

Santé environnement

Vagues de froid et santé en France métropolitaine

Impact, prévention, opportunité
d'un système d'alerte

Sommaire

Abréviations	2	2. Les actions conjoncturelles	20
Résumé	3	2.1 Quelles sont ces actions ?	20
Abstract	5	2.2 Quels sont les vecteurs d'information les plus appropriés pour ces mesures ?	21
Introduction – Objectifs de l'étude	6	3. Conclusion	22
Contexte et éléments bibliographiques	7	Quel indicateur, quels seuils et pour quels objectifs ?	23
1. Le froid a-t-il un impact sur la santé ?	7	1. Mise en évidence d'un indicateur et de seuils prédictifs d'un impact sanitaire	23
1.1 Mortalité hivernale et mortalité due au froid	7	1.1 Matériel et méthode	23
1.2 Relation entre le froid, la morbidité et la mortalité	8	1.2 Résultats	27
2. Les principales vagues de froid	11	2. Extension de l'indicateur à l'ensemble du territoire	40
2.1 Historique	11	3. Utilisation de ces indicateurs pour mettre en place un système d'alerte	41
2.2 La vague de froid de janvier 1985	12	3.1 Critères de pertinence et de faisabilité	41
2.3 La vague de froid de janvier 2009	13	3.2 Les critères sont-ils remplis ?	41
3. Historique du suivi froid et santé en France depuis 2003 et relations entre l'InVS et les partenaires impliqués	13	4. Utilisation de ces indicateurs pour définir des périodes à risque dans le cadre de la surveillance sanitaire	44
4. Les dispositifs hivernaux à l'étranger	17	Conclusion, recommandations et perspectives	45
Quelles mesures pour protéger la population des effets néfastes du froid ?	18	Références bibliographiques	46
1. Les actions de fond	18	Annexe – Saisine relative à la mortalité hivernale	50
1.1 Le droit au logement opposable	18		
1.2 Amélioration de l'habitat et accès à l'énergie	18		
1.3 Perspectives d'évolution de ces mesures	19		
1.4 Comment évaluer les actions de fond ?	20		

Vagues de froid et santé en France métropolitaine

Impact, prévention, opportunité d'un système d'alerte

Responsable

Karine Laaidi, épidémiologiste, InVS

Auteurs

Karine Laaidi

Assimoula Economopoulou, stagiaire Epiet, InVS

Vérène Wagner, statisticienne, InVS

Mathilde Pascal, épidémiologiste, InVS

Pascal Empereur-Bissonnet, responsable de l'Unité risques accidentels et physiques, InVS

Financement

Fonds propres InVS

Validation scientifique

Pascal Beaudou, Georges Salines, Anne Fouillet, InVS

Remerciements

Les auteurs de ce rapport tiennent à remercier Météo-France, et en particulier Catherine Borretti (D2iMi), Bernard Strauss, Emmanuel Legrand et Françoise Bénichou (Direction de la prévision) pour leur appui technique et institutionnel lors de la réalisation de cette étude, et pour la fourniture des données météorologiques.

Abréviations

Anah	Agence nationale de l'habitat
CAF	Caisse d'allocations familiales
CCA	Cellule de coordination des alertes
Cogic	Centre opérationnel de gestion interministériel des crises
Credoc	Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie
DGS	Direction générale de la santé
DSE	Département santé environnement
FFmin/FFmax	force du vent minimal/maximal
Inpes	Institut national de prévention et d'éducation pour la santé
Insee	Institut national de la statistique et des études économiques
InVS	Institut de veille sanitaire
IREmin/IREmax	indice de refroidissement éolien minimal/maximal
OQAI	Observatoire de la qualité de l'air intérieur
ORS	Observatoire régional de la santé
PNSE	Plan national santé environnement
PUH	Plan d'urgence hivernal
SAU	Service d'accueil aux urgences
Se	sensibilité
Sp	spécificité
Thmin/Thmax	valeur minimale/maximale des températures trihoraires
Tmin/Tmax	température minimale/maximale
Umin/Umax	humidité relative minimale/maximale
UTC	Universal Time Coordinates (temps universel)
VPP	valeur prédictive positive

OBJECTIF

Ce rapport répond à une saisine de la Direction générale de la santé. Après avoir présenté différentes informations contextuelles sur la relation froid et santé (éléments bibliographiques, description de la dernière grande vague de froid en France et historique de la gestion du froid en France depuis 2003), il traite des actions à mettre en place afin de protéger la population de l'impact des vagues de froid, puis de la possibilité de développer des indicateurs et des seuils prédictifs d'un impact sanitaire, et enfin de l'intérêt d'utiliser ces seuils dans un système d'alerte spécifique.

MÉTHODE

L'état des connaissances a été réalisé à partir du rapport de synthèse bibliographique "Froid et santé" de l'InVS, publié en 2004, complété par l'analyse des principaux articles publiés sur le sujet parus jusqu'en 2009. Ont été traités les différences entre mortalité hivernale et mortalité spécifiquement due au froid, la forme de la relation température-mortalité, les mécanismes physiologiques du froid, les facteurs de risque, les décalages entre pic de froid et impact sanitaire, ou encore les paramètres météorologiques pertinents dans une étude sur les relations entre froid et santé. Quelques éléments de contexte sont également présentés dans ce rapport : principales vagues de froid en France, historique des activités menées par l'InVS dans ce domaine, et dispositifs existant à l'étranger.

Un bilan des mesures nécessaires pour protéger la population des effets du froid a été dressé. Il distingue les actions de fond, qui sont à prendre sur le moyen ou long terme, et les actions conjoncturelles à mettre en place lors d'une vague de froid.

Un indicateur et des seuils prédictifs d'un impact sanitaire ont été recherchés et une réflexion a été menée sur la possibilité de les utiliser dans une perspective d'alerte. L'étude, réalisée sur Paris et Marseille de 1984 à 2003, s'est fondée sur une analyse de séries temporelles de données météorologiques (température, humidité et vent) et de mortalité, afin de définir la surmortalité liée au froid. Une analyse de sensibilité/spécificité et la définition de critères relatifs à un nombre acceptable d'alertes fausses, vraies ou manquées par hiver a permis de mettre en évidence l'indicateur biométéorologique le plus pertinent ainsi que des seuils d'alerte associés. Les critères de pertinence de la mise en place d'un système d'alerte ont été analysés (mise en évidence d'un indicateur et de seuils prédictifs d'un impact sanitaire utilisables pour l'alerte, mesures correctives nécessitant une alerte, etc.).

RÉSULTATS

L'étude bibliographique a montré que la mortalité hivernale était due non seulement au froid mais également à des causes infectieuses ainsi qu'à d'autres facteurs de risque de nature comportementale (fêtes de fin d'année, modification du régime alimentaire, etc.). La relation entre température et mortalité présente une forme générale en U, avec un optimum thermique, pour lequel la mortalité est minimale, qui se situe

entre 15 et 25 °C selon les climats ; la mortalité augmente vers les basses ou les hautes températures de part et d'autre de cet optimum. Par ailleurs la mortalité hivernale est plus importante dans les pays à climat tempéré que dans les pays à climat froid, du fait à la fois d'une acclimatation physiologique, d'une adaptation comportementale et des moyens de chauffage disponibles.

Les mécanismes physiologiques déclenchés par le froid mettent en jeu les systèmes nerveux, endocrinien, cardiaque et respiratoire. Lorsque la température diminue, il s'ensuit une vasoconstriction et une augmentation du cholestérol, du fibrinogène et de la viscosité sanguine.

Les pathologies les plus fréquemment influencées par le froid sont les maladies cardiovasculaires et respiratoires (dont l'asthme), l'hypothermie, le syndrome de Raynaud et les engelures, avec un impact immédiat pour certaines d'entre elles et pour d'autres un décalage pouvant atteindre trois semaines entre le pic de froid et la survenue de l'effet sanitaire.

Les facteurs de risque sont l'âge élevé et le sexe féminin, le bas niveau social, les activités de plein air et la faible température à l'intérieur du logement.

Le paramètre météorologique pertinent pour mesurer cet impact du froid est bien sûr la température de l'air, mais il ne tient pas compte des échanges thermiques entre l'air et le corps. Pour cela, différents indices ont été construits, dont l'indice de refroidissement éolien qui tient compte à la fois de la température et du vent.

En ce qui concerne les mesures à prendre pour protéger la population générale des effets du froid, les premières sont des actions de fond et concernent le droit au logement, l'amélioration de l'habitat et l'accès à l'énergie. Les normes d'isolation se sont durcies récemment, avec des obligations portant non plus seulement sur les nouveaux logements mais aussi sur l'habitat existant. Il existe par ailleurs des mesures portant sur le diagnostic, en particulier sur la performance énergétique du logement et, dans le cadre de la procédure d'insalubrité, une évaluation, non systématique cependant, de l'excès de froid. Des normes existent sur la construction afin d'assurer une meilleure isolation thermique et une bonne performance énergétique, ainsi que sur les travaux d'isolation, de chauffage et d'utilisation d'énergies renouvelables. De plus, des aides publiques permettent d'aider les familles les plus démunies à mieux se chauffer ou à faire des travaux d'isolation (aides de la CAF, de l'Anah), et aux bailleurs de réhabiliter leur bien immobilier en particulier pour l'isolation contre le froid, mais cette aide est encore peu utilisée. Enfin, la réglementation prévoit que les personnes non solvables ne puissent pas être expulsées de leur logement pendant la trêve hivernale.

Les actions conjoncturelles consistent essentiellement en l'ouverture de centres d'hébergement, associée à des maraudes de repérage des personnes sans-abri et des campagnes incitant leur signalement. Pour la population générale, il s'agit de la diffusion de conseils de comportement (éviter les activités de plein air, se chauffer adéquatement, couvrir la tête et les mains, avoir un apport calorique

et hydrique suffisant), appel à la solidarité, suivi et si nécessaire mise à l'abri des personnes mal chauffées. Elles peuvent être déclinées par les préfets dans le cadre de la circulaire interministérielle pour la période hivernale.

L'analyse descriptive des données de mortalité et de températures, sur la période 1984-2003, a montré que janvier est le mois le plus froid à Paris et petite couronne (Paris-PC) comme à Marseille. C'est également le mois où la mortalité est la plus élevée. Sur la période de novembre à avril, les minimaux thermiques peuvent atteindre $-13,9\text{ °C}$ à Paris-PC et $-12,4\text{ °C}$ à Marseille, avec des moyennes respectives de $7,4$ et $9,9\text{ °C}$ et une mortalité moyenne de 140 décès par jour à Paris et 28 à Marseille, l'écart étant dû à la différence d'effectif de la population entre ces deux agglomérations. Durant la période étudiée, la vague de froid la plus marquante en termes de durée et d'intensité a été celle de l'hiver 1984-1985, avec une mortalité très peu décalée par rapport aux pics de froid à Paris, et beaucoup plus à Marseille.

En ce qui concerne la mise en évidence d'un indicateur et de seuils prédictifs d'un impact sanitaire, l'étude a trouvé qu'un indicateur double associant les températures minimale et maximale sur trois jours était le plus pertinent. Il est associé à une surmortalité cumulée de 15 % sur trois jours, avec un décalage dans le temps sur les jours J+4 à J+6 par rapport au début de l'épisode froid. Les seuils prédictifs de surmortalité sont de -9 °C en température minimale et -2 °C en maximale à Paris-PC, et -3 °C et $+4\text{ °C}$ à Marseille. Si on utilisait ces seuils pour déclencher des alertes, cela représenterait en moyenne 2,2 alertes par an à Paris et 1,4 à Marseille, 1 fausse alerte pour 3 vraies à Paris comme à Marseille, 0,9 alerte manquée pour 5 vraies à Paris et 0,7 à Marseille. Ces performances rejoignent des critères définis *a priori*, motivés par le besoin d'éviter un nombre trop élevé de fausses alertes qui pourrait décrédibiliser le système.

La question est alors de savoir si cet indicateur et ces seuils devaient être utilisés dans un système d'alerte sur le modèle de celui de la canicule. En effet, de nombreux critères de pertinence sont remplis, puisque l'on observe une pathologie évitable liée au froid, qu'un indicateur relativement simple et des seuils d'alerte fiables ont pu être définis, que l'indicateur météorologique à surveiller peut être

prévu plusieurs jours à l'avance de manière fiable par Météo-France et qu'il est adaptable dans le temps et dans l'espace. Cependant, les indicateurs sanitaires de suivi d'impact ne sont pas encore totalement définis, et le système Oscour de recours aux urgences par pathologies ne couvre pas encore toute la France bien que le nombre d'établissements qui en font partie augmente régulièrement. Il couvre à ce jour 35 % du territoire (200 établissements) et seules trois régions ne disposent pas d'établissements intégrés dans Oscour. Les données Insee par contre, permettent un suivi de la mortalité sur l'ensemble du territoire. Mais surtout, les actions permettant de diminuer la vulnérabilité de la population sont pour l'essentiel des mesures de fond à mettre en place sur le long terme, telles que l'isolation et le chauffage des logements, l'accès à une énergie propre pour les plus démunis, et la diffusion saisonnière de conseils de prévention. Les mesures conjoncturelles quant à elle relèvent essentiellement de l'information (conseils de prévention) et de la mise à l'abri des personnes les plus démunies en cas de vague de froid : la mise en vigilance de la population et des autorités locales pourrait alors se faire par la carte de vigilance, pour laquelle nos seuils pourraient être utilisés selon des modalités à discuter avec Météo-France et les autorités sanitaires. En ce qui concerne les personnes sans-abri, les actions sont déjà prévues et organisées par la Direction générale de l'action sociale, et leur déclenchement ne dépend pas de seuils d'alerte météorologiques mais de différents critères (météorologiques, mais surtout disponibilité des places d'hébergement, etc.).

CONCLUSION

En conclusion, l'InVS recommande d'encourager la prévention, de s'appuyer sur la carte de vigilance de Météo-France pour alerter la population et les services public de l'arrivée d'une vague de froid, extrême ou plus modeste, selon des niveaux à définir en concertation entre les services météorologiques et les services de santé, et de poursuivre les études sur les relations entre froid et santé, en particulier chez les personnes âgées, démunies, et sur les aspects de morbidité.

Mots clés : climat froid, système alerte, surveillance épidémiologique, prévention, étude de faisabilité, isolation thermique, chauffage, France

OBJECTIVE

This report responds to a referral from the General Directorate of Health. After presenting various contextual information on the relationship between cold and health (bibliographic information, description of the latest major cold spell in France and history of cold management in France since 2003). It deals with actions to implement to protect the population from the impact of cold spells, and with the possibility of developing indicators and predictive thresholds of a health impact, and finally with the value of using these thresholds in a specific warning system.

METHOD

The review on the knowledge on the subject was made from the bibliography of our 2004 report "Cold and Health", completed by the analysis of the main articles of interest on the subject edited until 2009. Some context information is also presented in this report (main cold spells in France, historic of the Cold and Health project at InVS, etc.).

Then we summed up the measures needed to protect the population from the cold effects, distinguishing between long-term and short term measures, the first ones having to be implemented long before the winter season, the second ones having to be taken during a cold spell.

Then an indicator and thresholds to predict a health impact were searched, from a time-series analysis of two cities with different climatic conditions, Paris and Marseille, from 1984 to 2003. A reflection was conducted about the possibility to use the indicator and thresholds for an alert system. In that perspective, a sensitivity/specificity study was made as well as defining criteria about an acceptable number of false, real, missed and total alerts per year. Pertinence criteria were also studied to assess the setting up of an alert system.

RESULTS

The bibliography study enabled us to review on the differences between winter mortality and mortality due to cold, on the relationship between temperature and mortality (type of relation depending on the country, lag between cold peak and health impact), on the risk factors and on physiological mechanisms induced by cold.

As regards the protecting measures for the population, few of them need an alert to be taken: they mainly concern communication toward the public and the local state services, which can be initiated by the

existing meteorological system of vigilance. The measures enabling a cold mortality and morbidity reduction are mainly long-term measures (fuel accessibility, housing isolation, seasonal prevention).

We then found a reliable biometeorological indicator and thresholds to predict a health impact. The best one is the association between the sum of minimal temperatures on three days and the sum of maximal temperatures on the same days. It is associated with an excess mortality of 15% on three days with a lag from the cold peak on days D+4 to D+6. Alert thresholds are -9°C for minimal temperature and -2°C for maximal temperature in Paris, -3°C and $+4^{\circ}\text{C}$ in Marseille. If used for an alert system, this would represent an average of 2.2 alerts per year in Paris and 1.4 in Marseille, 1 false alert for three real ones in both cities, 0.9 missed alert for five real ones in Paris and 0.7 in Marseille, which corresponds to our criteria and avoid launching too many false alerts which could alter the credibility of the system.

We then considered the use of such an indicator and thresholds in an alert system. Many pertinence criteria are reached for that: there is an avoidable pathology linked to cold, a reliable indicator and alert thresholds have been defined, this indicator is quite simple to understand and to use, it can be well predicted by the Weather Services several days in advance and it is adaptable in time and space. However, health indicators are not currently well defined to follow the impact of a cold spell, and the present system of syndromic surveillance is still not well spread over all France (35% of the metropolitan country, 200 hospitals, three regions still not covered). But overall, the measures enabling to decrease the population vulnerability to cold are mainly long-term measures such as isolation, fuel accessibility for the poorer and seasonal prevention. Short term measures mainly concern information of the population (prevention advice) and helping the poorer and the most fragile persons during a cold spell: in that purpose, warning the population and the local authorities could be done thanks to the meteorological vigilance map, which is well-known, and for which our alert thresholds could be used after discussion with the meteorological and health services.

CONCLUSION

As a conclusion, the Institute for Public Health Surveillance recommends to encourage prevention, to utilize the vigilance map of Météo-France to warn the population and the public services when a cold spell is predicted, and to continue the studies about the relations between cold and health, in particular for the elderly and the poorer.

Key words: Cold climate, Warning system, Epidemiological surveillance, Prevention, Feasibility study, thermal insulation, heating, France

Introduction – Objectifs de l'étude

Suite à la prise de conscience depuis la canicule d'août 2003 des risques sanitaires des phénomènes climatiques extrêmes, un suivi des vagues de froid, appelé système de veille "froid et santé", a été mis en opération par le Département santé environnement de l'Institut de veille sanitaire dès l'hiver 2003-2004 et poursuivi les hivers suivants avec de légères améliorations. L'objectif était d'informer la Direction générale de l'InVS et les autorités sanitaires de l'arrivée d'une vague de froid importante pouvant avoir un impact sur la santé de la population générale, et de déclencher une alerte si besoin.

Par ailleurs, il existe des plans de protection de la population en cas de froid : le plan urgence hivernal pour les personnes sans-abris, et la circulaire grand froid pour la population générale, ciblée sur certains groupes à risque. L'objectif de la DGS au travers de ce plan est de réduire la mortalité liée au froid, en étendant la prise en charge des personnes sans-abris à d'autres populations à risque telles que les enfants, les personnes âgées, les personnes à mobilité réduite ou celles souffrant de diverses pathologies chroniques. Cette prise en charge s'intègre par ailleurs à l'action n°3 du Plan national santé environnement 1 : "maîtriser les risques sanitaires liés aux températures extrêmes". Dans le PNSE2, la prise en compte du froid intervient dans le cadre de la lutte contre la précarité énergétique ("contribuer à une prévention efficace des effets sanitaires potentiels des basses températures hivernales"), et il en est fait mention dans l'inventaire des plans en relation avec le PNSE (dispositif hivernal).

Cependant, une réflexion plus approfondie était nécessaire afin de faire le point sur l'impact du froid sur la santé, d'inventorier les mesures existantes ou nécessaires susceptibles de réduire cet impact, et d'étudier l'opportunité de mettre en place un système d'alerte pour supporter la mise en œuvre de tout ou partie de ces mesures.

La DGS a saisi l'InVS à ce sujet en lui demandant de répondre à deux questions :

- dresser un état des connaissances relatif aux facteurs de risque de mortalité et de morbidité hivernales ;
- étudier la faisabilité et la pertinence de la mise en place d'un système d'alerte "froid et santé".

Ce rapport constitue une réponse à la saisine¹ dont le texte est présenté en annexe.

La première partie présente différentes informations contextuelles sur le sujet : éléments bibliographiques, description de la dernière grande vague de froid en France et historique de la gestion du froid en France depuis 2003.

La deuxième partie concerne l'étude des mesures à mettre en place afin de protéger la population de l'impact des vagues de froid.

La troisième partie est une réflexion sur l'utilité de développer des indicateurs d'alerte et des seuils associés, et dans quel but.

