b> [6,6; 14,6]
<b>IEC5</b>	<b>0,1</b> [-2,3; 2,6]	<b>-1,8</b> [-5,2; 1,6]	<b>2,1</b> [-1,0; 5,2]	<b>5,3</b> [1,2; 9,4]	<b>10,3</b> [6,4; 14,2]

## Discussion

### Résultats similaires :

- Avec prise en compte de l'autocorrélation spatiale (modèle BYM)
- Retrait des groupes relatifs et d'ozone de l'indicateur d'exposition

- Sujets localisés par leur commune de domicile : possibilité d'écart d'estimation de l'exposition, en particulier pour cause de départ en vacances

Cependant : 96% des décès ont lieu dans la région du domicile

- Interaction possiblement retrouvée significative en Agglomération parisienne du fait d'une plus grande comparabilité des situations sociales et météorologiques

Cependant : pas d'association sur les agglomérations de plus de 500 000 habitants considérées isolément

- Faibles associations mises en évidence : effet diluant de l'analyse écologique

Mais aucune information socioéconomique fiable au niveau individuel sur les certificats de décès

# Conclusion

## Résumé

- Exposition à la chaleur plus forte en milieu urbain (reflète l'effet d'îlot de chaleur urbain)
- Exposition à la chaleur plus forte dans les cantons les moins défavorisés en milieu urbain
- Plus grande fragilité des populations habitant dans les cantons les plus défavorisés dans l'agglomération parisienne où :
  - l'exposition et la surmortalité ont été les plus importantes
  - résident les catégories les plus favorisées de France, les moins touchées
  - et l'hétérogénéité spatiale de la défavorisation est la plus marquée

## Cependant

Toutes les tranches d'unité urbaine et les niveaux de défavorisation ont été exposés et ont connu une surmortalité. Aucune catégorie de la population ne doit être considérée sans risque.

## Remerciements

Ce travail a été effectué dans le cadre d'une convention de recherche entre l'Inserm (CépiDc et U754) et l'InVS

INSEE :

- G.Desplanques

Météo-France :

- A.Dufour,
- P.Bessemoulin,
- P.Frayssinet,
- JM.Veysseire
- G.Gayraud