

tion de la mortalité au cours du temps permet de s'affranchir d'un certain nombre de ces hypothèses. La méthode retenue donnait des résultats extrêmement proches en termes d'erreur moyenne, comparativement à ce modèle.

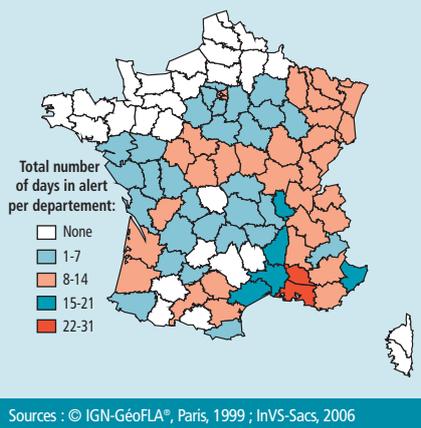
En cas d'alerte prolongée, le recueils des décès signalés comme imputables à la chaleur apporte des informations utiles pour documenter, durant l'évènement, ses conséquences sanitaires et, notamment, les caractéristiques des victimes. Cependant, il ne suffit pas pour une estimation globale de la surmortalité qui nécessite de faire appel aux données rassemblées par l'Insee mais qui ne sont exploitables qu'après un délai de consolidation d'un mois.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier les Cire et les Ddass pour l'envoi et l'analyse des données sanitaires pendant la vague de chaleur, Météo-France et l'Insee pour la fourniture des données respectivement météorologiques et de mortalité.

Figure 1 Département métropolitain en alerte canicule pendant le mois de juillet 2006

Figure 1 French Departments in alert during July 2006



Références

- [1] Hémon D, Jouglu E. Surmortalité liée à la canicule d'août 2003. Rapport d'étape (1/3). Estimation de la surmortalité et principales caractéristiques épidémiologiques. Paris: Inserm.
- [2] Ministère de la Santé et de la Protection sociale, ministère délégué aux Personnes âgées, 2004. Plan national canicule (PNC). Actions nationales et locales à mettre en oeuvre par les pouvoirs publics afin de prévenir et réduire les conséquences sanitaires d'une canicule. Version du 31 mai 2004. 210 p.
- [3] Empereur-Bissonnet P, Salines G, Bérat B, Caillère N, Josseran L. Editorial team: Heatwave in France, July 2006: 112 excess deaths so far attributed to the heat. Eurosurveillance weekly releases, 2006, 11, 8.
- [4] Josseran L, Gailhard I, Nicolau J, Thélot B, Donadieu J, Brucker G. Organisation expérimentale d'un nouveau système de veille sanitaire, France, 2004-2005 Bull Epidemiol Hebd 2005 n°27-28; 134-7.
- [5] Robinson PJ. On the definition of a heat wave. J Appl Meteorol 2000; 40:762-75.
- [6] Besancenot JP. Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines. Environnement, Risques & Santé 2002; 1(4):229-40.

Comparaison de la surmortalité observée en juillet 2006 à celle estimée à partir des étés 1975-2003, France

Anne Fouillet (fouillet@vjf.inserm.fr)¹, Grégoire Rey¹, Pierre Bessemoulin², Philippe Frayssinet², Eric Jouglu³, Denis Hémon¹

1 / Inserm, U754, Villejuif, France 2 / Météo-France, Toulouse, France 3 / CépiDc-Inserm, Le Vésinet, France

Résumé / Abstract

Introduction – En juillet 2006, une importante vague de chaleur a été observée en France.

Méthodes – Un modèle mettant en relation les fluctuations quotidiennes de la mortalité et des températures a été établi sur les étés 1975-2003. Il permet de fournir une estimation du nombre de décès attendu un jour donné, compte tenu des températures observées ce jour et les 10 jours précédents. Les nombres de décès observés et attendus en juillet 2006 ont été comparés.

Résultats – Du 11 au 28 juillet 2006, une surmortalité, estimée à environ 2 100 décès, a été observée sur l'ensemble de la France. Cette surmortalité est inférieure d'environ 4 400 décès à ce que l'on pouvait attendre si la vulnérabilité de la population aux vagues de chaleur était restée identique à celle de la période 1975-2003.