¹ Saisine adressée le 13 novembre 2006 à l'Institut de veille sanitaire (M. Gilles Brücker) par la Direction générale de la santé, sous-direction "gestion des risques des milieux", bureau "air, sol, déchets", bureau "bâtiments, bruit et milieux de travail", DGS/SD7B/SD7C, personnes chargées du dossier: Frédéric Jourdain et Nathalie Tchilian.

1. Le froid a-t-il un impact sur la santé ?

En 2004, l'InVS a réalisé une synthèse bibliographique afin de recenser les effets sanitaires attribuables à des températures basses et ceux attribuables à l'hiver (Beaudeau *et al.* 2004). Selon les conclusions de cette synthèse, les pathologies les plus préoccupantes en termes de santé publique sont les maladies cardiovasculaires, les infections respiratoires et l'asthme, les hypothermies et les intoxications au monoxyde de carbone. Pour chacune de ces pathologies, des populations particulièrement sensibles ont été identifiées : il s'agit de personnes âgées et des personnes souffrant de cardiopathies ischémiques pour les maladies cardiovasculaires, des insuffisants respiratoires et des asthmatiques pour les affections respiratoires, et particulièrement les enfants pour ce qui concerne l'asthme. Les intoxications au monoxyde de carbone concernent la population générale et la population économiquement défavorisée, tandis que les hypothermies concernent exclusivement les personnes en situation de précarité. Les éléments les plus importants de cette synthèse et des principaux articles d'intérêt parus jusqu'en 2009 seront discutés dans ce chapitre. La recherche bibliographique complémentaire au rapport froid a été réalisée à partir de Pubmed en utilisant les mots clés suivants : Climate[MeSH] AND (Cold[Title] OR Cold/adverse effects OR "Cold Climate"[MeSH]).

1.1 MORTALITÉ HIVERNALE ET MORTALITÉ DUE AU FROID

La mortalité présente une tendance saisonnière caractérisée, dans les climats tempérés, par un pic principal lors des saisons froides (renforcée en présence d'un hiver rigoureux) et par un maximum secondaire lors des vagues de chaleur.

En général, les tendances saisonnières sur la mortalité sont plus prononcées dans les climats tempérés que dans les climats extrêmes (Laschewski G *et al.* 2002). Une étude réalisée en Allemagne (Lerchl 1998) a également montré que les variations saisonnières de la mortalité étaient bien marquées entre 1946 et 1960 avec un pic hivernal (février) et un creux très marqué en août ; entre 1961 et 1970 le rythme saisonnier devient un peu moins marqué mais c'est surtout à partir des années 1970 que la courbe s'aplatit et que la différence entre les saisons devient moins nette. Les causes attribuées à ces changements seraient une généralisation du chauffage central, une amélioration et une meilleure disponibilité des vêtements, et une amélioration du système de santé qui a permis un meilleur diagnostic et un meilleur traitement pour de nombreuses maladies comme l'hypertension artérielle (qui est probablement une cause indirecte de mortalité saisonnière, en particulier chez les personnes âgées) et les maladies infectieuses. C'est donc l'élévation globale du niveau socio-économique et de l'offre de soins de la population qui auraient beaucoup contribué à la réduction de l'impact du froid sur la santé publique.

De même, Caserio-Schöneman (2004) a décrit dans 14 villes françaises la variabilité saisonnière de la mortalité, avec un maximum hivernal

(décembre à mars) et un minimum estival interrompus par l'existence de pics, ainsi qu'une diminution de l'amplitude saisonnière de la mortalité depuis les années 1930, attribuable en partie à la généralisation du chauffage central dans les années 1970 et à l'amélioration du système de santé et de la prise en charge des pathologies, en particulier cardiaques et respiratoires.

Une partie de la mortalité hivernale peut s'expliquer par des causes infectieuses. Ainsi les épidémies de grippe surviennent entre novembre et avril, et débutent le plus fréquemment à la fin du mois de décembre ou au début janvier. Elles touchent en moyenne en France 2,5 millions de personnes. Les données du réseau de 22 Ddass permettent de suivre les tendances de la mortalité par grippe, soit 49 décès par grippe clinique au cours de la période de surveillance 2007/2008, contre 44 pour la saison 2006/2007, 22 pour la saison 2005/2006 et 228 pour la saison 2004/2005, avec un âge médian des cas décédés de 75 ans (Vaux *et al.* 2008). Selon une étude de Carrat et Valleron en 1995, entre 1980 et 1990 les taux de mortalité par grippe en France allaient de 11 à 81 pour 100 000 personnes de plus de 75 ans, et ils étaient jusqu'à huit fois plus élevés en prenant en compte les décès attribuables à la grippe mais enregistrés comme résultant d'une autre cause. D'après l'OMS, les conditions climatiques de type temps sec et froid favorisent une survie plus longue du virus de la grippe à l'extérieur de l'organisme, raison pour laquelle les épidémies saisonnières surviennent en hiver dans les climats tempérés ([www.who.int/mediacentre/factsheets/2003/fs211/fr/](http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs211/fr/), dernière consultation le 31/03/2009). Ceci est en partie confirmé par l'étude récente de Shaman et Kohn (2009) qui montre que la transmission du virus de la grippe A et sa survie sont défavorisées par l'humidité, relative mais surtout absolue, 50 % de la transmission et 90 % de la survie du virus étant expliqués par l'humidité absolue. Il existe également chaque année en France, comme dans tous les pays européens, une épidémie hivernale de gastro-entérites aiguës, qui selon le réseau Sentinelles sont à l'origine chaque hiver d'1 à 2,5 millions de consultations en médecine générale, avec une augmentation habituellement entre décembre et janvier. Le Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CépiDc) de l'Inserm dénombre chaque année autour de 600 décès avec une infection intestinale comme cause initiale du décès, principalement dans les âges extrêmes, moins de 5 ans et plus de 75 ans (www.invs.sante.fr/surveillance/gastro_enterites/default.htm, dernière consultation le 31/03/2009). Les bronchiolites font également partie des maladies ayant une recrudescence hivernale. L'épidémie débute généralement à la mi-octobre, pour atteindre un pic en décembre et se termine à la fin de l'hiver. En France, on estime que la bronchiolite touche chaque hiver près de 30 % des nourrissons soit environ 460 000 cas par an. 2 % des nourrissons de moins d'1 an seraient hospitalisés pour une bronchiolite plus sévère chaque année, qui peut parfois être létale.

Certaines pathologies hivernales, pouvant ou non conduire au décès, peuvent être directement dues au froid telles que les hypothermies (même si elles peuvent être dues à d'autres causes que les faibles températures extérieures), pour lesquelles le pourcentage de décès est faible et estimé à 1 % du nombre de décès attribuables au froid dans les pays tempérés (Caplan 1999). D'autres pathologies, pouvant présenter ou non une issue fatale, peuvent être influencées par le

froid de manière plus indirecte, ce qui explique leur recrudescence automno-hivernale : pathologie ischémique, accidents vasculaires cérébraux, infections broncho-pulmonaires (surinfection de bronchopneumopathie chronique obstructive, pneumonie, bronchite, grippe), asthme, maladies endocriniennes, troubles mentaux, syndrome de Raynaud, gelures. Mais des facteurs de risque autres que le froid sont également plus intenses en hiver : les modifications de régime alimentaire et la consommation d'alcool, en particulier au moment des fêtes de fin d'année, ou encore le stress émotionnel associé à ces fêtes (Philipps *et al.* 2004), la réduction de l'exposition aux UV solaires liée au raccourcissement de la période diurne, mais ces facteurs méritent toutefois d'être davantage explorés.

Ainsi, la surmortalité hivernale n'est pas entièrement attribuable au froid, et la saisonnalité hivernale de certaines maladies infectieuses y concourt de manière importante ainsi que d'autres facteurs de risque. Cependant, le froid peut influencer sur les pathologies de manière plus ou moins directe.

1.2 RELATION ENTRE LE FROID, LA MORBIDITÉ ET LA MORTALITÉ

1.2.1 Forme de la relation température-mortalité

La littérature fait état d'une relation température-mortalité qui a la forme d'une courbe en U ou V, avec un optimum variant de 15 à 25 °C selon les pays européens et une augmentation de la mortalité de 0,7 à 3,6 % par degré de température s'écartant de part et d'autre de l'optimum (White 1985, Kunst *et al.* 1993, Ballester *et al.* 1997, Basu & Samet 2002, Hajat *et al.* 2002, Pattenden *et al.* 2003).

Différentes études (Ballester *et al.* 1997; Healy 2003) ont montré l'existence d'une relation entre les phénomènes climatiques et la santé, en particulier entre la baisse de la température et l'excès de morbidité ou de mortalité. En 2004, Panagiotakos *et al.* ont montré sur deux années d'étude à Athènes qu'il existait une corrélation négative entre les admissions hospitalières pour syndromes coronariens aigus et la température moyenne journalière de l'air, chaque diminution de 1 °C correspondant à une augmentation de 5 % des admissions hospitalières. L'humidité relative de l'air était quant à elle corrélée positivement avec les admissions pour ce type de pathologie. L'étude récente d'Analitis *et al.* (2008) dans le cadre du projet PHEWE a montré, sur 15 villes européennes, une relation entre froid et mortalité, chaque degré de baisse de température étant associé à une augmentation journalière du nombre total de morts de 1,35 % par cause naturelle, et une augmentation de 1,72 % pour les causes cardiovasculaires, de 3,30 % pour les causes respiratoires et de 1,25 % pour les causes cérébrovasculaires, l'augmentation étant plus importante avec l'âge.

D'après l'étude du groupe Eurowinter (Keatinge 2002) la mortalité hivernale liée à une diminution de la température augmente davantage dans les régions ayant des hivers plus tempérés. L'optimum thermique, qui correspond à la température pour laquelle la mortalité est la plus basse, varie selon les pays : il est généralement plus bas dans les pays nordiques, et plus élevé vers le sud de l'Europe.

Par ailleurs, le pourcentage d'augmentation de la mortalité toutes causes pour chaque diminution de 1 °C de température en dessous de 18 °C (Eurowinter group 1997) est plus important dans les régions

chaudes (2,15 %, IC 1,20 à 3,10 % à Athènes) que dans les régions froides (0,29 %, IC 0,10 à 0,48 % en Finlande du Nord). Bien qu'avec des chiffres un peu différents, Keatinge *et al.* (2000) trouvent des résultats allant dans le même sens chez les personnes de 65 à 74 ans (1,60 %, IC 1,36 à 1,83 à Athènes; 0,58 %, IC 0,48 à 0,68 en Finlande du Nord pour chaque diminution de la température de 1 °C au dessous du minimum thermique).

Ce même type de résultat a été montré par Curriero *et al.* en 2002 sur 11 villes américaines, avec un effet plus important des basses températures dans les villes du sud, et un effet plus important des températures élevées dans les villes du nord.

Pour un même pays, la mortalité liée au froid peut varier d'une région à l'autre, comme l'a montré une étude française sur quelques départements (Laaidi M, Laaidi K, et Besancenot JP 2006).

Medina-Ramón *et al.* (2006), en utilisant une étude ville-spécifique pour déterminer l'exposition aux températures extrêmes (chaudes et froides), suggèrent qu'il est plus opportun d'utiliser un seuil de température relatif et non absolu du fait que les populations ont tendance à s'adapter au climat local sous lequel elles vivent (Braga *et al.* 2002; Curriero *et al.* 2002; Eurowinter Group 1997; Keatinge *et al.* 2000). Cette acclimatation peut être due à une adaptation physiologique, à des aménagements urbains et architecturaux, à des comportements individuels spécifiques ou encore à l'utilisation à domicile de moyens de chauffage (ou de climatisation pour le chaud).

Récemment, ces résultats ont été confirmés par Analitis *et al.* (2008) qui ont montré que la température durant la saison froide était inversement associée à la mortalité et que, pour les villes du sud plus chaudes cet effet était plus important.

1.2.2 Les mécanismes physiologiques du froid

La régulation des échanges thermiques en ambiance froide fait intervenir des mécanismes physiologiques endogènes thermorégulateurs, qui mettent en jeu les systèmes nerveux, endocrinien, cardiaque et respiratoire.

Quand la température ambiante est suffisamment basse pour entraîner une diminution de la température centrale en dessous de 37 °C, on observe une vasoconstriction cutanée qui permet d'isoler les tissus périphériques du compartiment central en créant un gradient thermique entre la peau et les viscères profonds (cœur, cerveau, rein). La vasoconstriction est accompagnée d'une augmentation du tonus sympathique (système nerveux autonome) qui se traduit en particulier par une accélération du rythme cardiaque et une hypertension artérielle. La redistribution du sang circulant vers les organes est à l'origine d'une augmentation du secteur extravasculaire, ce qui aboutit à une hémococoncentration (Keatinge 2002). On observe une augmentation de la concentration plasmatique de 10 % des globules rouges, des leucocytes, des plaquettes, du cholestérol et du fibrinogène. L'hémococoncentration est associée à une augmentation de la viscosité sanguine de 20 % environ (Keatinge 2002).

De plus, sous l'effet du froid, l'organisme augmente sa thermogénèse. L'activité cardiaque augmente, ainsi que les besoins du cœur en oxygène (White 1985). La production de chaleur peut dépendre

soit de l'augmentation de l'activité musculaire squelettique (frisson thermique ou activité physique volontaire), soit d'un accroissement du métabolisme. Le tissu adipeux brun et certaines hormones participent à l'augmentation du métabolisme énergétique : les hormones thyroïdiennes, les catécholamines (adrénaline), les glucocorticoïdes, le glucagon. Les hormones thyroïdiennes en particulier interviennent plus dans l'acclimatation au froid que dans la réponse de thermorégulation immédiate. On observe également une diminution de la thermolyse et en particulier de la transpiration.

Des effets néfastes pour la santé apparaissent si le système thermorégulateur est déficient ou si le stress thermique est trop important. En général, les individus sains s'adaptent rapidement à la nouvelle température, ce qui n'empêche pas une augmentation de la morbidité, voire de la mortalité, en relation avec les faibles températures.

Cette adaptation est physiologique mais également comportementale, à travers la protection vestimentaire. Ainsi, J. Huang (2007) a modélisé le bilan énergétique et les échanges de chaleur entre une personne habillée et l'environnement extérieur, afin de déterminer la température de l'air pour laquelle un adulte moyen, portant un habillement d'extérieur spécifique et ayant une activité donnée, atteint le confort thermique. Les résultats ont montré qu'une faible isolation des vêtements, une vitesse de vent élevée et une faible activité physique nécessitent une température extérieure plus élevée pour atteindre le confort thermique. Mais au-delà du modèle et des différences dues au sexe, à l'âge et à la condition physique, le confort thermique en situation réelle varie d'un moment à l'autre en fonction de l'évolution des températures ou du vent au cours de la journée, du temps passé en extérieur (sachant que pour le froid, contrairement au chaud, le corps atteint un état d'équilibre après un délai assez long lorsqu'il passe d'un environnement chauffé aux conditions extérieures), et même de l'état psychologique de la personne. Cependant, ce modèle pourrait être utilisé pour adapter son habillement en fonction des températures prévues, si les vêtements portaient une mention indiquant à l'acheteur jusqu'à quelle température extérieure ils permettent à l'organisme de se maintenir en état de confort thermique, et ainsi diminuer les risques d'hypothermie.

La littérature montre que la mortalité hivernale correspond essentiellement aux pathologies cardio-vasculaires et respiratoires. Différents mécanismes peuvent expliquer cet impact du froid sur les pathologies cardiovasculaires : la pression artérielle est plus élevée en hiver (Imai *et al.* 1996 ; Woodhouse *et al.* 1993), l'exposition au froid peut augmenter le taux de cholestérol plasmatique et le fibrinogène plasmatique (Keatinge *et al.* 1984 ; Neild *et al.* 1994 ; Stout et Crawford 1991) entraînant à son tour une hémocoagulation et par la suite thrombose et spasme coronaire, et donc une augmentation des affections de type thromboembolique.

L'effet est plus indirect pour les pathologies respiratoires, le froid fragilisant l'épithélium trachéo-bronchique, diminuant la résistance du système immunitaire et permettant ainsi le développement d'infections broncho-pulmonaires (CDC 2003). Une étude anglaise a mis en évidence les fortes variations saisonnières de ces pathologies, caractérisées par un pic au mois de janvier (Johnson et Griffiths 2003). En 2004, McGregor *et al.* ont également montré qu'il existait une association positive entre l'amplitude du cycle annuel de la mortalité par pathologies cardiaques ischémiques et la saisonnalité de la température, les années présentant un pic important de mortalité étant celles pour lesquelles la température présentait de fortes variations

saisonnières. Par ailleurs, le pic de mortalité pour ces pathologies était associé aux plus basses températures.

En ce qui concerne l'hypothermie, elle est définie comme un refroidissement involontaire de la température interne du corps humain en dessous de 35 °C, à un niveau pour lequel les fonctions musculaires et cérébrales normales sont affaiblies. L'hypothermie peut être faible ($32,2 < T < 35,0$ °C), modérée ($28,0 < T < 32,2$ °C) ou sévère ($< 28,0$ °C) (CDC 2003). Néanmoins, même une faible baisse de la température corporelle interne peut induire des effets néfastes chez les personnes fragilisées (MacKenzie 2000). L'hypothermie peut résulter d'une exposition prolongée à une ambiance froide, comme l'air extérieur en hiver ou un séjour prolongé dans une eau froide (naufnage), les mécanismes de thermorégulation étant alors dépassés, ou bien d'une dérégulation de l'organisme. En ambiance froide, l'hypothermie est une complication courante pour une personne victime d'un accident ou d'un malaise. Elle peut également être secondaire à une infection par certains types de germes, ou causée par une hypothyroïdie, ou une intoxication à certaines substances (alcool, barbituriques). On constate des cas d'hypothermie chez les sans-abri tout au long de l'année en France, y compris pour des températures extérieures supérieures à 10 °C. Ces cas sont imputés à une pathologie chronique, essentiellement un alcoolisme chronique. Le même type de constatation a été fait dans d'autres pays, par exemple les États-Unis (CDC 2003).

Chez les patients asthmatiques (Caplan 1999), l'inspiration d'air froid et sec, en particulier pendant une activité physique, entraîne une contraction des muscles lisses responsable d'une broncho constriction, un engorgement vasculaire, des effets osmotiques impliquant une libération de médiateurs tels que l'histamine, une vasoconstriction pulmonaire et une hyperémie (afflux important de sang).

1.2.3 Les paramètres météorologiques pertinents

Pour estimer l'impact du froid sur la santé, la température est bien sûr le paramètre le plus utilisé. Cependant, il ne tient pas compte des échanges thermiques entre l'air et le corps. Pour cela, l'indice de refroidissement éolien (IRE) a été utilisé car il intègre la notion de vent, celui-ci engendrant, pour une même température, une sensation de froid d'autant plus importante que la vitesse du vent est élevée.

En effet, si la température interne du corps humain est de 37 °C, la température de la peau varie de 25 à 30 °C et elle est le plus souvent légèrement supérieure à la température ambiante. La peau est ainsi surmontée d'une couche limite thermique à l'intérieur de laquelle il existe un fort gradient de température entre la température de la peau et celle de l'air ambiant. Le confort thermique dépend donc davantage du flux thermique entre le corps et l'air ambiant que de la température extérieure réelle et la sensation de froid est d'autant plus vive que le flux thermique sortant est important (Lehoucq 2000). En hiver, quand le vent souffle, un froid plus vif est ressenti car le transfert thermique par conduction est dominé par un transfert par convection. Le vent est un facteur de convection qui renforce les échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur du corps. L'écart entre la température absolue et la température ressentie est d'autant plus grand que l'écart entre la température ambiante et celle de la peau est grande et que le vent est fort (Lehoucq 2000). Ainsi, un vent soufflant à 30 km.h⁻¹ avec une température réelle ou absolue de -10 °C entraîne la même sensation qu'une température de -18 °C en air calme.

Différents indices intègrent la température et le vent ont été développés, et une comparaison en a été faite dans le rapport froid et santé de l'InVS (Beaudeau *et al.* 2003) et par une équipe néerlandaise, mais les différences restent faibles même si certains indices semblent plus appropriés (Kunst 2001).

1.2.4 Les facteurs de risque de pathologie liée au froid

Âge et sexe. Il existe une différence de sensibilité au froid en fonction de l'âge et du sexe. L'étude de Panagiotakos *et al.* (2004) à Athènes a montré une corrélation négative entre les admissions hospitalières pour syndromes coronariens aigus et la température moyenne journalière de l'air, cette association étant plus forte chez les femmes et les personnes âgées. Une étude de cohorte réalisée au Japon sur des hommes et des femmes de plus de 50 ans (Yasui *et al.* 2007) a montré une différence de sensibilité au froid, à partir des résultats d'un questionnaire permettant d'appréhender cette sensibilité. Il en résulte que les femmes sont plus sensibles au froid que les hommes. Chez ces derniers, la sensibilité au froid augmente avec l'âge et elle est plus importante chez ceux qui ont un indice de masse corporelle faible, ce qui n'est pas le cas chez les femmes. Cependant, ces différences de sensibilité au froid ne semblent pas associées aux concentrations en hormones sexuelles circulant dans le sang. L'étude d'Analitis *et al.* (2008) citée dans le paragraphe 1.1.1 a montré une relation entre froid et mortalité pour causes naturelles, en particulier cardiovasculaires, respiratoires et cérébrovasculaires, l'augmentation de la mortalité par degré de baisse de température étant plus importante avec l'âge.

Température à l'intérieur du logement. Healy (2003) a montré que le niveau d'efficacité énergétique, estimé à partir de mesures d'isolation thermique (murs, toit, sol, double vitrage) était plus élevé dans les pays Scandinaves et faible dans les pays du sud de l'Europe ainsi qu'en Angleterre et en Irlande, certaines de ces mesures étant corrélées avec une plus grande surmortalité hivernale.

Niveau social. Si dans les années 1970 la mortalité hivernale était supérieure dans les classes sociales basses par rapport aux classes plus élevées, les études sur des années plus récentes n'ont pas montré d'association claire entre froid et pauvreté. Donaldson et Keatinge ont étudié en 2003 la mortalité liée au froid parmi différentes classes sociales au Royaume-Uni et au Pays de Galles, chez les travailleurs et les retraités. Parmi les hommes en âge de travailler (50-59 ans), la mortalité due au froid était plus faible dans la classe 5 (personnes non qualifiées) par rapport aux autres classes, alors que le contraire était observé chez les retraités (65-74 ans). Par ailleurs dans la classe 5 (mais pas dans la classe 1 des cadres et professions libérales), les hommes en âge de travailler avaient une mortalité liée au froid plus basse que les femmes au foyer. Ces résultats montrent un effet bénéfique du travail dans la classe sociale la plus basse, probablement du fait de la production de chaleur interne liée au travail manuel durant la journée, ou à de meilleures conditions thermiques sur leur lieu de travail par rapport au domicile.

Activités de plein air. Certains auteurs ont montré qu'il existe une relation entre le temps passé à des activités de plein air, sans l'utilisation d'une tenue appropriée pour affronter le froid (chapeau, imperméable, paire de gants) et la mortalité (Healy 2003 ; Lerchl 1998).

1.2.5 Les évènements extrêmes

Une étude récente de Medina-Ramón *et al.* (2006) sur les relations entre températures extrêmes et mortalité a montré que la mortalité par cause cardiovasculaire, et en particulier par arrêt cardiaque, augmentait significativement lors des jours très froids (température inférieure au 1^{er} percentile de la distribution des températures de 50 villes américaines sur 12 ans), et ce de façon bien plus marquée que les autres causes de décès.

1.2.6 Décalage entre pic de froid et impact sanitaire

Bien que l'effet de la température sur la mortalité et la morbidité ait été démontré, le laps de temps entre la chute de température et la manifestation des effets sur la santé est variable selon la pathologie.

L'étude de la littérature (Huynen MMTE *et al.* 2001) montre que la morbidité augmente pendant la saison hivernale, influençant ainsi la mortalité, mais les plus forts pics de mortalité correspondent parfois, à l'intérieur d'une période de températures très basses, à des jours plus doux (Besancenot JP 1997).

Les pathologies en rapport avec un effet direct du froid sur l'individu sont les crises d'angor chez les patients ischémiques (angor stable), les crises d'asthme liés au froid (dues à la bronchoconstriction provoquée par l'inhalation d'air froid), les engelures, les hypothermies, le syndrome de Raynaud et les crises de drépanocytoses (Mohen J *et al.* 1998 ; Beaudeau *et al.* 2004). Le laps de temps entre l'exposition au froid et le déclenchement de la pathologie est dans ces cas-là très court (quelques minutes à quelques heures).

Les pathologies favorisées par le froid sont les infections respiratoires, les accidents vasculaires cérébraux, les maladies endocriniennes (dérèglement du diabète et de la thyroïde) et la dépression nerveuse, avec un impact du froid plus ou moins retardé de une à trois semaines, voire un mois. Ainsi une étude sur la mortalité cardiorespiratoire en Ecosse (Carder *et al.* 2005) a montré que pour des températures inférieures à 11 °C, une chute de 1 °C de la température diurne un jour donné était associée à une augmentation de la mortalité durant le mois suivant de 2,9 % (IC 95% [2,5-3,4]), 3,4 % (IC 95% [2,6-4,1]), 4,8 % (IC 95% [3,5-6,2]) et 1,7 % (IC 95% [1,0-2,4]) respectivement pour toutes causes, causes cardiovasculaires, respiratoires et "autres". L'association entre la température et la mortalité persiste pour des décalages inférieurs à deux semaines, mais elle devient moins importante. En Espagne, Ballester *et al.* (1997) ont montré que, pendant les 6 mois de saison froide, chaque diminution de 1 °C de température sous le seuil de 15 °C (qui correspond lui-même à la mortalité minimale pendant ces mois-là) correspond à une diminution de la mortalité de 1,6 % durant la première semaine et de 3,2 % durant la deuxième semaine. L'effet le plus marqué de la température sur la mortalité était observé pour les pathologies respiratoires et cardiovasculaires, et le groupe d'âge des 70 ans et plus présentait les risques relatifs les plus élevés, en particulier pour des décalages de 1 à 2 semaines et 3 à 6 semaines. En 2008, l'étude PHEWE sur les effets du froid sur la mortalité en Europe a montré qu'en saison froide, une diminution de la température apparente de 1 °C pouvait avoir un effet sur la mortalité jusqu'à 23 jours après toutes causes confondues et particulièrement pour la mortalité respiratoire, sans qu'un déplacement de la mortalité ne soit observée (Analitis *et al.* 2008).

Par ailleurs les intoxications au CO (monoxyde de carbone) sont également influencées, mais de façon indirecte, par les conditions météorologiques sur les systèmes de chauffage et sur les conditions d'aération des habitations (Pascal *et al.* 2006, InVS *et al.* 2008). Selon les auteurs, les temps à risque sont un type de temps anticyclonique d'hiver, le risque allant en s'aggravant avec une persistance du brouillard dans la journée et une faible ventilation, le délai de latence entre le phénomène météorologique et le risque d'intoxication pouvant aller jusqu'à trois jours (Lilienthal *et al.* 1986), un temps pluvieux avec faible pression atmosphérique et humidité relative élevée (Gijsenberg *et al.* 1989) ou un front froid et une augmentation de la pression atmosphérique (Hung *et al.*, 1994). Le froid ne paraît pas et de loin être le seul paramètre pouvant influencer les intoxications au CO, et d'autres conditions météorologiques semblent intervenir.

Une étude allemande portant sur la mortalité journalière de 1968 à 1997 mise en parallèle avec la température perçue montre que les

vagues de froid sont associées à une surmortalité sur une période d'environ deux semaines après le jour le plus froid, avec un décalage d'un à deux jours. Toutefois, les auteurs soulignent que les personnes étant plus exposées aux températures intérieures qu'extérieures, la surmortalité pourrait être liée aux maladies infectieuses plutôt qu'à l'exposition au froid (Laschewski *et al.* 2002). Le projet PHEWE, qui porte sur 15 villes européennes, a montré qu'il existait un décalage pouvant aller jusqu'à 23 jours entre une baisse de température et l'augmentation de la mortalité toutes causes, cardiovasculaire, cérébrovasculaire et plus particulièrement respiratoire (Analitis *et al.* 2008).

Le tableau 1 résume les décalages estimés entre le pic de froid et son impact sur la mortalité et la morbidité, en fonction des données de la littérature.

| TABLEAU 1 |

Décalage entre pic de froid et impact sanitaire (morbidité ou mortalité)

J0	J+1	J+2	J+3	J+7	J+10	J+15	J+21
Pic de froid							
Engelures Hypothermies Asthme au froid Syndrome de Raynaud							
Angor Troubles du rythme Embolies pulmonaires							
Intoxications au CO							
AVC (accidents vasculaires cérébraux) ischémiques							
Pathologies cardiaques ischémiques							
							Pathologies respiratoires

2. Les principales vagues de froid

2.1 HISTORIQUE

Météo-France a identifié les hivers remarquables depuis 1950, à partir d'un indicateur thermique qui est la moyenne de 22 stations météorologiques de référence. La méthode de détermination des vagues de froid est définie de la façon suivante par Météo-France.

Un épisode de froid intense est identifié lorsqu'une des conditions suivantes au moins est vérifiée :

- l'indicateur thermique quotidien est inférieur à -3°C ;
- la moyenne sur trois jours glissants de l'indicateur thermique quotidien est inférieure à -2°C.

Le début de l'épisode de froid intense est alors situé le jour où l'indicateur thermique quotidien devient inférieur à 0°C durablement. La fin de l'épisode est située le jour précédent celui où l'indicateur devient supérieur à 0°C durablement.

L'intensité globale des vagues de froid est ensuite évaluée à partir de l'indicateur thermique en cumulant sur la durée de l'épisode les degrés inférieurs à 0°C.

Sur la période 1950-2006, l'indicateur thermique moyen pour l'hiver (décembre-janvier-février) est de 5°C.

L'hiver le plus froid a été celui de 1962-63, avec un indicateur à -0,1°C, soit 5°C en dessous de la moyenne. Il a été suivi par 1984-85, 1955-56 et 1952-53, pour lesquels l'indicateur était de 2,7°C, soit 2,3°C inférieur à la moyenne. On trouve ensuite les hivers 1963-64, 1986-87 et 1964-65 avec des indicateurs autour de 3°C (environ 2°C sous la normale), puis 1990-91 et 2005-2006 qui ont un écart à la normale de -1,5°C.

Le tableau 2 identifie les jours les plus froids sur cette même période. Ils correspondent aux hivers 1954, 1956, 1962 et 1985.

Jours d'hiver les plus froids entre 1950 et 2006

Jours d'hiver les plus froids depuis 1950					
Sur la base de l'indicateur thermique (donc différence avec les extrêmes absolus)					
Décembre		Janvier		Février	
Date	Indicateur	Date	Indicateur	Date	Indicateur
25 décembre 1962	-7,2 °C	16 janvier 1985	-11,3 °C	2 février 1956	-10,8 °C
26 décembre 1962	-7,1 °C	8 janvier 1985	-10,4 °C	10 février 1956	-9,3 °C
24 décembre 1962	-7,0 °C	12 janvier 1987	-10,0 °C	11 février 1956	-8,9 °C
27 décembre 1962	-6,6 °C	15 janvier 1985	-9,8 °C	1 ^{er} février 1954	-8,8 °C
28 décembre 1962	-6,0 °C	14 janvier 1985	-8,6 °C	2 février 1954	-8,4 °C

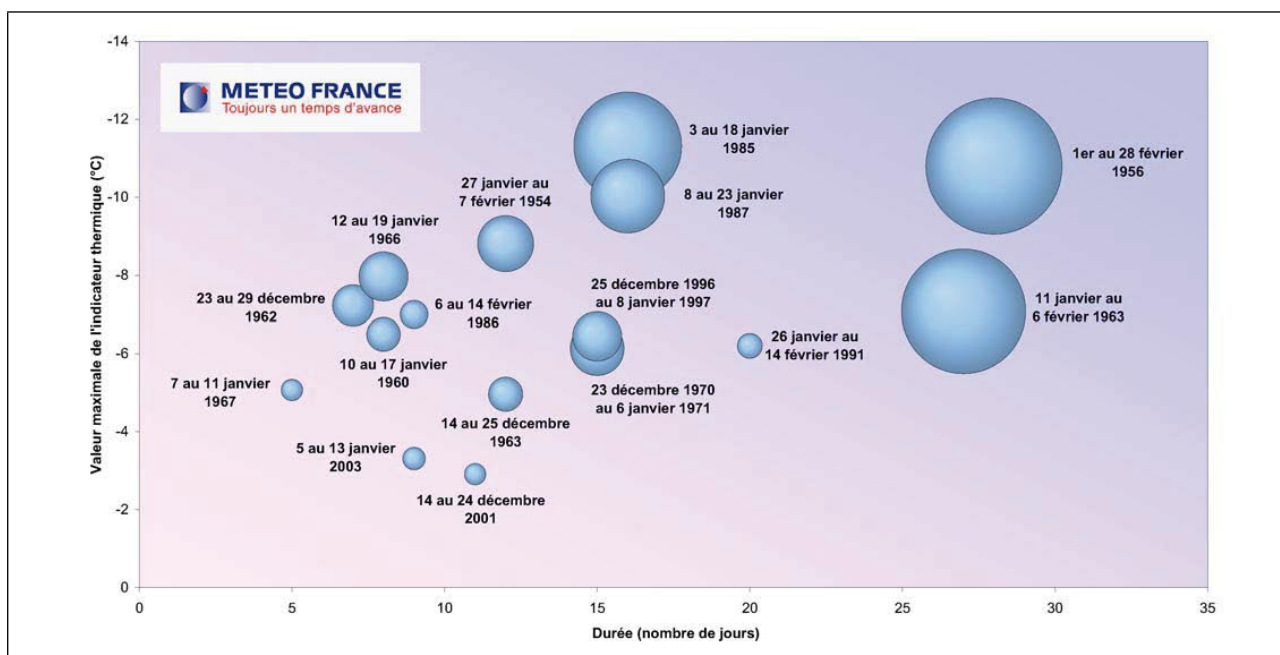
Source : Météo-France.

Informations établies à partir d'un indicateur thermique, moyenne de la température moyenne de 22 stations métropolitaines.

La figure 1 permet d'individualiser les principales vagues de froid en associant leur durée et leur intensité.

| FIGURE 1 |

Les principales vagues de froid entre 1950 et 2006 en France, à partir de l'indicateur thermique (température moyenne de 22 stations météorologiques de référence)



Source : Météo-France.

Le diamètre des sphères symbolise l'intensité globale des vagues de froid, les sphères les plus grandes correspondant aux vagues de froid les plus sévères.

Ces vagues de froid ont toutes eu lieu en décembre, janvier ou février et, pour les quatre plus importantes à la fois en durée et en intensité, au mois de janvier.

Parmi ces épisodes, seule la vague de froid de janvier 1985 a fait l'objet d'une analyse d'impact sanitaire.

2.2 LA VAGUE DE FROID DE JANVIER 1985

En France, une vague de froid exceptionnelle de par sa durée et son intensité a été observée en janvier 1985. Un net abaissement des températures journalières par rapport aux normales saisonnières

(calculée sur la période 1931-1960) s'est produit du 5 au 9 janvier et du 14 au 17 janvier. Une chute très brutale des températures a notamment été enregistrée dans la nuit du 4 au 5 janvier : à Orly la température minimale est ainsi passée de -3 à -9°C. Une telle vague de froid ne s'était pas produite depuis 1946.

Une étude réalisée par l'ORS Île-de-France sur cette vague de froid (5 au 20 janvier) a montré que deux décès excédentaires sur trois étaient liés à des pathologies d'origine cardiaque et pulmonaire, la surmortalité s'élevant à 1 039 décès (+13,3%) pendant le mois de janvier (ORS Île-de-France 1987). Sur l'ensemble de la France (Beaudeau *et al.* 2004), cette vague de froid a entraîné une surmortalité importante (+13%), principalement par infarctus de myocarde (+17%), accidents vasculaires cérébraux (+54%) et pneumonies (+208%).

2.3 LA VAGUE DE FROID DE JANVIER 2009

Durant l'hiver 2008-2009, la France a connu une vague de froid de faible intensité qui s'est installée fin décembre avec des températures particulièrement froides, pouvant descendre localement jusqu'à -10 °C dans la moitié nord du pays. Un redoux s'est opéré ensuite du 31 décembre au 3 janvier avant une nouvelle offensive du froid le 4. Les températures nocturnes ont atteint ponctuellement -15 °C le 7 janvier avec une journée sans dégel sur plusieurs régions. Le 9 janvier, les températures ont commencé à remonter dans le sud du pays, et ce radoucissement s'est poursuivi les 10 et 11 janvier. Depuis 1950, 37 vagues de froid ont été recensées en France, dont 16 d'intensité modérée, forte ou exceptionnelle et 21 de faible intensité. L'épisode de janvier 2009 entre dans cette liste, mais reste assez loin des épisodes récents les plus sévères et notamment de la vague de froid du 3 au 18 janvier 1985 (Source : Météo-France).

La surveillance de la mortalité menée par l'InVS a mis en évidence une hausse de la mortalité en France au cours de l'hiver 2008/2009, en comparaison des trois hivers précédents. Au cours du mois de janvier 2009, l'indicateur de mortalité ajusté sur l'évolution de la population a dépassé les valeurs observées au cours des trois hivers précédents, en particulier chez les personnes les plus âgées (95 ans et plus), avec une distribution hétérogène selon les régions. Pour cette classe d'âges, le pic de mortalité atteint un maximum proche de 550 décès pour 100 000 habitants. En considérant la mortalité enregistrée dans les seules communes informatisées de l'Insee, une première estimation a indiqué un excès de mortalité proche de 6 000 décès (+14 %) sur les six premières semaines de l'année 2009. La mortalité avait déjà atteint un niveau analogue en 2005, entre les semaines 4 et 12 (une vague de froid avait alors été observée entre le 23 février et le 2 mars). Cependant, la survenue concomitante de plusieurs facteurs (vague de froid, pathologie respiratoire et épidémies saisonnières) sur la même période peut au moins en partie expliquer l'augmentation de la mortalité, sans qu'il soit possible aujourd'hui d'évaluer leur part respective dans cette augmentation (Fouillet *et al.* 2009).

3. Historique du suivi froid et santé en France depuis 2003 et relations entre l'InVS et les partenaires impliqués

Suite à la canicule de 2003, la question des effets du froid sur la santé s'est posée, afin de ne pas être pris au dépourvu par une vague de froid à l'image de la canicule. Une synthèse des effets sanitaires du froid sur la santé a été publiée par l'InVS en 2004. Entre 2004 et 2008, l'InVS a également participé à des groupes de travail DGS et Inpes pour élaborer des messages de prévention des effets sanitaires des vagues de froid. Il a mis en place une veille hivernale météorologique et sanitaire, et conduit la présente étude de faisabilité et pertinence d'un système d'alerte froid et santé, suite à une saisine de la DGS.

La veille hivernale s'est déroulée de la façon suivante.

Au cours de l'hiver 2003-2004, un système de veille froid empirique a été mis en place par l'InVS, en parallèle avec le Plan urgence hivernal (PUH) destiné aux personnes sans-abri mis en place par le ministère de l'Emploi, du Travail et de la Cohésion sociale. Les deux systèmes reposaient à la fois sur les notions de température ressentie et de température absolue, avec un seuil de déclenchement national fondé sur la température absolue, les températures ressenties étant données à titre indicatif². Les seuils du Plan urgence hivernal (-5 °C pour le niveau 2 et -10 °C pour le niveau 3, le niveau 1 étant le niveau de veille saisonnière) ne reposent pas sur des critères épidémiologiques, mais sur des critères climatiques uniquement. Les deux alertes (octobre 2003 et février 2004) proposées à la DGS par l'InVS à partir de ces seuils empiriques n'ont pas eu de suite en termes de gestion, faute de plan de réduction du risque.

Pour l'hiver 2004-2005, une réflexion a été menée par Météo-France sur l'utilisation du nouvel Indice de refroidissement éolien (IRE) développé au Canada, qui est une variante améliorée de la température ressentie. Une première analyse, faite par Météo-France, de 20 ans de données météorologiques rétrospectives a permis de définir un seuil national pour cet IRE à -18 °C, ce qui permet de bien identifier les vagues de froid passées, mais sans considération sanitaire. Ce seuil a été établi de façon empirique en considérant la distribution composite de l'IRE minimal (IREmin) par interrégion : si la forme de la courbe et les valeurs moyennes diffèrent selon les régions, les extrêmes négatifs sont pratiquement aussi bas partout, et ce sont eux qui intéressaient Météo-France pour la vigilance sur les vagues de froid extrêmes. L'approche par percentile n'a pas été retenue, le percentile 98 présentant parfois des valeurs assez élevées et conduisant à déclencher à peu près autant d'alerte partout, que le climat soit froid ou non. Le seuil de -18 °C pour l'IREmin, associé à des températures négatives le jour, a ainsi été retenu pour la vigilance orange de Météo-France, ainsi que le seuil de -25 °C en IREmin pour la vigilance rouge. À ce jour, aucune vigilance orange ou rouge n'a été activée sur la base de ces seuils. Les seuils du PUH sont restés identiques (-5 et -10 °C en température absolue).