Discussion-conclusion – La moindre mortalité au cours de la vague de chaleur de juillet 2006 par rapport à l'attendu, peut être interprétée comme le résultat d'une réduction de la vulnérabilité de la population aux vagues de chaleur estivales. Cette moindre fragilité des populations pourrait être la conséquence des évolutions consécutives à la vague de chaleur d'août 2003 : prise de conscience générale des risques, mise en place de mesures de prévention et du système de surveillance et d'alerte des vagues de chaleur.

Comparison between the observed and expected excess mortality based on 1975-2003 summers, France, July 2006.

Introduction – During July 2006, an important heat wave was observed in France.

Methods – A model relating to the daily fluctuations of mortality and temperatures was established in the 29-summers, from 1975 to 2003. It enabled to provide an estimate of the expected number of deaths for a given day, considering the observed temperatures for this day and the preceding 10 days. The observed and expected numbers of deaths in July 2006 were compared.

Results – From 11 to 28 July 2006, about 2 100 excess deaths were observed on the whole of France. This excess mortality was 4 400 deaths lower than the expected excess deaths if the vulnerability of the population had been similar to that observed over the 1975-2003 period.

Discussion-Conclusion – The excess mortality during the 2006 heat wave was much lower than expected from the model. This may be interpreted as the result of vulnerability reduction to summer heat waves in the population. This reduction may be partly related to the increasing awareness of the risk related to extreme temperatures, as well as to the numerous prevention measures, and the warning heat system, set up after the 2003 heat wave.

Mots clés / Key words

Vague de chaleur, mortalité, surmortalité observée, surmortalité attendue, mesures de prévention / Heat wave, mortality, observed excess mortality, expected mortality, prevention measures

Introduction

Au cours du mois de juillet 2006, une vague de chaleur a touché une grande partie de la France métropolitaine durant 18 jours entre le 11 et le 28 juillet. Selon Météo-France, elle se situe au deuxième rang des vagues de chaleur les plus sévères observées en France depuis 1950, après la vague

d'août 2003. Si la canicule de 2006 a dépassé en durée celle de 2003, elle a été en revanche moins intense et moins étendue géographiquement [1,2]. A la suite de la vague de chaleur d'août 2003, des mesures de prévention des risques liés aux chaleurs excessives [3] et un système de surveillance et d'alerte des vagues de chaleur [4] ont été mis en place depuis l'été 2004 afin de réduire la vulnérabilité de la population aux températures extrêmes en été.

L'objectif de cette étude est de quantifier la surmortalité liée à la vague de chaleur de juillet 2006 et de la comparer à ce qu'elle aurait pu être si la vulnérabilité de la population aux vagues de chaleur était restée identique à celle mesurée avant 2004 (période 1975-2003).

Matériel-méthodes

Données

Les effectifs des décès quotidiens (O_j) toutes causes confondues, observés sur les mois de juin à septembre (122 jours) de 1975 à 2006 sont issus des bases de données du Cépidec-Inserm.

Les effectifs des populations ont été obtenus par interpolation linéaire à partir des estimations fournies par l'Insee.

Les températures minimales et maximales quotidiennes sont enregistrées par un réseau de 97 stations, considérées par Météo-France comme représentatives de la population des départements métropolitains. Pour obtenir une valeur quotidienne nationale, on utilise une moyenne des températures, pondérée par la population de chaque département. Afin de tenir compte de l'évolution temporelle de la mortalité et des températures pendant les périodes de fortes chaleurs, une variable d'accumulation des températures maximales est également calculée en sommant les nombres de degrés au dessus de 27°C, sur une fenêtre glissante de 10 jours.

Les températures moyennes sur des fenêtres de 10 jours, calculées sur une période de 30 ans (1975-2005, excepté l'année 2003) constituent les températures habituelles de référence.

Analyse statistique

Le taux de mortalité quotidien pour les quatre mois d'été de juin à septembre et pour l'ensemble de la France métropolitaine a été modélisé par une régression de Poisson, prenant en compte un terme de surdispersion et une autocorrélation d'ordre 1 entre les observations. Le niveau moyen de la mortalité de chaque été est ajusté sur celui des mois qui précèdent l'été, dont la mortalité évolue de façon régulière et linéaire d'une année sur l'autre (octobre, novembre, avril et mai).

Une combinaison de la moyenne mobile des températures moyennes, des températures minimales et maximales et de la variable d'accumulation, observées le jour j et les deux jours qui précèdent, ainsi que des interactions entre les variables, a été incluse dans le modèle [5]. Cette combinaison a été considérée comme étant la plus prédictive des fluctuations quotidiennes de la mortalité en été [5].

Le modèle permet de fournir une mesure quantitative du nombre de décès attendu un jour donné sur l'ensemble de la France métropolitaine, compte tenu des températures observées ce jour et les 10 jours précédents.

Les nombres quotidiens de décès sur une période de quatre années constituée des étés 2000 à 2003, ont été prédits à partir du modèle, dont les paramètres ont été estimés sur une période antérieure de 25 ans (1975-1999). La comparaison des nombres quotidiens de décès prédits avec ceux effectivement observés au cours de ces quatre étés a permis d'évaluer la capacité du modèle à prédire les nombres quotidiens de décès en été à partir des températures du jour et des 10 jours précédents.

L'analyse a été réalisée pour trois classes d'âge (tous âges, 55-74 ans, 75 ans ou plus) et par sexe.

Comparaison des mortalités « observée » et « attendue » sur les étés 2004-2006

Les estimations des nombres quotidiens de décès fournies par le modèle à partir des températures observées représentent la mortalité attendue si la

vulnérabilité de la population aux vagues de chaleur était restée identique à celle mesurée sur la période 1975-2003. L'estimation du nombre quotidien attendu de décès à partir des températures observées est notée $\hat{O}_j = \hat{E}_{T_{obs}}(O_j)$.

De même, l'estimation du nombre quotidien de décès à partir des températures moyennes sur 30 ans permet d'obtenir une estimation de la *mortalité de référence* qui représente donc la mortalité que l'on observerait avec des températures habituelles. Le nombre quotidien de décès de référence est noté $\hat{E}_j = \hat{E}_{T_{moy}}(O_j)$.

Pour comparer les nombres quotidiens de décès observés pendant les étés 2004 à 2006 à ceux attendus, on a considéré les trois indicateurs :

- **surmortalité observée** $O_j - \hat{E}_j$: écart entre la mortalité observée et la mortalité de référence.

- **surmortalité attendue** $O_j - \hat{E}_j$: écart entre la mortalité attendue qu'on aurait pu observer si les conditions étaient celles de 1975-2003 et la mortalité de référence.

- **écart de mortalité** $O_j - \hat{O}_j$: écart entre la mortalité observée et la mortalité attendue que l'on aurait pu observer si les conditions étaient identiques à celles de 1975 à 2003.

Résultats

Capacité prédictive du modèle : validation sur la période 2000-2003

Le modèle utilisé permet de prédire le ratio de mortalité un jour donné à partir des températures observées ce jour et les 10 jours précédents (corrélation linéaire $r = + 0,88$ avec les ratios quotidiens de décès observés). Ce modèle explique 76 % de la variabilité extra-poissonnienne des taux de mortalité quotidiens observés au cours des 28 étés de 1975 à 2002.

La figure 1 compare les fluctuations du taux de mortalité quotidien observé, avec les taux de mortalité quotidiens de référence et avec les taux de mortalité quotidiens de référence et avec les taux de mortalité attendus (prédits à partir de la modélisation des relations température-mortalité sur la période 1975-1999) en fonction des températures observées, pour chacun des étés 2000, 2001, 2002 et 2003.

Le modèle aboutit à des prédictions des nombres de décès quotidiens non significativement différentes des nombres de décès quotidiens observés, y compris pendant la période de la vague de chaleur de 2003. Ces écarts entre les nombres de décès observés et attendus varient entre -11 et 52 décès par jour, ce qui représente moins de 5 % du nombre moyen de décès quotidien.

Étude de la mortalité sur les étés 2004-2005

Sur les étés 2004-2005, la mortalité attendue quotidienne est supérieure de 2 à 8 % à la mortalité observée, indépendamment du niveau quotidien de la température. Sur l'ensemble de l'été, le modèle surestime la mortalité d'environ 7 100 décès en 2004 et de 7 200 décès en 2005.