Pour l'hiver 2005-2006, une procédure d'information de la DG de l'InVS a été mise en place. Cette procédure consistait à suivre chaque jour ouvré les températures absolues et ressenties fournies par Météo-France pour une ville sentinelle par département métropolitain, les passages en niveau 2 ou 3 du PUH à partir des bulletins du Cogic, les passages en orange ou rouge de la carte de vigilance de Météo-France et les données sanitaires en lien avec les effets attribués au froid fournies par la CCA (hypothermies, données des services d'urgence pour les pathologies respiratoires et cardiovasculaires, mortalité Insee). L'analyse de ces données conduisait, dans les conditions définies par la procédure, à une note d'information pour la DG, et pouvait permettre d'alerter les autorités sanitaires en cas d'évènement météorologique ou sanitaire de grande ampleur. Un tel évènement ne s'est pas produit au cours de l'hiver.

Au cours de l'hiver 2006-2007, la surveillance des évènements météorologiques et sanitaires liés au froid a été poursuivie par le Département santé environnement (équipe climat et santé). Par ailleurs, une circulaire a été élaborée par la DGS (circulaire

² La température ressentie intègre la vitesse du vent, ce paramètre entraînant une perte de chaleur accrue (un vent de 90 km/h associé à une température de -10 °C entraîne la même sensation qu'une température de -30 °C par temps calme).

interministérielle n° DGS/2007/31 du 14 janvier 2007 relative à la protection de la population en cas de froid exceptionnel). Elle concerne trois types de public dit "fragile" : les personnes sans-abri pour lesquelles le dispositif du Plan urgence hivernal est en place ; les personnes souffrant de pathologies chroniques, les personnes âgées et les jeunes enfants ; les personnes âgées ou handicapées isolées et celles ayant des difficultés à se chauffer. Les actions du dispositif sont déclinées par le préfet de département notamment à partir des informations de la carte de vigilance de Météo-France, et également de la surveillance de la disponibilité en lits d'hôpitaux. Ces actions sont bien identifiées pour les sans-abri. Pour les autres populations vulnérables, elles relèvent essentiellement de la communication, de l'appel à la mobilisation et à la solidarité et de la mise en œuvre du plan d'alerte et d'urgence pour les personnes âgées et handicapées (loi n° 2004-626 du 30 juin 2004) prévoyant l'utilisation des registres communaux de personnes vulnérables et le transport éventuel de ces personnes dans des lieux chauffés. Ce dispositif qui concerne essentiellement la vigilance météorologique et les mesures de gestion n'incluait pas l'InVS, ce qui a été corrigé par la suite.

Pour l'hiver 2007-2008, la procédure de veille de l'InVS a été réévaluée en ce qui concerne le suivi des températures. En effet, l'Observatoire du Samu social a constaté que les déclenchements du PUH tenaient compte davantage des places disponibles dans les différents types d'hébergement d'urgence et de la médiatisation autour des actions associatives, que des seuils météorologiques de -5 et -10 °C.

Par ailleurs la circulaire DGAS n° 337 du 19 octobre 2007, relative au dispositif d'accueil, d'hébergement et d'insertion, période hivernale 2007-2008, précise qu'il ne sera plus fait référence à des niveaux de vigilance à caractère national déterminés en fonction de la température, mais que les prévisions de température seront toujours fournies par Météo-France comme aide à la décision. Il revient à présent au préfet de juger des mesures qui s'imposent, et d'ajuster les capacités nécessaires en fonction de son appréciation de la réalité locale, sans être enfermé ni dans des critères de dates rigides, ni dans des critères de températures. Le seul objectif est que pendant la période hivernale toutes les personnes qui le souhaitent puissent être mises à l'abri.

Du fait de ces constatations, la veille hivernale 2007-2008 ne s'est plus fondée sur les seuils thermiques de -5 et -10 °C, mais a porté uniquement sur les données sanitaires, les bulletins "froid" du Cogic et la carte de vigilance.

Pour l'hiver 2008-2009, la procédure de veille de l'InVS a été simplifiée. La surveillance météorologique repose sur la carte de vigilance, dont le passage en orange ou rouge entraîne une information de la direction générale de l'InVS comprenant une description de la situation météorologique et sanitaire, voire si nécessaire une alerte vers la DGS.

Le dispositif hiver 2008-2009 s'articule autour de deux documents, l'un spécifique aux personnes sans-abri, l'autre plus large pour la protection de la population générale :

- instruction DGAS du 17 octobre 2008 relative au dispositif d'accueil, d'hébergement et d'insertion pour la période hivernale 2008-2009. Ce dispositif s'appuie sur le partenariat avec Météo-France qui fournit quotidiennement des prévisions sur les températures absolues et ressenties pouvant amener les préfets à prendre des mesures d'urgence ;
- circulaire interministérielle n° DSC/DGS/DUS/DGAS/DHOS/2008/320 du 23 octobre 2008 précisant les actions à mettre en œuvre au niveau local pour prévenir et faire face aux conséquences sanitaires propres à la période hivernale. Pour le froid, elle prévoit des recommandations pour la population générale et certains groupes à risque (personnes atteintes de pathologies chroniques, personnes à faibles revenus ayant des difficultés pour se chauffer). Le dispositif s'appuie là encore sur le partenariat avec Météo-France, dans le cadre de la vigilance grand froid. Il inclut une surveillance sanitaire par l'InVS. Une alerte a été lancée en janvier 2009 par la DGS, sur recommandation de l'Institut. Un appel à la vigilance a été lancé par le ministère chargé de la Santé le 10 janvier, en particulier vers les personnes âgées les plus fragiles, chez lesquelles des cas de déshydratations ont été constatés. Des bulletins ont été émis par l'InVS les 6 et 20 janvier, afin de faire le bilan des intoxications au monoxyde de carbone pendant cette vague de froid.

Le tableau 3 résume les différents systèmes existant pendant la période hivernale, soit du 1^{er} novembre au 31 mars.

TABLEAU 3 |

Les différents systèmes de veille hivernale en France de 2003 à 2008

Système	Population cible	Indicateurs	Conditions de déclenchement des mesures de gestion	Fournisseur de données	Ministère/Responsable	Implication de l'InVS
Plan urgence hivernal (PUH), hivers 2003-2004 à 2006-2007	Sans-abri	Température absolue, mesurée sous abri	3 niveaux fondés sur le calendrier (1 ^{er} novembre-31 mars) et les températures absolues (-5 et -10°C), avec des mesures de gestion graduées	Météo-France	DGAS/Préfet	Non
Circulaire relative au dispositif d'accueil, d'hébergement et d'insertion, hiver 2007-2008	Sans-abri	Activité des dispositifs d'hébergement d'urgence et de veille sociale (115, accueils de jour, équipes de maraude), données météo (température, vent)	À l'appréciation du préfet	Ddass, Météo-France	DGAS/Préfet	Non
Circulaire froid janvier 2007	Sans-abri + groupes à risque*	Carte de vigilance + disponibilité en lits d'hôpitaux	Aucun	Météo-France, ARH	DGS/Préfet	Non
Dispositif hiver 2008-2009	Sans-abri + groupes à risque*	Températures ressenties, carte de vigilance	À l'appréciation du préfet	Météo-France	DGS/DGAS/Préfet	Oui, suivi des indicateurs sanitaires
Carte de vigilance, depuis 2004-2005	Population générale, surtout groupes à risque*	Indice de refroidissement éolien (IRE) fonction de la T°C + vitesse vent, associé au jugement d'expert des prévisionnistes.	- Passage en vigilance orange pour j+1 si IRE nuit ≤ -18 et IRE jour négatif - Passage en vigilance rouge si IRE nuit < -25 et IRE jour négatif + IRE j+2 et j+3 négatifs	Météo-France	Météo-France	Oui, participation à l'élaboration des recommandations avec l'Inpes, MF et la DGS
Vigilance météo européenne		Carte inspirée de la vigilance française avec des liens vers les sites nationaux.				Non

* Groupes à risque : personnes souffrant de pathologies chroniques, personnes âgées, jeunes enfants, personnes âgées ou handicapées isolées, personnes ayant des difficultés à se chauffer.

Le tableau 4 résume les différentes informations analysées quotidiennement dans le cadre de la veille hivernale de l'InVS depuis 2003.

TABLEAU 4 |

Informations suivies par l'InVS dans le cadre de la veille hivernale

Informations	Hivers	Utilisation	Origine
Données météorologiques pour une ville sentinelle par département : température absolue, force du vent et indice de température ressentie	2003-04 à 2005-06 2006-07 et 2007-08	Veille et alerte Veille	Météo-France
Départements dans lesquels une alerte "froid" du plan urgence hivernal (PUH) pour les personnes sans-abri a été déclenchée la veille	2003-04 à 2007-08	Veille	Cogic (Centre opérationnel de gestion interministérielle des crises)
Carte de vigilance météorologique	2003-04 à 2008-09	Veille et alerte	Météo-France
Mortalité (détection d'une augmentation de la mortalité au dessus de l'intervalle de fluctuation si une vague de froid est en cours)	2003-04 à 2008-09	Veille	Insee
Morbidité			
Catégorie	Code CIM10	Pathologie	
Hypothermies	T33, T34, T35, T68, T69		Services d'accueil aux urgences (SAU) qui transmettent quotidiennement leurs données à la CCA de l'InVS (réseau de 200 établissements, représentant 35% des passages aux urgences en France)
Angor	I20	Angine de poitrine (ischémie transitoire)	SOS Médecins
Troubles du rythme	I48	Troubles du rythme, fibrillation et flutter auriculaire	
Autres pathologies cardiovasculaires à effet plus retardé que l'angor ou les troubles du rythme	I21/I22 I24 I24.8	Infarctus aigu du myocarde/Infarctus à répétition Thrombose coronaire n'entraînant pas d'infarctus aigu du myocarde Autre forme de cardiopathie ischémique aiguë sans précision (insuffisance coronaire)	
Pathologies neurologiques	I63 I64 G45	Infarctus cérébral AVC non précisé hémorragique ou ischémique Accidents ischémiques transitoires cérébraux et syndromes apparentés	
Pathologies respiratoires à effet immédiat	J45 J46	Asthme État de mal asthmatique	
Intoxications au monoxyde de carbone			InVS via les Ddass qui reçoivent les déclarations des professionnels de santé, travailleurs sociaux, Scls, SAU
	Depuis 2005	Surveillance	

Ainsi, depuis 2003 les initiatives se sont multipliées autour de la veille hivernale, avec des objectifs et des indicateurs différents. Il apparaît essentiel de bien séparer :

- les plans à destination des sans-abris, pour lesquels des critères météorologiques ne sauraient être utilisés isolément ;
- les actions visant à protéger la population générale des effets néfastes du froid. Aujourd'hui, l'information et l'alerte reposent sur la carte de vigilance de Météo-France. La question de la pertinence de développer des seuils alternatifs sur la base d'études épidémiologiques a été posée à l'InVS.

4. Les dispositifs hivernaux à l'étranger

À l'étranger, différents dispositifs sont mis en place en hiver.

Au Canada, l'Indice de refroidissement éolien (IRE) est diffusé à la population par Environnement Canada depuis 1970. Il est accompagné de conseils de comportement. L'objectif principal est d'éviter les gelures liées à la baisse de l'indice de refroidissement éolien. Beaucoup de groupes et d'organisations utilisent également l'information pour ajuster leurs activités extérieures (écoles pour les récréations par exemple). Pour faciliter la communication, les valeurs d'IRE sont communiquées sous forme qualitative, selon l'appartenance de l'IRE à une plage donnée. Ainsi, les classes définies vont d'un indice compris entre 0 et -9 à un indice inférieur à -60. Le niveau d'avertissement commence à partir de la classe -45 à -59 (gelures possibles en quelques minutes), valeurs qui ne sont jamais rencontrées en France.

Aux États-Unis, le Centre for Disease Control diffuse sur son site Internet des conseils de comportement pour lutter contre le froid à l'extérieur et à l'intérieur (chauffage), et des kits de survie pour la maison et les voitures. L'objectif est la promotion de la santé et de la sécurité des personnes.

Au Royaume-Uni, les avertissements concernent les personnes pratiquant une activité en plein air, pour lesquelles il est considéré que le risque d'hypothermie est accru lorsque la température de refroidissement éolien est inférieure à -10°C.

En Finlande, il existe des programmes de formation pour les particuliers et les professionnels (tourisme, travailleurs en extérieur, militaires, médecins, professionnels de santé publique) sur les dangers du froid et les moyens de les prévenir, et des conseils de comportement et d'habillement disponibles sur Internet et sous forme de guides. L'Institut météorologique finlandais produit des alertes du type de celles de la vigilance en France, mais elles ne concernent pas le froid, et sont plutôt orientées l'hiver vers la neige et la glace, en particulier le risque de routes glissantes.

Ces systèmes reposent exclusivement sur de la communication et de la prévention. Il n'existe pas de système d'alerte comparable à ceux qui ont été développés pour les vagues de chaleur dans de nombreux pays. En France, des expériences de bulletins médico-météorologiques ont été tentées il y a plusieurs années par Météo-France avec le Samu de Paris, pour la gestion du risque d'infarctus du myocarde, mais le nombre de fausses alertes était important et le système n'a pas été reconduit (Cohen *et al.* 1989).

Quelles mesures pour protéger la population des effets néfastes du froid ?

Nous avons pu constater au cours des premières années de surveillance hivernale que les alertes lancées (octobre 2003 et février 2004) n'avaient pas été suivies de mesures de contrôle faute de définition préalable d'un plan d'action. Depuis l'hiver 2007-2008, une circulaire "froid exceptionnel" puis un dispositif hivernal plus général intégrant les personnes sans-abri et la population à risque décrit les mesures de gestion et de prévention à mettre en œuvre en cas de froid. La notion de vague de froid est appréciée, pour la population générale, via la carte de vigilance de Météo-France. L'InVS y est chargé de la surveillance des pathologies hivernales, mais sans notion d'alerte. Par conséquent, il paraît essentiel dans une réflexion sur la pertinence d'un système d'alerte "froid et santé" de réfléchir aux mesures correctives devant être entreprises pendant la période hivernale, en distinguant les actions de fond, à long terme, et les actions conjoncturelles à déclencher au moment de l'arrivée d'une vague de froid.

1. Les actions de fond

1.1 LE DROIT AU LOGEMENT OPPOSABLE

Avec la loi du 5 mars 2007 sur le droit au logement opposable (loi n° 2007-290 du 5 mars 2007 instituant le droit au logement opposable et portant diverses mesures en faveur de la cohésion sociale, JO du 6 mars 2007), le droit au logement trouve un cadre juridique qui garantit en 2008 à six catégories prioritaires, un logement digne. L'enjeu, pour l'État, est d'aider à la construction de nouveaux logements, notamment sociaux. Ceci permettrait de mettre à l'abri du froid des personnes sans-abri ou qui risqueraient de le devenir suite à une expulsion. Il ne garanti pas la qualité du logement (isolation, chauffage).

1.2 AMÉLIORATION DE L'HABITAT ET ACCÈS À L'ÉNERGIE

Les améliorations de l'habitat, dont l'isolation, ont longtemps été encouragées par le biais d'incitations financières pour les propriétaires. Elles sont pour l'essentiel dédiées à l'économie d'énergie plus qu'à la lutte contre les effets sanitaires du froid. Les normes d'isolation se sont durcies récemment, avec des obligations portant non plus seulement sur les nouveaux logements (2 % du parc immobilier chaque année) mais aussi sur l'habitat existant.

1.2.1 Mesures portant sur le diagnostic

1.2.1.1 Performance énergétique

Il existe un rapport 2003 de l'Anil (Agence nationale pour l'information sur le logement) conseillant de rendre obligatoire lors de toute transaction immobilière un diagnostic technique du bien, comme cela est le cas dans plusieurs pays européens.

Ces recommandations sont devenues des obligations, et actuellement la performance énergétique du logement doit être systématiquement réalisée par un expert lors de toute vente de bien et lors de la signature d'un nouveau bail de location. Cependant ce diagnostic ne donne pas lieu à des obligations de travaux.

Au Danemark, un diagnostic de performance énergétique doit être effectué par le vendeur. Au Pays de Galle, le "*Seller's Information Pack*" permet un diagnostic préalable à la vente, avec obligation du vendeur d'effectuer les travaux si nécessaire avant la vente.

1.2.1.2 Procédure d'insalubrité

En Angleterre, l'excès de chaud et l'excès de froid font partie des 29 dangers pouvant être évalués dans le cadre d'une procédure d'insalubrité. Les dangers devant être évalués en considérant que le logement est habité par une personne du groupe d'âge le plus vulnérable pour ce danger. En France cette approche par danger n'est pas systématiquement réalisée, il s'agit d'une évaluation globale de l'habitat par les inspecteurs des Ddass, même si l'excès de froid (voire de chaud) peut être pris en compte (Flamand S. 2006).

1.2.2 Mesures portant sur la prévention et le traitement

1.2.2.1 Normes de construction

L'arrêté du 24 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments (NOR : SOCU0610625A) définit par exemple les caractéristiques de l'isolation thermique des parois, des baies, des équipements de chauffage, et la consommation conventionnelle d'énergie d'un bâtiment, en particulier pour le chauffage, sous la forme d'un coefficient exprimé en kWh/m³ d'énergie primaire. Ces coefficients sont calculés annuellement en adoptant des données climatiques conventionnelles pour chaque zone climatique (définies dans l'arrêté).

L'arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants (NOR : SOCU0751906A) concerne en particulier les travaux d'installation ou de remplacement de l'isolation thermique, le chauffage, et le rendement minimum en cas d'utilisation d'installation de chauffage utilisant des énergies renouvelables.

1.2.2.2 Aides publiques

En France :
Le bail à réhabilitation (Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature 2008) est un dispositif de substitution des pouvoirs publics aux propriétaires privés, pour la réhabilitation du bâti. Il permet d'aider la réhabilitation de l'habitat privé et la requalification urbaine des quartiers anciens dégradés, selon le degré de dégradation du bâti, l'importance de l'occupation sociale et la réactivité des propriétaires à s'investir dans un tel projet. Cet outil est encore peu pratiqué mais pourrait permettre d'améliorer les conditions de logement et en particulier leur isolation vis-à-vis du froid.

³ Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Emploi.

Concernant les aides financières d'accès à l'énergie, il est dit que toute personne ou famille éprouvant des difficultés particulières du fait d'une situation de précarité a droit à une aide de la collectivité pour accéder ou préserver son accès à une fourniture d'eau, d'énergie et de services téléphoniques (code de l'action sociale et des familles/CASF : art. L. 115-3). Il existe également un tarif social pour l'électricité (décret du 8.4.04) et pour le gaz (loi votée par le Parlement le 8 novembre 2006). Par ailleurs la loi du 13 juillet 2006 portant "engagement national pour le logement", a institué l'interdiction des coupures durant la période comprise entre le 1^{er} novembre de chaque année et le 15 mars de l'année suivante pour les personnes bénéficiant ou ayant bénéficié, dans les douze mois précédents, d'une aide du Fonds de solidarité pour le logement (FSL).

Il existe par ailleurs une prime fioul (communiqué du Minefe² du 4.12.07 et décret du 15.1.08 : JO du 17.1.08) pour les ménages non imposables, doublée fin 2007 suite à l'augmentation du prix de ce combustible, ainsi qu'un fond social pour le chauffage des ménages (loi de finances rectificative 2007 du 25.12.07 et décret du 26.12.07 : JO du 28.12.07).

Concernant l'amélioration de l'isolation, la CAF (Caisse d'allocations familiales) peut octroyer aux occupants d'un logement des prêts pour l'amélioration de l'habitat, en particulier pour des travaux d'amélioration du chauffage et de l'isolation thermique de la résidence principale d'une famille bénéficiant d'au moins une prestation familiale. www.caf.fr/wps/portal/particuliers/catalogue/metropole/pah

Les propriétaires quant à eux (occupants ou bailleurs) peuvent bénéficier d'aides de l'Anah (Agence nationale de l'habitat) afin de financer une partie des travaux d'isolation ou de chauffage. Pour les propriétaires occupants, la prime est donnée en fonction d'un plafond de ressource, avec une priorité pour les très bas revenus. Elle peut être complétée par une éco-prime de 1 000 € accordée dans le cadre de la politique de l'Anah en faveur de la lutte contre la précarité énergétique. Pour l'obtenir, deux conditions doivent être remplies : à l'occasion de l'évaluation thermique effectuée avant les travaux, le logement doit être classé en étiquette F ou G. Après travaux, le gain énergétique doit être d'au moins 30 % sur la consommation conventionnelle. Le même type d'éco-prime peut être donné aux propriétaires bailleurs moyennant des conditions de gain énergétique et conventionnement social.