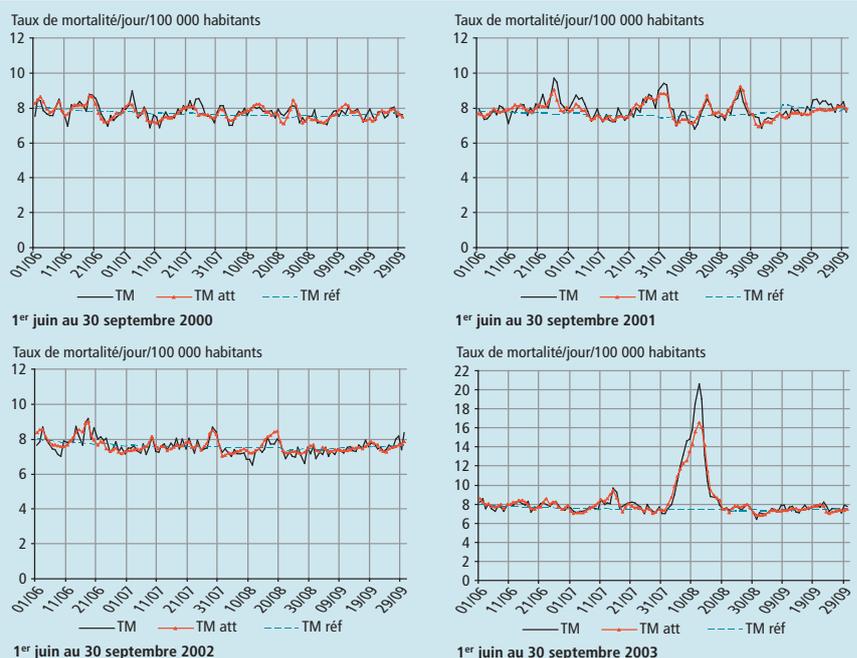
Estimation de la mortalité pour l'été 2006

Sur les trois mois de juin, août et septembre 2006, les fluctuations quotidiennes de la mortalité observées sont parfaitement conformes à celles qu'on pouvait attendre à partir des températures quotidiennes observées et de la modélisation de la relation température-mortalité sur la période 1975-2003 (figure 2).

Au cours de la vague de chaleur du 11 au 28 juillet 2006, l'excès de mortalité observé pour l'ensemble

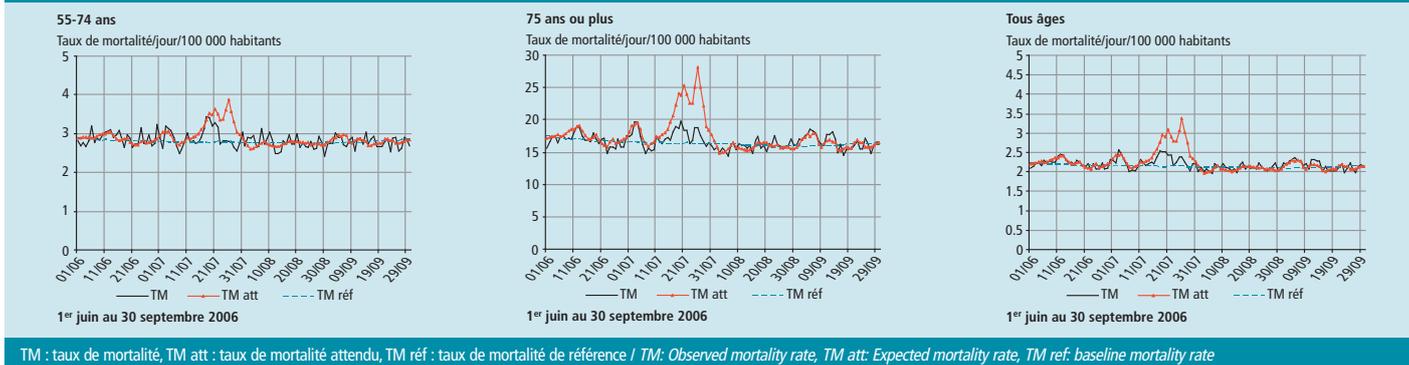
Figure 1 : Fluctuations quotidiennes du taux de mortalité observé (TM), du taux de mortalité de référence (TMref) et du taux de mortalité attendu prédit par le modèle établi sur la période 1975-1999 (TMatt) – France métropolitaine – 55 ans ou + – 1^{er} juin au 30 septembre 2000 à 2003