Les travaux pouvant être subventionnés concernent en particulier l'isolation thermique des parois opaques donnant sur l'extérieur ou sur des locaux non chauffés, la création d'une installation de chauffage, ou l'installation de systèmes à usage domestique utilisant les énergies nouvelles ou renouvelables (géothermie, énergie solaire ou éolienne). www.anah.fr/fileadmin/fichiers/Les_aides/Guide_Aides_Anah.pdf

Enfin, depuis 2005, les locataires et propriétaires peuvent bénéficier d'un crédit d'impôt de 15 à 50 % pour certaines installations effectuées dans leur résidence principale en faveur du développement durable (chaudière basse température, matériaux d'isolation thermique, etc.). www.impots.gouv.fr/portal/dgi/public?paf_dm=popup&paf_gm=content&espld=1&typePage=cpr02&paf_gear_id=500018&docOid=documentstandard_2571

À l'étranger :

Au Royaume-Uni, la campagne hivernale annuelle "Keep Warm Keep Well" (Department of Health 2007 et 2009) a pour objectif d'aider les personnes âgées ou handicapées à faibles revenus, ainsi que les personnes qui s'en occupent, et les familles modestes avec de jeunes enfants. Elle leur fournit des informations sur les bénéfices pour la santé à se tenir au chaud en hiver, des conseils pour se nourrir sainement et faire de l'exercice, pour chauffer leur maison efficacement, ainsi que des précisions sur les aides financières disponibles. Ces aides, assurées par le "Warm Front" qui est financé par le gouvernement, ont pour but d'améliorer l'isolation et le chauffage pour les propriétaires ou locataires du secteur privé. Cette campagne hivernale rassemble l'ensemble des informations disponibles sur la protection contre le froid pour les personnes démunies.

Cette initiative, lancée en 2000, a été évaluée et a pu montrer dans les habitations concernées une diminution de l'humidité relative, de la condensation et des moisissures visibles, une amélioration du bien-être mental et une réduction de la vulnérabilité à la mortalité hivernale liée au froid par maladie cardiovasculaire (OMS 2008b, Over50s web site).

1.2.2.3 Réglementation : la trêve hivernale

Les personnes non solvables ne peuvent pas être expulsées de leur logement pendant la période de l'hiver légal, c'est-à-dire entre le 1^{er} novembre et le 15 mars, sauf si un relogement décent pour l'occupant et sa famille est proposé, si les locaux, menaçant de tomber en ruine, font l'objet d'un arrêté de péril, ou si les personnes dont l'expulsion a été ordonnée sont entrées dans les locaux par voie de fait (squatters).

1.3 PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DE CES MESURES

Le PNSE2 (Plan national santé environnement) prévoit une meilleure conciliation entre économies d'énergie et qualité de l'air intérieur, avec des objectifs de réduction de la consommation énergétique dans les bâtiments neufs et anciens, passant par des mesures liées à la conception architecturale, l'isolation de l'enveloppe et les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation avec en particulier une incitation forte pour l'utilisation de la biomasse comme combustible. Ces mesures pourront permettre une réduction des coûts liés au chauffage pour les personnes à faible revenu et un meilleur confort thermique dans les logements. Par ailleurs, le PNSE2 fait état des constatations suivantes : "Certaines personnes connaissent une vulnérabilité sociale, économique et environnementale qui les empêchent de se chauffer convenablement et/ou de payer leurs factures d'énergie. Selon l'étude SILC, 6,2 % (1 578 000 ménages) des ménages considèrent ne pas être en capacité de payer pour garder leur logement chaud, 12,2 % (3 millions de ménages) affirment avoir de l'humidité et de la moisissure à l'intérieur de leur logement et 6,4 % (1 641 000 ménages) disent avoir été en impayé de facture durant les 12 derniers mois. La gestion des inégalités sociales nécessite de lutter contre la précarité énergétique." (EPEE 2005). L'action 2.4-3 prévoit ainsi une assistance technique pour le choix des travaux, des subventions pour la réhabilitation de l'habitat, des incitations pour les bailleurs privés, une meilleure prise en compte de la gestion spécifique des copropriétés pour faciliter les travaux d'isolation dans les immeubles vétustes.

Par ailleurs, le dernier rapport de l'OMS Europe (OMS 2008b) souligne bien que l'utilisation de combustible fossile solide pour le chauffage représente un risque d'intoxication au monoxyde de carbone et une menace de santé publique importante dans 14 des 53 pays de la région Europe, et que certaines populations sont confrontées à ce problème dans au moins six pays supplémentaires. Ce type de chauffage serait responsable de 13 000 décès parmi les enfants de 0 à 4 ans en 2004, tandis que 9 000 vies pourraient être sauvées chaque année si les ménages avaient la possibilité de passer à des sources d'énergie plus propre de type liquide ou gazeux. Comme cela a été dit dans la première partie, le froid n'est pas la seule cause d'intoxication au monoxyde de carbone, et les types de temps responsables d'un mauvais fonctionnement des appareils de chauffage utilisant du combustible fossile solide sont divers. Cependant, le froid augmente le recours aux appareils de chauffage d'appoint, souvent mal ou pas entretenus et donc susceptibles d'émettre du monoxyde de carbone. Par ailleurs, les personnes à faible revenu ont souvent du mal à payer leur chauffage et s'exposent donc à l'intérieur à des températures froides ne leur permettant pas de récupérer du froid extérieur. De plus ces difficultés financières réduisent les possibilités d'entretien de l'appareil de chauffage (réglage de la combustion, ramonage des conduits) ce qui augmente le risque d'intoxication au monoxyde de carbone.

L'accès à une énergie propre, accessible financièrement et fiable est un aspect fondamental de protection de la santé publique, qui entre dans les huit objectifs du *Millennium Development Goals* (www.un.org/millenniumgoals/).

1.4 COMMENT ÉVALUER LES ACTIONS DE FOND ?

L'impact du froid sur la santé est défini à partir de mesures de température réalisées au niveau des stations météorologiques. Cependant, aucune étude n'a permis de mesurer un impact sanitaire du froid à l'intérieur des habitations.

Il serait donc intéressant de pouvoir évaluer l'impact du froid à l'intérieur des logements, ainsi que l'impact d'éventuelles mesures d'isolation ou d'accès à un meilleur chauffage, en comparant la mortalité et la morbidité des personnes vivant dans différents types de logements : isolés (normes actuelles)/non isolés, chauffés/mal ou non chauffés, à partir de mesures de la température intérieure, fonction à la fois de l'isolation et du chauffage.

Cela pourrait s'envisager dans le cadre de l'OQAI (observatoire sur la qualité de l'air intérieur), en profitant d'une future campagne de mesure pour faire des relevés de température et de qualité d'isolation, ou *via* le suivi d'une cohorte.

Par ailleurs, un rapport de la banque mondiale, paru en 2003 (Lampietti *et al.* 2003), et concernant les pays d'Europe de l'est et d'Asie centrale, insiste sur l'importance d'acquérir une bonne connaissance de la demande énergétique et du budget que le chauffage représente, en particulier chez les plus pauvres, afin de mieux évaluer les avantages et désavantages des différentes options à prendre et d'identifier les politiques les plus acceptables aux plans social, fiscal et environnemental. Parmi les solutions proposées, des subventions basées sur les prix de l'énergie afin de permettre l'accès des plus pauvres à une énergie propre, *via* les réseaux de

distribution urbains mais également *via* les moyens de chauffage individuels, et une politique permettant l'isolation des bâtiments afin de diminuer les dépenses énergétiques.

2. Les actions conjoncturelles

Ces mesures doivent être prises au moment de l'arrivée d'une vague de froid.

2.1 QUELLES SONT CES ACTIONS ?

Pour les personnes en situation de grande précarité, elles consistent en l'ouverture de centres d'hébergement, associée à des maraudes permettant le repérage des personnes sans-abri et à des campagnes d'information publique incitant leur signalement aux autorités sanitaires.

Pour la population générale, il s'agit de comportements individuels et collectifs faisant l'objet de campagnes d'information de la population déclenchées avant et pendant une vague de froid.

- Éviter les activités en plein air lorsque les températures sont basses.
Ce conseil est particulièrement utile pour les personnes présentant des affections respiratoires ou cardiovasculaires chroniques, ainsi que pour les travailleurs en extérieur.

- Chauffer les domiciles et les véhicules.
Cette mesure nécessite :
 - une information en cas de froid extrême, en particulier pour les personnes qui utilisent leur véhicule particulier. Il peut s'accompagner de conseils complémentaires en cas de prévision de fortes chutes de neige, ce qui est déjà le cas ;
 - la possibilité pour les plus démunis de pouvoir conserver un accès à l'énergie tout l'hiver, et même à l'automne et au printemps où les températures peuvent être suffisamment froides pour entraîner des risques pour la santé, donc ne pas leur couper l'accès à l'énergie.

- Porter des habits chauds et ne pas laisser la tête et les mains découvertes.
Une étude de Donaldson *et al.* (2001) a montré qu'en Europe, bien que l'isolation thermique et le nombre de vêtements augmentaient par temps froid, venteux, en cas de moindre activité physique et lors de périodes prolongées à l'extérieur, la différence géographique de mortalité liée au froid était corrélée au nombre de vêtements et à l'isolation vestimentaire contre le froid.

Au quotidien, le port de gants et de bonnet pour éviter la déperdition de chaleur, très importante au niveau des extrémités et surtout de la tête, est à recommander fortement, ainsi que l'adaptation de la tenue vestimentaire lors des activités en extérieur (sportives ou professionnelles), afin de maintenir le confort thermique et de limiter le risque d'hypothermie et de gelures des extrémités.

- Avoir un apport calorique suffisant, consommer des boissons chaudes non alcoolisées.
- Adapter les traitements médicamenteux.

2.2 QUELS SONT LES VECTEURS D'INFORMATION LES PLUS APPROPRIÉS POUR CES MESURES ?

Jusqu'en 2006, il existait un Plan urgence hivernal (PUH) pour les personnes sans-abri, décliné en trois niveaux selon les températures prévues par Météo-France, avec des seuils thermiques différents et des mesures adaptées pour les niveaux 2 et 3, et un premier niveau de veille saisonnière.

À partir de l'hiver 2007-2008, la circulaire "DGAS/1A/LCE/2007/ du octobre 2007 relative au dispositif d'accueil, d'hébergement et d'insertion – Période hivernale 2007 – 2008" précisait que les températures ne constitueront plus qu'un élément d'information, et que les préfets auront la responsabilité de prendre les mesures qui s'imposent et d'ajuster les capacités nécessaires en fonction de leur appréciation de la réalité locale. Dans ce cadre, ils peuvent définir des niveaux de mobilisation correspondant à des engagements de moyens adaptés et, pour le niveau de mobilisation le plus élevé, à une gestion de crise.

Par ailleurs, depuis l'hiver 2006-2007 une circulaire "relative à la protection de la population en cas de froid exceptionnel", a été mise en œuvre pour la population générale (circulaire interministérielle N° DSC/DGS/DUS/DGAS/DHOS/2008/320 du 23 octobre 2008 précisant les actions à mettre en œuvre au niveau local pour prévenir et faire face aux conséquences sanitaires propres à la période hivernale). Elle concerne plus spécifiquement certains groupes de population plus vulnérables vis-à-vis du froid.

- Les personnes ne pouvant s'abriter du froid (sans-abri, personnes demeurant dans des logements mal chauffés ou mal isolés notamment).
- Les personnes présentant une défense physiologique vis-à-vis du froid moins efficace :
 - les enfants (rapport surface/masse corporelle plus élevé favorisant les déperditions thermiques);
 - les personnes âgées (diminution du métabolisme de base et mauvaise perception de la température) et;
 - les personnes présentant certaines pathologies chroniques préexistantes cardiovasculaires, respiratoires ou endocriniennes (diabète, hypothyroïdie, insuffisance surrénalienne).

Les actions décrites dans cette circulaire sont déclinées par le préfet de département en fonction de son appréciation de la situation locale, l'aide à la décision météorologique étant constitué par la carte de vigilance et par les prévisions à trois jours des températures absolues et ressenties. Ils ont la responsabilité de mettre en œuvre le plan d'alerte et d'urgence prévu par la loi n° 2004-626 du 30 juin 2004 relative à la solidarité pour l'autonomie des personnes âgées et des personnes handicapées.

Leur action consiste, dès l'annonce de l'arrivée d'une vague de froid exceptionnel et pendant toute la vague, à relayer les messages de prévention et les appels à la mobilisation et à la solidarité auprès du grand public, mais aussi auprès des collectivités locales et des partenaires associatifs et professionnels, afin que les publics fragiles soient effectivement touchés.

Ils doivent également s'assurer du suivi, et en cas de besoin, de la prise en charge des personnes âgées isolées ou handicapées, et des familles habitant des logements très mal chauffés. Ils doivent notamment

mobiliser tous les acteurs locaux de l'État, du Conseil général, des mairies, des associations et des structures professionnelles.

Afin de guider l'action des services sanitaires et sociaux en faveur de ces personnes fragiles et isolées à domicile, les mairies disposent de registres nominatifs, conformément à un décret du 1^{er} septembre 2004 pris en application de cette loi. Les collectivités locales disposent également des informations des services sociaux, notamment des Centres communaux d'action sociale (CCAS).

L'efficacité devra cependant être évaluée, à la fois en ce qui concerne leur mise en œuvre effective et leur efficacité pour réduire l'impact du froid. Cette évaluation nécessitera que les acteurs soient confrontés à une ou plusieurs vagues de froid.

En ce qui concerne l'information de la population des dangers liés au froid et des moyens de s'en protéger, l'information est relayée par plusieurs vecteurs :

- une information saisonnière en début d'hiver (messages Inpes, sites Internet de l'InVS et du ministère de la santé);
- un rappel de ces informations en cours d'hiver, lorsque Météo-France prévoit l'arrivée d'une vague de froid. La carte de vigilance est alors un media efficace et approprié, ainsi que les appels à la vigilance du ministère chargé de la Santé et localement des préfets et des maires.

Hormis pour la canicule, où le circuit de l'alerte est complexe, pour tous les autres phénomènes météorologiques (fortes pluies, orages, vents violents, avalanches, neige/verglas), Météo-France réalise son expertise météorologique et, après concertation avec les partenaires concernés (sécurité civile en particulier), fait passer sa carte de vigilance en jaune, orange ou rouge selon l'intensité du phénomène et l'accompagne de bulletins de suivi vers les professionnels concernés. Ces bulletins sont également disponibles pour le public via la carte de vigilance du site Internet de Météo-France. Ils sont repris par les présentateurs météo sur les chaînes de télévision ou de radio, avec les messages de prévention appropriés. Ce moyen de diffusion de l'information, très large et bien connu du grand public (83 % des personnes interrogées connaît la carte de vigilance selon une enquête du Credoc 2007), paraît tout à fait approprié pour le froid extrême. Ce critère est d'ailleurs déjà intégré dans la vigilance météorologique et permet une information rapide, simple et largement diffusée vers la population générale.

Par ailleurs la commission "santé-biométéorologie" du Conseil supérieur de la météorologie a discuté en octobre 2008 de l'opportunité pour Météo-France d'alerter la population, non seulement en cas de froid extrême, comme cela peut être le cas par la carte de vigilance, mais également en cas de vague de froid plus modeste, comme il s'en produit deux ou trois par hiver, et qui devraient alors être définies selon d'autres critères météorologiques. Cela permettrait de transmettre des messages de recommandation à la population pour des températures moins extrêmes que celles prévues actuellement dans le cadre de la vigilance, par exemple via une vigilance jaune.

Cela nécessiterait d'avoir des indicateurs et des seuils d'alerte sans doute différents de ceux du grand froid (indice de refroidissement éolien de -18 °C la nuit et négatif le jour pour une vigilance orange). La partie suivante sera donc consacrée à la recherche d'un indicateur et de seuils prédictifs d'un impact sanitaire, et surtout à examiner quelle utilisation pourrait être faite d'un tel indicateur et des seuils correspondants dans un dispositif d'alerte éventuel.

3. Conclusion

Cette deuxième partie a montré que les mesures l'importance des mesures de fond, qui ne doivent pas être prises suite à une alerte mais, de par leur inertie, bien avant l'hiver et sur le long terme. Il s'agit de mesures sociales dont l'impact positif ne concerne pas seulement la protection contre le froid, mais contre l'insalubrité de l'habitat en général.

Par ailleurs les mesures conjoncturelles lors d'épisodes froids sont peu nombreuses, et centrées pour l'essentiel autour de la

communication de conseils de comportement. Elles ne nécessitent pas la mise en place d'un système d'alerte sur le modèle du Système d'alerte canicule et santé (Sacs) tel que mis en place en 2004, mais une simple information du public lors de pics de froid, le meilleur vecteur pour cette information étant la carte de vigilance de Météo-France. Cependant, un indicateur et des seuils prédictifs d'un impact sanitaire pourraient permettre de mieux définir une vague de froid (en dehors des grands extrêmes actuellement mis en évidence par la carte de vigilance), donc de diffuser les messages de prévention pendant ces épisodes, et par suite de cerner les périodes de surveillance sanitaire et d'analyse d'impact.

Quel indicateur, quels seuils et pour quels objectifs ?

1. Mise en évidence d'un indicateur et de seuils prédictifs d'un impact sanitaire

1.1 MATÉRIEL ET MÉTHODE

1.1.1 Population et zone d'étude

Pour l'identification d'un indicateur biométéorologique et de seuils prédictifs d'un impact sanitaire, nous avons retenu d'une part Paris et petite couronne (départements 75, 92, 93 et 94), dénommée dans ce rapport Paris-PC, et d'autre part la commune de Marseille. Ces deux grandes agglomérations ont été sélectionnées pour leurs différences climatiques : climat océanique dégradé pour Paris et climat méditerranéen pour Marseille. Les populations de ces départements étaient, lors du recensement de 1999, estimées à 2 123 686 habitants à Paris, 1 427 888 habitants dans le 92, 1 383 319 habitants dans le 93, et 1 227 030 habitants dans le 94, soit en tout 6 161 923 habitants. À Marseille, la population était estimée à 797 491 habitants lors du recensement de 1999.

1.1.2 Période d'étude

La période d'étude s'étend du 29 octobre 1984 au 31 décembre 2003. De manière générale, pour une meilleure analyse, la période d'étude

retenue doit être la plus longue possible. Celle-ci était cependant limitée à la période de disponibilité des données de grippe.

La période de la canicule de 2003 (1 au 20 août 2003) qui se distingue par des niveaux de températures exceptionnelles et par une très forte surmortalité, a été exclue des analyses.

La période hivernale est définie du 1^{er} novembre au 30 avril, au cours de laquelle selon Météo-France sont susceptibles de se produire des vagues de froid.

1.1.3 Données

Pour chacune des deux agglomérations, des données météorologiques et sanitaires ont été analysées.

1.1.3.1 Données météorologiques

Pour chaque agglomération, les données journalières concernant les valeurs minimales et maximales des températures, des vitesses du vent et des humidités relatives trihoraires ont été obtenues auprès de Météo-France.

Les données météorologiques recueillies sont résumées dans le tableau 5.

| TABLEAU 5 |

Les données météorologiques

Paramètre	Symbole	Caractéristiques
Température minimale et maximale	Tmin/Tmax	Valeurs minimales et maximales des températures trihoraires (en degré Celsius) relevées sous abri entre J00 UTC* et J 21 UTC
Humidité relative minimale et maximale	Umin/Umax	Valeurs minimales et maximales des humidités relatives trihoraires (en %) relevées entre J00 UTC* et J 21 UTC
Vitesse du vent minimale et maximale	FFmin/FFmax	Valeurs minimales et maximales des vitesses du vent trihoraires (en m/s) relevées entre J00 UTC* et J 21 UTC

* UTC = Coordinated Universal Time (temps universel coordonné). Il s'agit d'une échelle de temps adoptée comme base du temps civil international par un grand nombre de pays. En France, le temps légal est en avance de deux heures sur le temps UTC en été, et d'une heure en hiver.

1.1.3.2 Données sanitaires

Les données sanitaires étudiées sont le nombre journalier de décès tous âges et toutes causes, enregistré dans la zone d'étude. Les décès enregistrés concernent uniquement les décès qui ont eu lieu dans la commune. Ce choix a été fait car la commune de décès est sans doute plus représentative de l'exposition au froid subie par le patient avant son décès, que la commune de résidence qui peut différer si le sujet n'est pas dans son domicile habituel au moment du décès. Ces données ont été obtenues auprès du CépiDC (Inserm).

Un indicateur d'activité grippale a été pris en compte comme facteur de confusion. Les données relatives aux épidémies de grippe (estimation du nombre de cas hebdomadaires par région) ont été obtenues auprès du réseau Sentinelle®. Pour chacune des deux zones d'étude, les données hebdomadaires de grippe ont été recueillies et divisées par sept afin d'obtenir des données journalières moyennes pour chaque semaine.

1.1.4 Analyses statistiques

1.1.4.1 Schéma de l'étude

Suite à la canicule exceptionnelle de l'été 2003, l'InVS a défini un Système d'alerte canicule et santé (Sacs) (Laaidi *et al.* 2004, Pascal *et al.* 2006). Ce système d'alerte est fondé sur la surveillance d'un indicateur biométéorologique pouvant être lié à une forte surmortalité quotidienne en cas d'atteinte ou de dépassement de valeurs seuils. Plusieurs étapes ont été nécessaires à la conception du Sacs :

- à partir des données de la littérature, des indicateurs biométéorologiques susceptibles d'accroître la mortalité ont été identifiés ;
- ces différents indicateurs biométéorologiques ont été testés en relation avec différents pourcentages de surmortalité à l'aide de courbes ROC (Receiver Operating Characteristic curves) ;
- des seuils biométéorologiques associés à l'indicateur biométéorologique retenu ont alors été définis dans les plus grandes villes françaises, en fonction de critères de spécificité et de sensibilité, puis étendus à l'ensemble du territoire métropolitain.

La relation entre les indicateurs biométéorologiques et la surmortalité journalière est très sensible à la méthode utilisée pour estimer la surmortalité journalière. Dans le Sacs, la surmortalité journalière pendant la période estivale a été obtenue en comparant quotidiennement le nombre de décès observés avec la moyenne du nombre de décès observés sur les trois années précédentes. Cette méthode d'estimation de la surmortalité ne peut pas se transposer à l'estimation de la surmortalité hivernale liée aux conditions météorologiques. En effet, en hiver, la variabilité de la mortalité est plus importante que celle observée pendant l'été. Cette variabilité est liée en partie à des événements temporels (tendance, saisonnalité) et à des événements identifiés (par exemple la grippe) qui peuvent être indépendants des conditions climatiques. Ne pas prendre en compte ces événements dans le calcul de la surmortalité reviendrait à considérer que tous les dépassements de seuils de surmortalité sont dus à des causes météorologiques, ce qui est évidemment faux. Pour remédier à ce problème, les événements temporels et la grippe seront pris en compte dans l'estimation de la surmortalité hivernale liée aux conditions météorologiques.

La démarche générale est ainsi la suivante :

- pour chacune des deux agglomérations étudiées, un modèle d'estimation de la mortalité à partir des paramètres météorologiques est construit. Ce modèle permet d'estimer la surmortalité journalière liée aux conditions météorologiques. Il est construit sur des années entières : la période de la canicule de 2003 (1 au 20 août 2003) qui se distingue par des niveaux de températures exceptionnelles et par une très forte surmortalité, a donc été exclue des analyses ;
- différents indicateurs biométéorologiques sont alors testés en relation avec différents pourcentages de surmortalité à l'aide de courbes ROC. Le seuil associé à l'indicateur biométéorologique retenu est choisi en fonction de critères de sensibilité et de spécificité.

1.1.4.2 Construction du modèle d'estimation et calcul de la surmortalité

La modélisation du nombre journalier de décès à partir des paramètres météorologiques est réalisée un Modèle additif généralisé (GAM). Extension du Modèle linéaire généralisé, le GAM recourt à des fonctions de lissage qui permettent d'appréhender avec peu d'*a priori* la forme de la relation entre la variable sanitaire Y et les variables explicatives X_1, \dots, X_p . Ce modèle peut s'écrire de la manière suivante :

$$g(E[Y_t]) = \alpha + \sum_{j=1}^p S_j(X_{tj})$$

où g est une fonction de lien (monotone et différentiable), E désigne l'espérance, Y_t est la variable sanitaire à estimer au temps t , α est une constante, S_j est une fonction de lissage et X_{tj} est la valeur de la variable prédictive X_j au temps t .

L'indicateur sanitaire est le nombre journalier de décès, qui se caractérise d'une part par un faible effectif journalier, et d'autre part par une sur-dispersion des valeurs observées. Afin de prendre en compte ces caractéristiques, la série du nombre journalier de décès est supposée suivre un processus non-stationnaire de Poisson sur-dispersé. Pour des raisons liées au calcul de la vraisemblance, il est d'usage d'attribuer à la fonction de lien g , la forme d'une fonction logarithme népérien (l'expression de la loi de Poisson s'accorde bien à la forme logarithmique du lien en simplifiant le calcul de la vraisemblance).

Le compte journalier de décès a été régressé sur les paramètres météorologiques, en contrôlant un ensemble de facteurs de confusion : la tendance à long terme, les variations saisonnières, la grippe et les jours de la semaine. La modélisation du temps par une fonction spline pénalisée va permettre de contrôler la tendance et les variations saisonnières. Le paramètre de lissage de cette fonction spline a été sélectionné de façon à minimiser la somme des autocorrélations partielles des résidus. La variable grippe a été introduite dans le modèle sous forme de fonctions splines à 3 degrés de liberté et a été ajustée sur différents jours de décalage afin de prédire au mieux les valeurs extrêmes de la variable sanitaire contemporaines de la période d'épidémie grippale. La variable grippe a donc été introduite dans le modèle avec différents décalages ou jours de retard. Cela ne permet pas une exploitation du modèle pour réaliser des prédictions de la mortalité en routine, ce qui n'est pas son objectif, mais permet d'estimer une surmortalité.

Par ailleurs, pour cette analyse, nous avons utilisé les variables météorologiques (température minimale et maximale, humidité relative minimale et maximale, vitesse du vent minimale et maximale) sur plusieurs décalages simultanément (variables météorologiques du jour, mais aussi des jours précédents). L'ensemble de ces variables météorologiques a été modélisé à l'aide de fonctions splines pénalisées afin de prendre en compte une éventuelle non-linéarité entre la variable sanitaire et les variables météorologiques. Le choix des variables météorologiques, des différents décalages (un à plusieurs jours) était fondé sur le critère d'Akaike (Akaike 1973). Les paramètres de lissage des fonctions splines pénalisées des variables météorologiques ont été sélectionnés à l'aide du critère GCV (Generalized Cross Validation).

Le modèle a été validé par un ensemble d'outils statistiques et graphiques :

- la fonction d'autocorrélation partielle des résidus (PACF) permet de s'assurer que les résidus sont bien assimilés à un bruit blanc ;
- l'observation du graphe des résidus permet de vérifier qu'il ne persiste pas, après modélisation, une structure particulière (tendance, saisonnalité) ;
- la comparaison du graphe de la série prédite par le modèle et du graphe de la série observée permet de juger de la qualité de la modélisation.

Enfin, le critère d'Akaike aide à faire un choix entre différents modèles : le modèle retenu est celui qui présente l'AIC le plus faible.

Le modèle final a été estimé en utilisant la procédure GAM implémentée dans la boîte à outil MGCV du logiciel R (R Development Core Team (2004), Wood (2001)).

La surmortalité journalière hivernale liée aux conditions météorologiques a été estimée en comparant l'effectif des décès estimé à partir des paramètres météorologiques observés le jour même et les jours précédents, à l'effectif des décès "attendu" si les paramètres météorologiques étaient égaux aux moyennes des paramètres météorologiques observés pendant les périodes hivernales de 1984 à 2003. Le calcul de la surmortalité journalière hivernale liée aux conditions météorologiques est donc donné par la formule :

$$s_{[i,j]} = 100 \times \frac{\hat{mortalité}[i,j] - \hat{référence}[i,j]}{\hat{référence}[i,j]}$$

Où i représente un jour et j une année, $\hat{mortalité}[i,j]$ est l'estimation du nombre de décès du jour i de l'année j et $\hat{référence}[i,j]$ est la mortalité de référence du jour i de l'année j , c'est-à-dire le nombre

de décès estimé si les paramètres météorologiques étaient égaux aux moyennes saisonnières.

Pour un jour donné, les estimations du nombre de décès et de la mortalité de référence sont les résultats du modèle construit précédemment. Les estimations du nombre de décès à partir des paramètres météorologiques sont issues du modèle additif généralisé précédent qui prend en compte des facteurs de confusion et des événements temporels comme la tendance et la saisonnalité. Par conséquent, la surmortalité estimée ici est celle liée aux conditions météorologiques.

1.1.4.3 Identification de l'indicateur biométéorologique et recherche du seuil associé

Plusieurs indicateurs biométéorologiques ont été testés. Ils sont résumés dans le tableau 6.

TABLEAU 6

Caractéristiques des indicateurs biométéorologiques retenus pour les tests

Indicateur	Symbole	Commentaire
Température minimale	Tmin	Valeur minimale des températures trihoraires relevées sous abri entre J00 UTC et J21 UTC
Température minimale et maximale	Tminmax	Indicateur mixte associant les températures minimales et maximales
Indice de refroidissement éolien minimal	IREmin	Indicateur associant la température et la force du vent L'indice de refroidissement éolien, traduit la sensation de refroidissement du visage nu exposé au vent et correspond également à la température ressentie. La formule de l'indice de refroidissement éolien (IRE) est donnée par : $IRE = 13,12 + 0,6215 * T - 11,37 * V^{0,16} + 0,3965 * T * V^{0,16}$ où T est la température et V est la force du vent L'indice de refroidissement minimal (IREmin) est la valeur minimale des 8 indices de refroidissement éolien trihoraires de J00 UTC à J21 UTC
Indice de refroidissement éolien maximal	IREmax	Valeur maximale des 8 indices de refroidissement éolien trihoraires de J00 UTC à J21 UTC
Indice de refroidissement éolien minimal et maximal	IREminmax	Indicateur mixte associant l'indice de refroidissement éolien minimal et maximal

L'indicateur retenu en premier lieu pour les tests est la température minimale, qui est l'indicateur le plus simple pour exprimer la notion de froid. Il a été choisi de retenir le minimum des températures trihoraires, plutôt que la température minimale, cette dernière étant enregistrée sur une plage horaire qui ne correspond pas à la journée (entre J-1 18h00 UTC et J 18h00 UTC).

L'indice de refroidissement éolien (IRE) a été utilisé car il intègre la notion de vent, celui-ci engendrant, pour une même température, une sensation de froid d'autant plus importante que la vitesse du vent est élevée.

Comme pour les températures et pour la même raison, il a été décidé de retenir les valeurs minimales ou maximales des 8 indices de refroidissement éolien trihoraires de J00 UTC à J21 UTC, plutôt que les indices *minima* et *maxima* calculés à partir de températures et vitesses de vent correspondant à des plages horaires différentes de la journée.

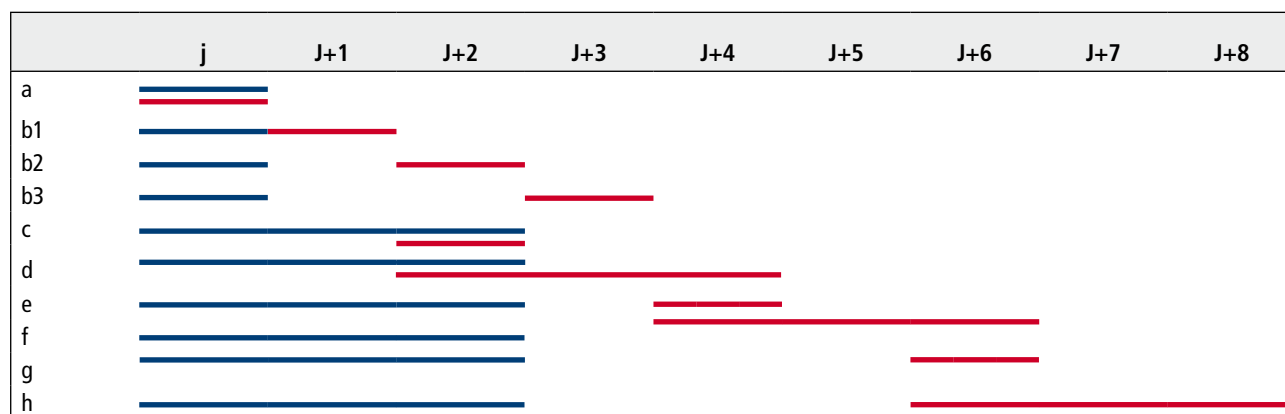
Par ailleurs deux indicateurs mixtes ont été construits associant à la fois des valeurs minimales et maximales (pour les températures et les IRE) afin d'intégrer la notion de durée du froid sur la nuit et la journée.

Ces différents indicateurs biométéorologiques ont été testés en lien avec différents niveaux de surmortalité (10 et 15 %). Afin de prendre en compte la persistance de la vague de froid ainsi qu'un décalage entre pic thermique et pic de décès, les associations suivantes entre indicateurs biométéorologiques et niveaux de surmortalité ont été testées :

- a. indicateur biométéorologique quotidien, associé à un niveau de surmortalité du même jour;
- b. indicateur biométéorologique quotidien, associé à un niveau de surmortalité décalée de 1, 2, 3 jours (b_1, b_2, b_3);
- c. indicateur biométéorologique cumulé sur les jours J, J+1, J+2 associé au niveau de surmortalité du jour J+2;
- d. indicateur biométéorologique cumulé sur les jours J, J+1, J+2 associé à un niveau de surmortalité cumulée sur les jours J+2, J+3, J+4;

- e. indicateur biométéorologique cumulé sur les jours J, J+1, J+2 associé au niveau de surmortalité du jour J+4;
- f. indicateur biométéorologique cumulé sur les jours J, J+1, J+2 associé à un niveau de surmortalité cumulée sur les jours J+4, J+5, J+6;
- g. indicateur biométéorologique cumulé sur les jours J, J+1, J+2 associé au niveau de surmortalité du jour J+6;
- h. indicateur biométéorologique cumulé sur les jours J, J+1, J+2 associé à un niveau de surmortalité cumulée sur les jours J+6, J+7, J+8.

Ces tests peuvent être résumés selon un code couleur : en bleu l'exposition au froid, en rouge l'impact (surmortalité). Exposition et surmortalité peuvent être considérées sur une seule journée ou cumulées sur trois jours, concomitants ou décalés.



Afin de choisir l'indicateur et le seuil approprié, des tests ont été menés dans chaque agglomération pour différents seuils de surmortalité. Un test consiste à calculer pour différentes valeurs possibles de seuils de l'indicateur biométéorologique, le nombre total de dépassement du seuil en distinguant les "vrais positifs" (dépassement du seuil biométéorologique associé à un dépassement du seuil de surmortalité),

les "faux positifs" (dépassement du seuil biométéorologique non associé à un dépassement du seuil de surmortalité) et les "faux négatifs" (dépassement du seuil de surmortalité non associé à un dépassement du seuil biométéorologique). Les résultats des tests des indicateurs ont donné lieu à des calculs de sensibilité (Se), de spécificité (Sp), de valeur prédictive positive (VPP) et de valeur prédictive négative (VPN).

	Dépassement du seuil de surmortalité	Non dépassement du seuil de surmortalité
Dépassement du seuil biométéorologique	Nv : nombre de vraies alertes (vrai positif)	Nf : nombre de fausses alertes (faux positif)
Non dépassement du seuil biométéorologique	Nr : nombre d'alertes ratées (faux négatif)	vn : vrai négatif

La sensibilité et la spécificité dépendent uniquement de la qualité du test, l'idéal étant de disposer d'un test ayant une sensibilité de 1 et une spécificité de 1. Il s'agit d'un idéal théorique, et, en pratique, il faut le plus souvent trouver un compromis entre le manque de sensibilité (le nombre de dépassements de seuil de surmortalité non détectés i.e. de faux négatifs) et le manque de spécificité (le nombre de faux positifs). De manière graphique, ceci peut être représenté sur une courbe ROC (Receiver Operating Characteristic curves). L'utilisation de ce type de courbe permet de juger les performances des indicateurs, pour l'ensemble des seuils possibles.

Le seuil de l'indicateur biométéorologique retenu a été estimé en minimisant le nombre de faux négatifs tout en essayant de maintenir

un niveau "raisonnable" de faux positifs. Les critères suivants ont été retenus en se plaçant dans l'hypothèse où l'indicateur serait utilisé pour déclencher des alertes :

- le nombre de faux positifs (fausses alertes) ne doit pas être trop important, afin de ne pas entraîner, une lassitude des acteurs de terrain et des populations, ce qui serait contre-productif. Un nombre d'alertes de trois par hiver a été pris comme le maximum supportable;
- il ne doit pas y avoir plus d'une fausse alerte pour trois alertes vraies, afin que les pouvoirs publics et la population ne perdent pas confiance dans le système;
- il ne doit pas y avoir plus d'une alerte manquée pour cinq alertes vraies.

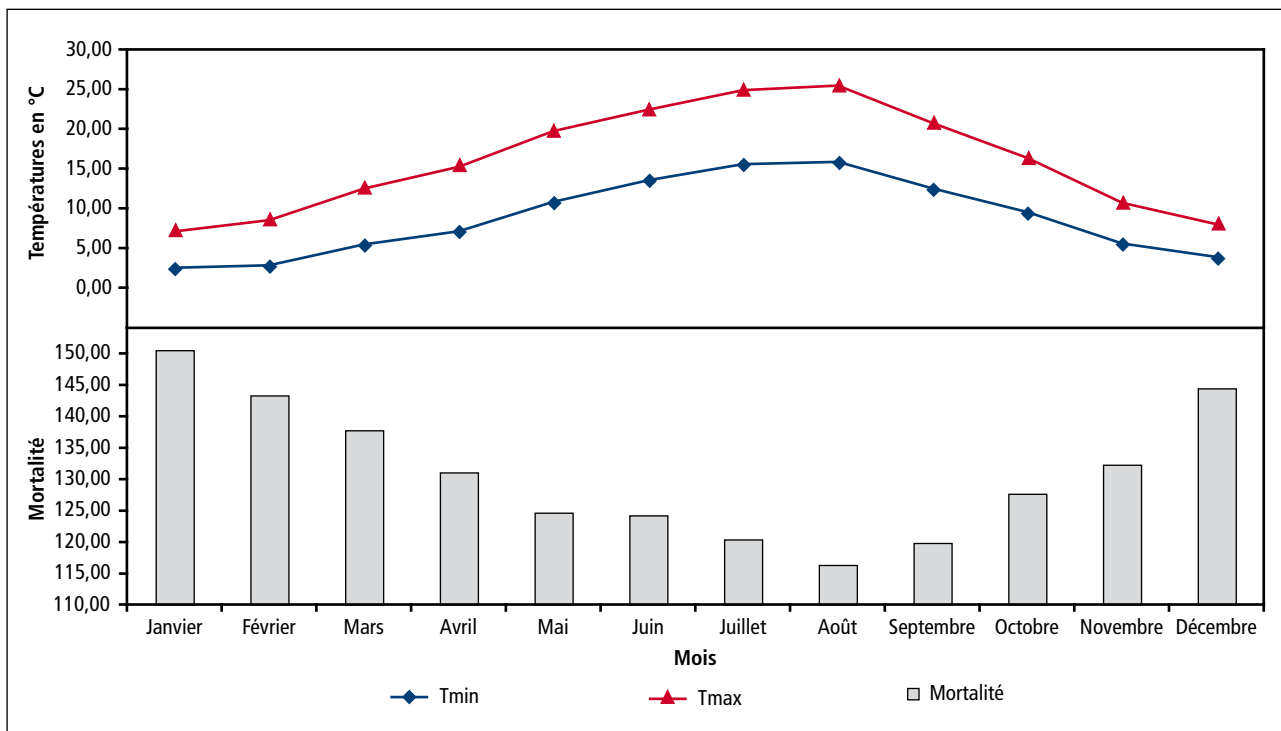
1.2 RÉSULTATS

1.2.1 Analyses descriptives

Les figures 2 et 3 représentent l'évolution mensuelle des moyennes des températures minimales et maximales ainsi que celle de la mortalité sur la période 1984-2003.