Figure 1 Daily fluctuations of the observed mortality rate (TM), the baseline mortality rate (TMref) and expected mortality rate (TMatt) using the model based on the period 1975-1999 – France – 55 years and more – 1 June to 30 September, 2000 to 2003



TM : taux de mortalité, TM att : taux de mortalité attendu, TM réf : taux de mortalité de référence
TM : Observed mortality rate, TM att: Expected mortality rate, TM ref: baseline mortality rate

Figure 2 : Taux de mortalité quotidien observé (TM), de référence (TMref) et attendu en fonction des températures observées (Tmatt) selon les classes d'âge, du 1^{er} juin au 30 septembre 2006 (122 jours) – France métropolitaine / *Figure 2 Daily observed mortality rate (TM), baseline mortality rate (TMref) and expected mortality rate regarding the observed temperatures (TMatt), by age group, from 1 June to 30 September, 2006 (122 days) – France.*



TM : taux de mortalité, TM att : taux de mortalité attendu, TM ref : taux de mortalité de référence / *TM: Observed mortality rate, TM att: Expected mortality rate, TM ref: baseline mortality rate*

de la population est proche de 2 100 décès (2 600 décès en excès sur l'ensemble du mois de juillet), ce qui représente une augmentation de 9 % de la mortalité. La surmortalité attendue est estimée à 6 500 décès (7 600 décès sur l'ensemble du mois), soit une augmentation de la mortalité de 27 % (tableau 1). On observe donc au cours de cette vague de chaleur une surmortalité certes statistiquement significative et non négligeable mais aussi très sensiblement inférieure à la surmortalité attendue compte tenu des températures observées. Ainsi, l'écart entre les nombres de décès observé et attendu si le lien entre les températures et la mortalité en 2006 était identique à celui de la période 1975-2003, est de - 4 400 décès sur les 18 jours de la vague de chaleur. Il est de - 5 000 décès pour l'ensemble du mois de juillet 2006.

Les surmortalités observées et attendues concernent plus particulièrement les personnes les plus âgées, aussi bien chez les hommes que chez les femmes (figure 2, tableau 1). Pour les personnes de plus de 75 ans, l'excès observé est proche de 1 300 décès et la surmortalité attendue est de 5 100 décès. La surmortalité observée est donc inférieure à celle attendue de près de 3 800 décès sur les 18 jours de la vague de chaleur (tableau 1).

Discussion-Conclusion

Une première estimation, réalisée par l'InVS a indiqué une surmortalité proche de 1 400 décès entre les 11 et 28 juillet 2006, sur l'ensemble de la population métropolitaine. Cette estimation a été réalisée comparativement à une mortalité de référence définie sur la même période par la moyenne des effectifs de décès observés en 2001, 2002, 2004 et 2005.

Les estimations utilisées pour la présente étude sont issues d'une modélisation des fluctuations quotidiennes de la mortalité estivale (juin à septembre) depuis 1975 jusqu'en 2003 en fonction d'indicateurs de températures. Ce modèle permet de fournir une estimation du nombre quotidien de décès « attendu » sur l'ensemble de la France métropolitaine, en fonction des températures observées.

La légère surestimation de la mortalité sur les étés 2004 et 2005, indépendante du niveau des températures observées, est difficile à interpréter. Cette observation est compatible avec l'hypothèse que les mesures de prévention, de surveillance et d'alerte, mises en œuvre dans le cadre du Plan national canicule [3], et/ou les modifications des comportements de la population vis-à-vis des excès

de chaleur estivaux, aient pu influencer, de manière transitoire, le régime général de la mortalité pour les étés 2004 et 2005. Mais il peut également refléter l'influence d'autres facteurs qui resteraient à identifier.

A l'inverse, le modèle prédit de façon très satisfaisante les fluctuations quotidiennes de la mortalité sur les mois de juin, août et septembre 2006 en fonction des variations quotidiennes des températures minimales et maximales relevées par Météo-France.