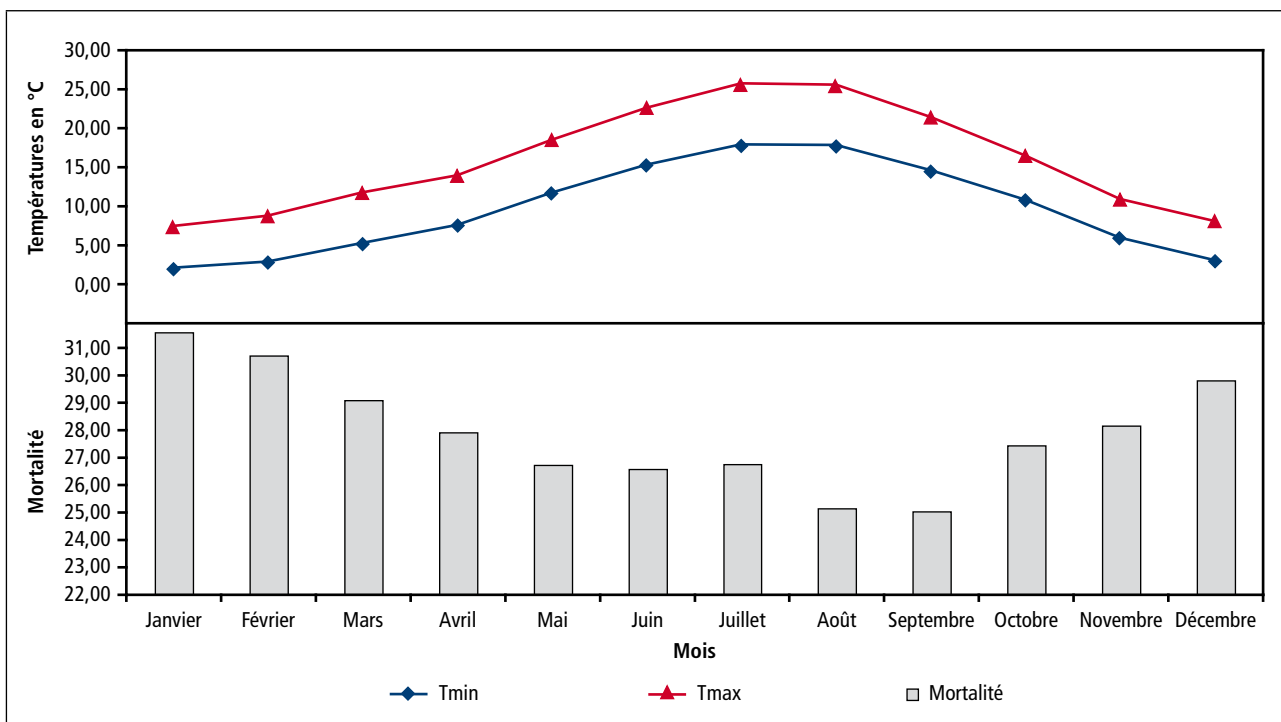
| FIGURE 2 |

Évolution mensuelle des moyennes de la mortalité et des températures minimales et maximales à Paris-PC sur la période 1984-2003



| FIGURE 3 |

Évolution mensuelle des moyennes de la mortalité et des températures minimales et maximales à Marseille sur la période 1984-2003



Dans les deux sites d'étude, la mortalité est en moyenne la plus forte en janvier. Elle est immédiatement suivie par février à Marseille et décembre à Paris, puis décembre à Marseille et février à Paris, mars et enfin novembre et avril dans une moindre mesure. Les températures augmentent de janvier à juillet-août puis baissent jusqu'en décembre. Les mois les plus froids correspondent à novembre, décembre, janvier

(le plus froid), février, mars et enfin avril. Ils correspondent à la période retenue pour l'étude.

Le tableau 7 présente pour Paris-PC et Marseille les distributions des températures et de la mortalité sur les périodes hivernales de 1984 à 2003.

| TABLEAU 7 |

Distribution des températures et de la mortalité à Paris-PC et Marseille sur les périodes hivernales 1984-2003

	Paris			Marseille		
	Tmin	Tmax	Mortalité	Tmin	Tmax	Mortalité
Moyennes	4,55	10,32	139,85	5,55	14,22	28,80
Min	-13,90	-10,00	78,00	-12,40	-5,10	11,00
Max	16,10	27,00	234,00	18,60	27,80	51,00
Percentile 25	1,90	7,30	127,00	2,60	11,60	25,00
Percentile 50	4,80	10,40	138,00	5,90	14,40	28,00
Percentile 75	7,40	13,00	162,00	8,80	16,80	33,00

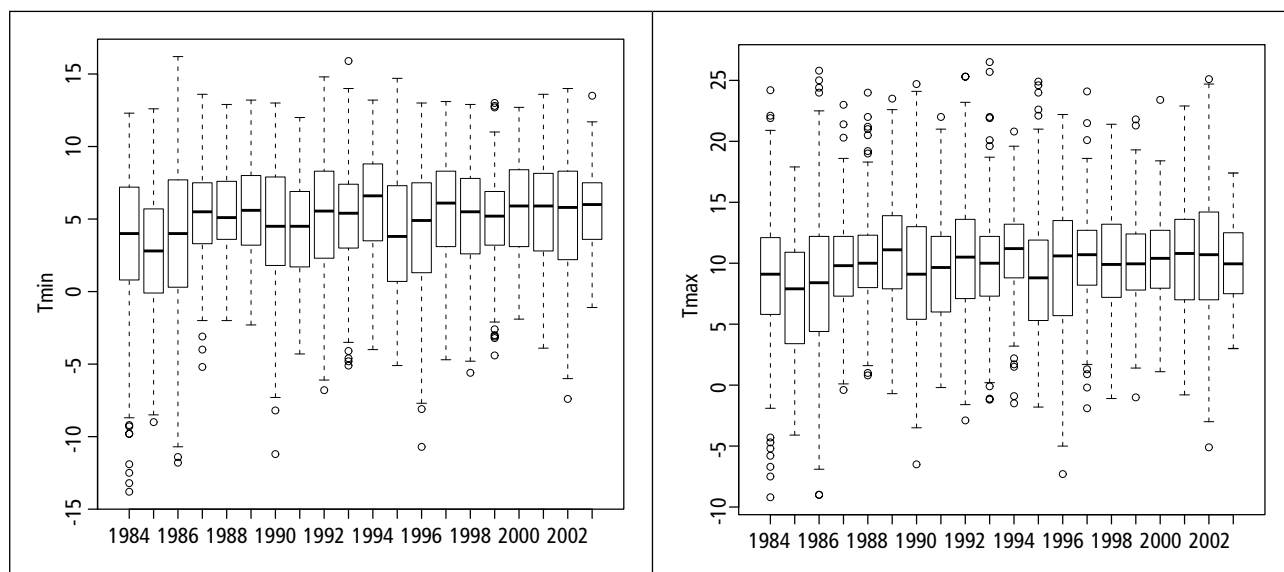
Lors des mois de novembre à avril, les températures sont globalement plus élevées à Marseille qu'à Paris, que ce soit les moyennes, les minimales ou les maximales, de même que les valeurs des différents percentiles. Les minimales des températures maximales (diurnes) en particulier présentent une grande différence entre les deux villes, avec -10°C à Paris-PC et -5,1°C à Marseille.

En ce qui concerne la mortalité journalière, elle est en moyenne de 139 décès à Paris et Petite couronne et 28 à Marseille, pour des populations respectives de plus de 6 millions d'habitants et près de 800 000.

Les distributions annuelles des températures sur la période 1984-2003 peuvent être représentées par des graphes en boxplots (figures 4 et 5).

| FIGURE 4 |

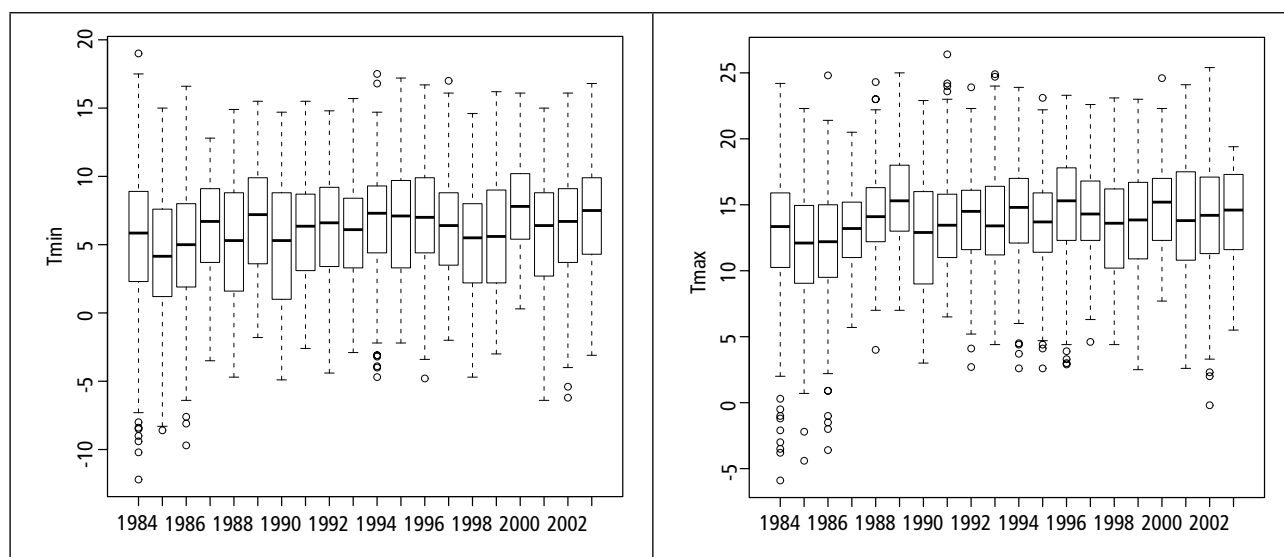
Distribution annuelle des températures minimales et maximales à Paris sur la période 1984-2003



À Paris-PC (figure 4), l'année 1984 présente les plus forts écarts de températures aussi bien en minimales qu'en maximales, et les années avec les températures les plus basses sont 1984, suivie de 1986, et

dans une moindre mesure 1990 pour les minimales et 1996 pour les minimales et les maximales. L'année 1985 présente également des températures basses, ainsi que 2002 pour les maximales.

Distribution annuelle des températures minimales et maximales à Marseille sur la période 1984-2003

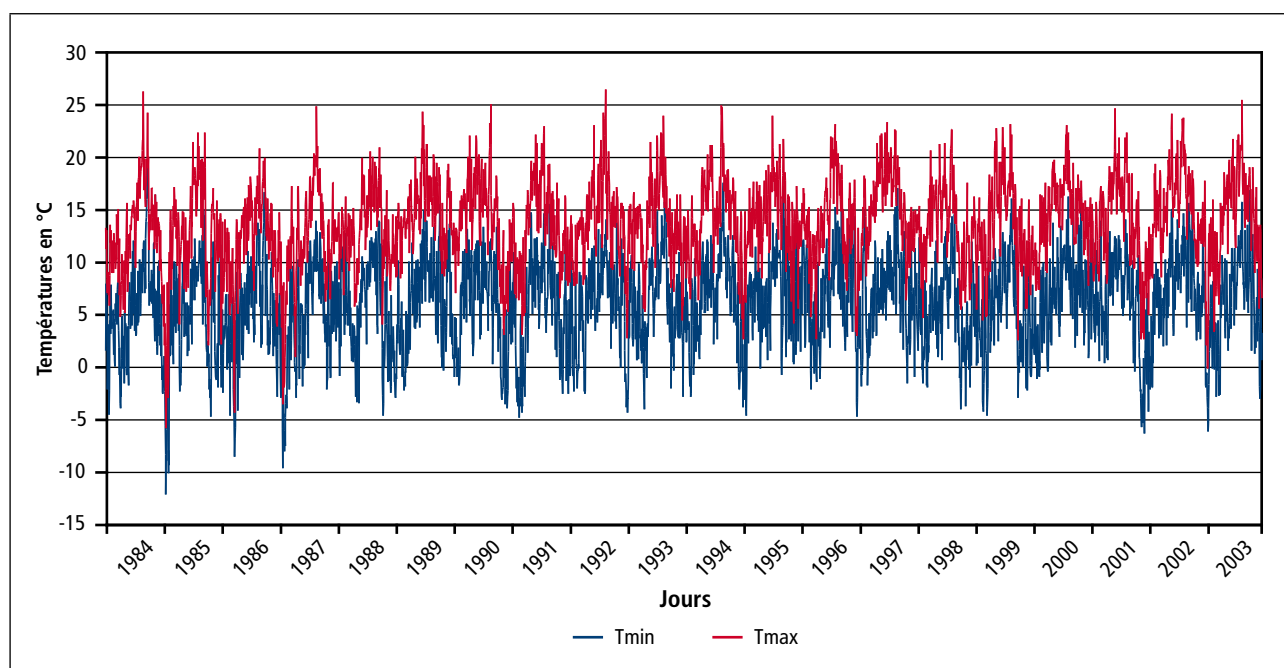


À Marseille (figure 5), les années de plus faibles minima sont très nettement 1984, 1985 et 1986 (avec des températures minimales pouvant atteindre voire dépasser les -10°C et des températures maximales allant jusqu'à -5°C). 1984 est également l'année pour laquelle les températures s'étalent le plus entre les valeurs très faibles et très élevées. Puis 2001 et 2002 présentent des températures assez faibles mais sans atteindre les niveaux précédents (légèrement inférieures à -5°C pour les minimales, autour de 0°C ou à peine moins pour les maximales).

Les figures suivantes permettent de voir l'évolution des températures au cours de la période d'étude, pour les mois de novembre à avril. Ces graphes permettent d'individualiser quelques vagues de froid.

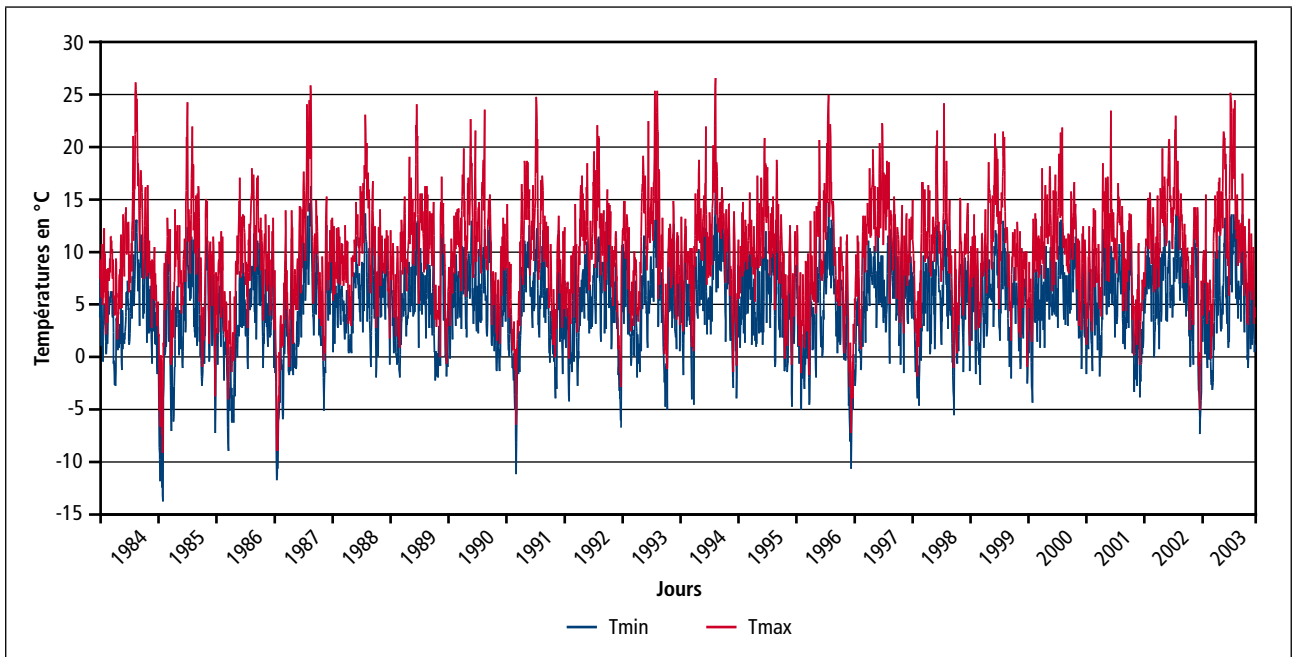
Ainsi à Marseille (figure 6), les vagues de froid les plus intenses sont celles des années 1985, 1986 et 1987 (et dans une moindre mesure 2002 et 2003), tandis qu'à Paris (figure 7) on retrouve les mêmes périodes ainsi que 1991 et fin 1996-début 1997 (et dans une moindre mesure 2003).

Températures minimales et maximales à Marseille sur les mois d'hiver (novembre, décembre, janvier, février, mars, avril) 1984-2003



| FIGURE 7 |

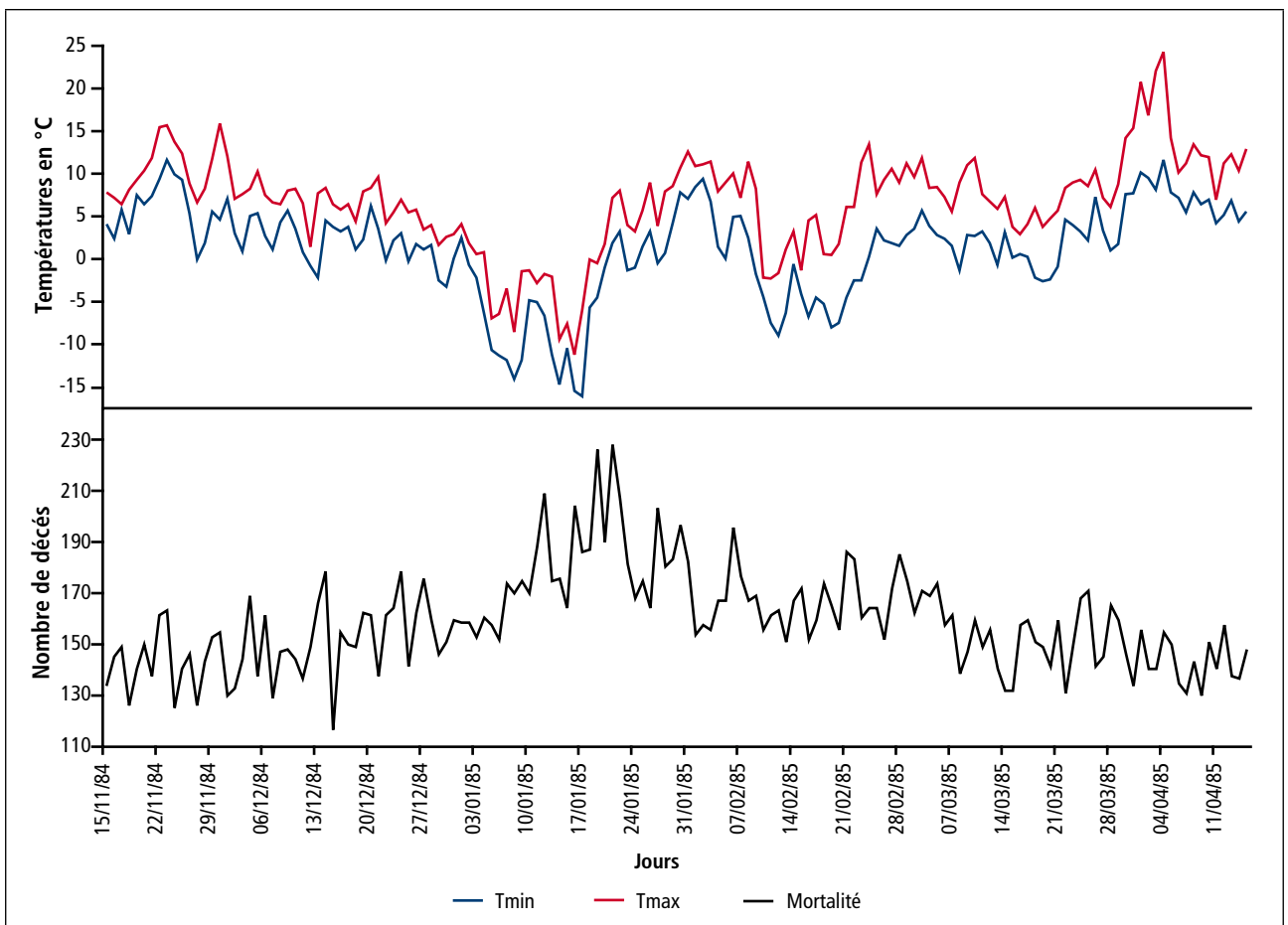
Températures minimales et maximales à Paris sur les mois d'hiver (novembre, décembre, janvier, février, mars, avril) 1984-2003



L'exemple de l'hiver 1984-1985 est présenté ci-après. En effet en janvier 1985 la France a connu la plus grosse vague de froid de toute notre période d'étude (1984-2003) selon les critères de durée et d'intensité définis par Météo-France (cf. figure 1).