Du 11 au 28 juillet 2006, une surmortalité, estimée à environ 2 100 décès, a été observée sur l'ensemble de la France métropolitaine. Cette surmortalité est inférieure d'environ 4 400 décès à ce que l'on pouvait attendre si la vulnérabilité de la population métropolitaine aux vagues de chaleur était restée identique à celle de la période 1975-2003. Les gains de mortalité les plus marqués s'observent parmi les personnes les plus âgées, plus vulnérables à la chaleur. Cette surmortalité moindre qu'attendue au cours du mois de juillet 2006 peut être interprétée comme le résultat d'une réduction de la vulnérabilité de la population aux vagues de chaleur estivales à mettre en relation avec :

- la prise en compte des risques liés aux chaleurs estivales excessives par la population de la France métropolitaine depuis la vague de chaleur d'août 2003,
- les mesures de prévention des risques liés aux chaleurs estivales excessives mises en place par les pouvoirs publics et différentes institutions,
- et le système de surveillance et d'alerte des vagues de chaleur mis conjointement en place par l'InVS et Météo-France depuis juin 2004.

Remerciements

Nous tenons à remercier vivement les institutions qui ont contribué sous différentes formes à la réalisation de cette étude : l'Inserm, l'Insee, l'InVS, la DGS et Météo-France.

Références

- [1] Météo-France, Retour sur la canicule de juillet 2006. <http://www.meteofrance.com>, 2006.
- [2] Rey G, Jouglé E, Fouillet A et al. The impact of major heat waves on all-cause and cause-specific mortality in France from 1971 to 2003. *Int Arch Occup Environ Health* 2007; 80:615-26.
- [3] Direction Générale de la Santé. Plan national canicule. 2006. http://www.sante.gouv.fr/canicule/doc/plan_canicule_2006.pdf
- [4] Pascal M, Laaidi K, Ledrans M et al. France's heat health watch warning system. *Int J Biometeorol* 2006;50:144-53.
- [5] Fouillet A, Rey G, Jouglé E, et al. A predictive model relating daily fluctuations in summer temperatures and mortality rates. *BMC Public Health*. Soumis pour publication.

Tableau 1 Ratio de mortalité et surmortalité observée et attendue pendant la vague de chaleur du 11 au 28 juillet 2006, France métropolitaine / *Table 1 Mortality ratio and observed and expected excess mortality during the heat wave from 11 to 28 July, 2006, France*

	Décès de référence Ê	Ratio de mortalité			Surmortalité		
		Observé O/Ê	Attendu Ô/Ê	O/Ô	Observée O-Ê [IC 95 %] ^a	Attendue Ô-Ê [IC 95 %] ^a	O-Ô [IC 95 %] ^a
Tous âges							
Total	23 515	1,09	1,27	0,85	2 065 [1 630 ; 2 499]	6 452 [6 178 ; 6 726]	-4 388 [-4 920 ; -3 855]
Hommes	12 213	1,08	1,21	0,89	979 [712 ; 1 245]	2 552 [2 408 ; 2 695]	-1 573 [-1 886 ; -1 260]
Femmes	12 389	1,10	1,35	0,81	1 083 [812 ; 1 354]	3 906 [3 740 ; 4 073]	-2 824 [-3 164 ; -2 484]
55-74 ans							
Total	5 974	1,07	1,19	0,90	399 [226 ; 572]	1 141 [1 061 ; 1 221]	-742 [-941 ; -543]
Hommes	3 992	1,06	1,17	0,91	230 [94 ; 367]	669 [606 ; 733]	-439 [-594 ; -284]
Femmes	1 978	1,09	1,24	0,88	173 [82 ; 265]	467 [429 ; 506]	-294 [-401 ; -188]
75 ans ou plus							
Total	14 954	1,08	1,34	0,81	1 254 [907 ; 1 601]	5 080 [4 824 ; 5 334]	-3 825 [-4 263 ; -3 386]
Hommes	7 974	1,08	1,26	0,86	536 [353 ; 719]	1 628 [1 519 ; 1 737]	-1 092 [-1 311 ; -873]
Femmes	8 586	1,09	1,40	0,78	740 [496 ; 985]	3 423 [3 249 ; 3 598]	-2 683 [-2 997 ; -2 369]

O : Nombre de décès observé ; Ô : Nombre de décès attendu ; Ê : Nombre de décès de référence ; ^a [IC 95 %] : Intervalle de confiance à 95 %