| FIGURE 8 |

Mortalité observée et températures journalières à Paris pendant l'hiver 1984-1985 (novembre-avril)



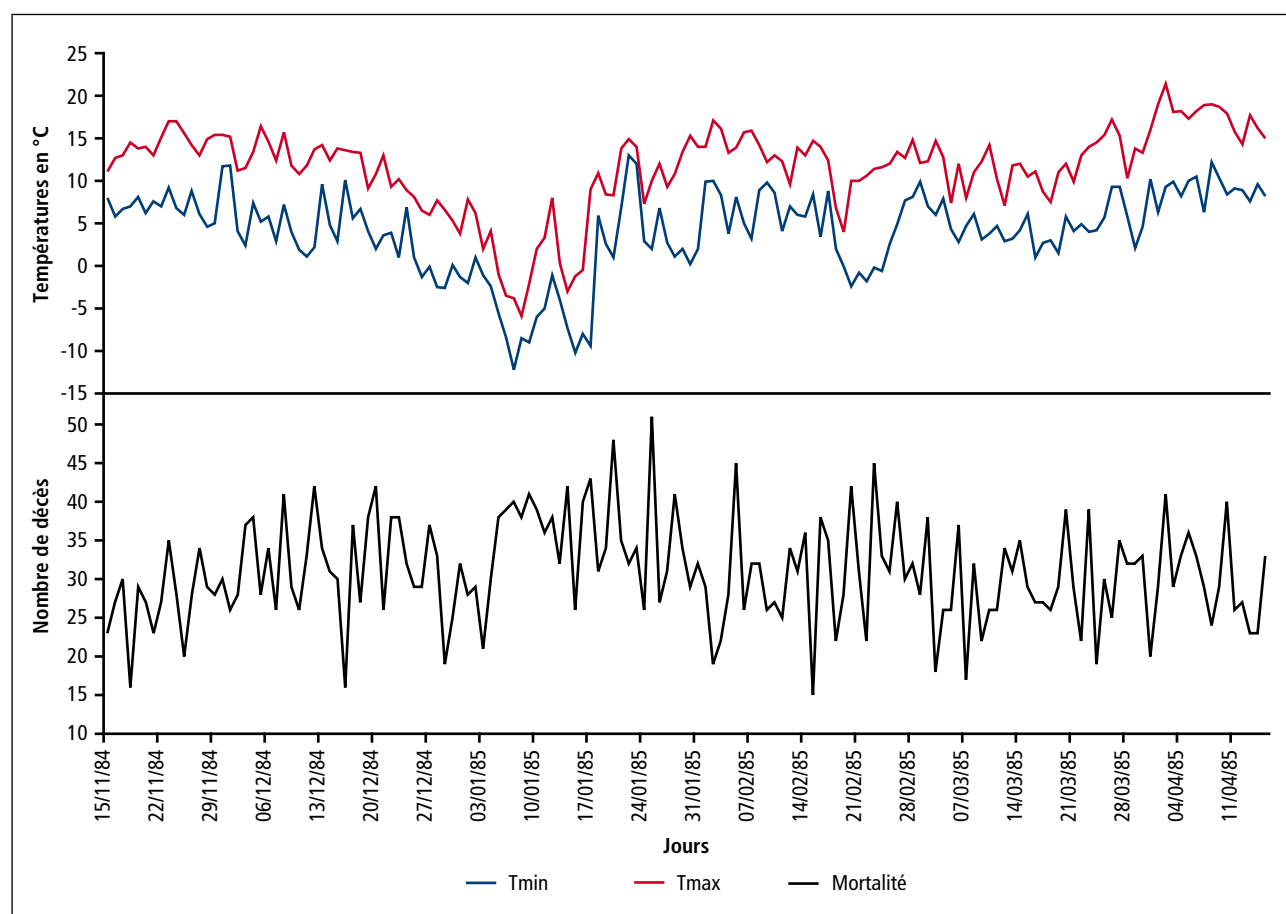
À Paris, pendant l'hiver 1984-85 (figure 8), les périodes de températures minimales et maximales plus douces (novembre et surtout avril) correspondent à une mortalité modérée, dont les pics semblent suivre ceux des baisses de températures avec un certain décalage. Deux périodes de froid en janvier, avec des températures minimales inférieures à -10°C et des maximales allant de -5 à -10°C , correspondent à une hausse de mortalité, là encore avec un certain décalage. C'est également le cas mais de façon beaucoup moins marquée dans la deuxième quinzaine de février, où la chute des températures a été moins forte (autour de -5°C pour les minimales, et positives ou légèrement inférieures à 0 pour les maximales). En janvier, les températures ont chuté du 5 au 9, avec une température minimale de $-11,9^{\circ}\text{C}$ le 8 janvier et une maximale de $-6,7^{\circ}\text{C}$ le même jour qui a été le plus froid de la période. La mortalité a commencé à augmenter de façon modérée à partir du 7 janvier (177 morts contre 154 la veille), et de façon plus importante entre le 11 et le 13 janvier

(pic de 214 morts le 12 janvier). La deuxième vague de froid du 13 au 17 janvier (températures minimales de $-9,2$ à $-13,8^{\circ}\text{C}$, maximales de $-0,6$ à $-9,2^{\circ}\text{C}$) correspond également à une hausse de mortalité décalée en deux temps, avec un premier pic assez rapide après la chute des températures, le 16 janvier (209 décès), et deux autres pics les 19 et 21 janvier (respectivement 232 et 234 décès).

À Marseille (figure 9), les baisses de températures correspondent assez bien avec les hausses de la mortalité, sans le décalage que l'on peut constater à Paris, ainsi que le montre l'exemple de janvier (figure 8). Par ailleurs, les plus forts pics de mortalité (20 et 25 janvier, 48 et 51 morts) ne s'observent pas au moment de la période la plus froide (5 au 11 janvier, Tmin de -5 à $-12,2^{\circ}\text{C}$, Tmax de $3,3$ à $-5,9^{\circ}\text{C}$), mais alors que les températures, même si elles sont en baisse par rapport aux jours précédents, sont positives aussi bien pour les minimales que pour les maximales.

| FIGURE 9 |

Mortalité observée et températures journalière à Marseille pendant l'hiver 1984-1985 (novembre-avril)



1.2.2 Modèles statistiques et estimation de la surmortalité due au froid

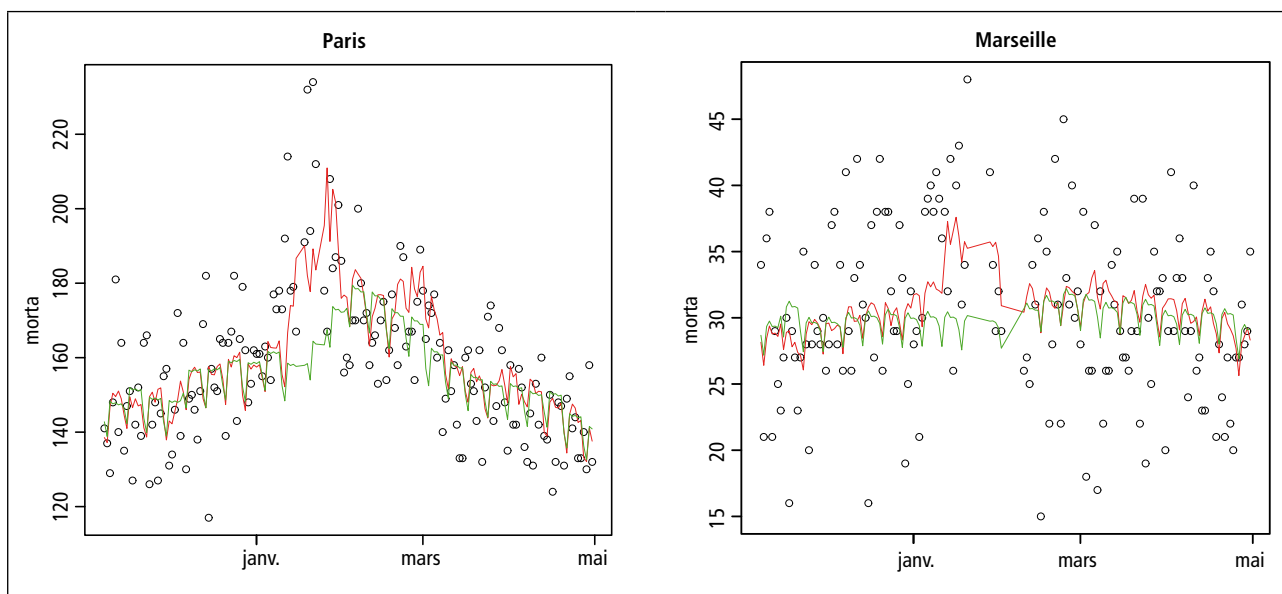
Dans chacune des deux agglomérations étudiées, le nombre journalier de décès a été estimé à partir des variables météorologiques, pour la période 1984 à 2003, à l'aide d'un modèle de Poisson. À Paris, le modèle incluait les variables temps, jour de la semaine, grippe, les températures maximales avec un décalage de 0 et 1 jour, les températures minimales avec un décalage de 2, 3, 4, 5 et 6 jours et l'humidité relative maximale

du jour même. À Marseille, le modèle incluait les variables temps, jour de la semaine, grippe, les températures maximales avec un décalage de 0, 3, 5 jours, les températures minimales avec un décalage de 1, 2, 4 et 6 jours et l'humidité relative maximale du jour même.

La figure 10 permet de visualiser la mortalité observée et estimée par les modèles lors de l'hiver 1984-85. Dans chaque ville, les modèles estiment bien la hausse de mortalité observée lors du mois de janvier 1985.

| FIGURE 10 |

Mortalité observée (points) et estimée (ligne rouge) par le modèle au cours de l'hiver 1984-1985 à Paris-PC et Marseille



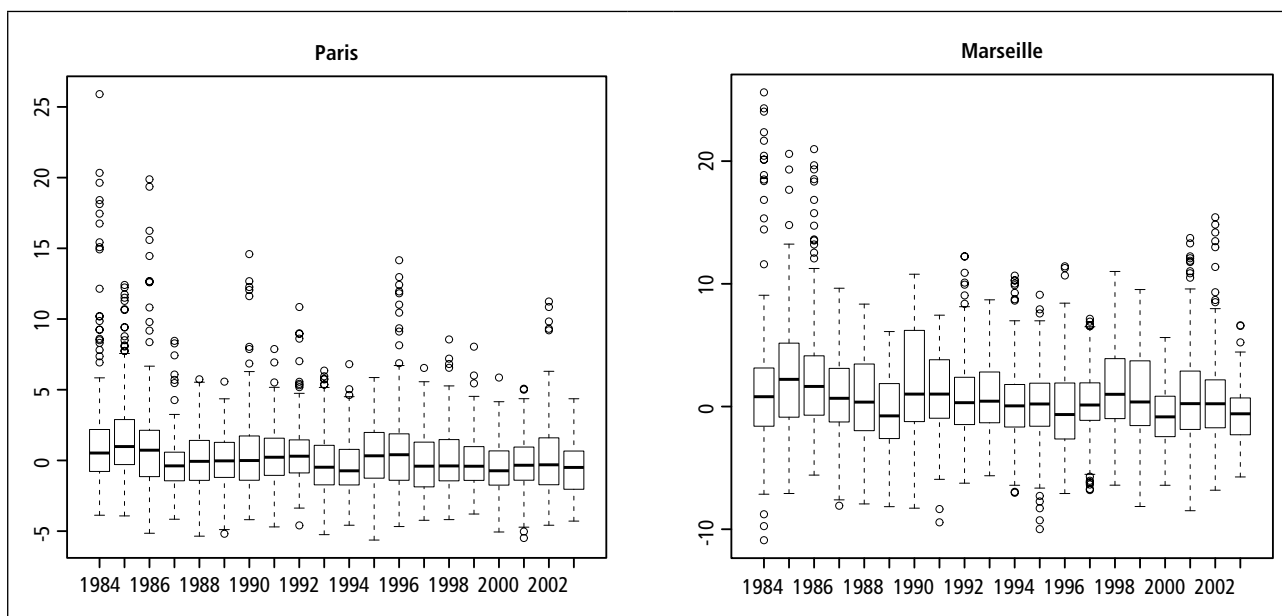
Ligne verte : mortalité de référence.

1.2.3 Description de la surmortalité hivernale liée au froid

La surmortalité hivernale à Paris et Marseille, estimée à partir des modèles précédents, est décrite dans la figure 11.

| FIGURE 11 |

Distribution annuelle de la surmortalité liée au froid à Paris-PC et Marseille pour les hivers 1984 à 2003



Dans les deux villes, la surmortalité hivernale liée au froid dépasse rarement les 15 % et de façon exceptionnelle les 20 % (1984 à Paris, 1984, 1985 et 1986 à Marseille).

1.2.4 Recherche de l'indicateur biométéorologique le plus pertinent

Les indicateurs biométéorologiques définis dans la partie "méthodes" ont été testés au moyen de courbes ROC, pour différents pourcentages de surmortalité.

Contrairement au système d'alerte canicule et santé, pour lequel les recommandations des autorités sanitaires étaient d'éviter une mortalité de grande ampleur, aucune spécification n'a été faite pour le froid. L'analyse descriptive de la surmortalité liée au froid (figure 11) a donc conduit à tester les seuils de surmortalité de 10 et 15 %.

Les indicateurs ont été testés en calculant, pour plusieurs valeurs possibles⁴ de seuils le nombre total de dépassements en distinguant les vrais des faux positifs, et en calculant la sensibilité (Se), la spécificité (Sp), la valeur prédictive positive (VPP) et la valeur prédictive négative (VPN).

Des indicateurs biométéorologiques journaliers et cumulés ont été testés, afin de voir si une période de froid prolongée pouvait avoir un impact plus important sur la mortalité qu'une seule journée de froid. Dans la mesure où le modèle estimant la mortalité n'inclut pas d'indicateurs météorologiques au-delà de J+6, les décalages entre l'indicateur biométéorologique et la surmortalité associée ont été limités à 6 jours. Ces indicateurs sont définis dans le paragraphe 1.1.4.3

La notation retenue pour ces indicateurs, est la suivante :

Indicateurs journaliers	Indicateurs cumulés
<p>$Ind_{J/n}$ avec :</p> <p>Ind = indicateur météorologique</p> <p>J = jour de l'évènement météorologique</p> <p>Jn = jour de l'évènement sanitaire, n allant de 0 à 6</p> <p>Ex. $Tmin_{J/3}$: exposition à la température minimale au jour J et évènement sanitaire trois jours plus tard</p>	<p>$Ind_{J_0-n/J_{n1-n2}}$</p> <p>Ind = indicateur météorologique</p> <p>J_{0-n} = cumul de l'évènement météorologique du jour même (0) au jour n, n allant de 1 à 6</p> <p>J_{n1-n2} = cumul de l'évènement sanitaire du jour n1 au jour n2</p> <p>Ex. $Tmin_{J_0-2/J_4-6}$: exposition à la température minimale entre les jours J0 et J2, et évènement sanitaire sur les jours 4 à 6</p>

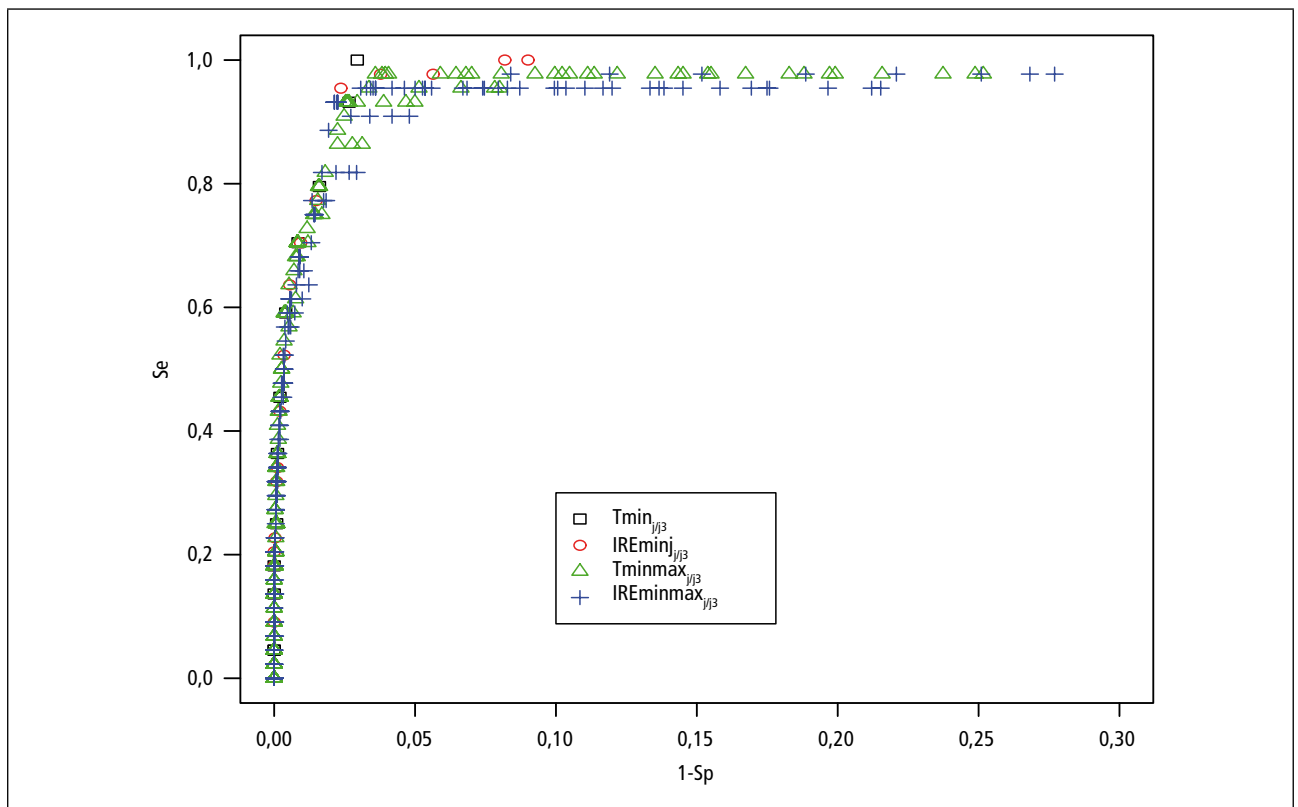
1.2.4.1 Résultats pour Paris-PC

Tous les indicateurs biométéorologiques ont été testés en lien avec différents niveaux de surmortalité à l'aide de courbes ROC. Quel que soit le seuil de surmortalité choisi (10 ou 15 %) et quel que soit le scénario envisagé (indicateur biométéorologique quotidien associé au niveau de surmortalité du même jour ou décalé de plusieurs jours, indicateur biométéorologique cumulé sur plusieurs jours associé

au niveau de surmortalité cumulée sur les mêmes jours ou décalée sur plusieurs jours...), aucun indicateur ne ressort particulièrement comme étant plus performant. Pour un seuil de surmortalité de 10 %, les courbes ROC des différents indicateurs biométéorologiques associés à une surmortalité décalée de 3 jours sont données en exemple dans la figure 12.

⁴ Ces valeurs ont été déterminées en partant de la valeur maximale de l'indicateur météorologique pour laquelle le seuil de surmortalité est dépassé, et en diminuant par pas de 1 °C jusqu'au minimum de l'indicateur pour lequel le seuil de surmortalité associé est dépassé.

Courbes ROC pour les différents indicateurs biométéorologiques à Paris-PC avec un décalage de trois jours entre l'indicateur et la surmortalité, au seuil de surmortalité de 10 %



Quel que soit l'indicateur considéré, les scénarios les moins performants sont les suivants :

- $Ind_{J,J.10}$ et $Ind_{J,J.15}$: indicateur biométéorologique quotidien associé au niveau de surmortalité du jour même, pour un seuil de surmortalité de 10 ou 15 % ;
- $Ind_{J,J1.10}$ et $Ind_{J,J1.15}$: indicateur biométéorologique quotidien associé au niveau de surmortalité du lendemain, pour un seuil de surmortalité de 10 ou 15 % ;
- $Ind_{J,J2.10}$ et $Ind_{J,J2.15}$: indicateur biométéorologique quotidien associé au niveau de surmortalité décalé de deux jours, pour un seuil de surmortalité de 10 ou 15 % ;
- $Ind_{J02,J2.10}$ et $Ind_{J02,J2.15}$: indicateur biométéorologique cumulé sur les jours J, J+1, J+2 associé au niveau de surmortalité du jour J+2, pour un seuil de surmortalité de 10 ou 15 %.

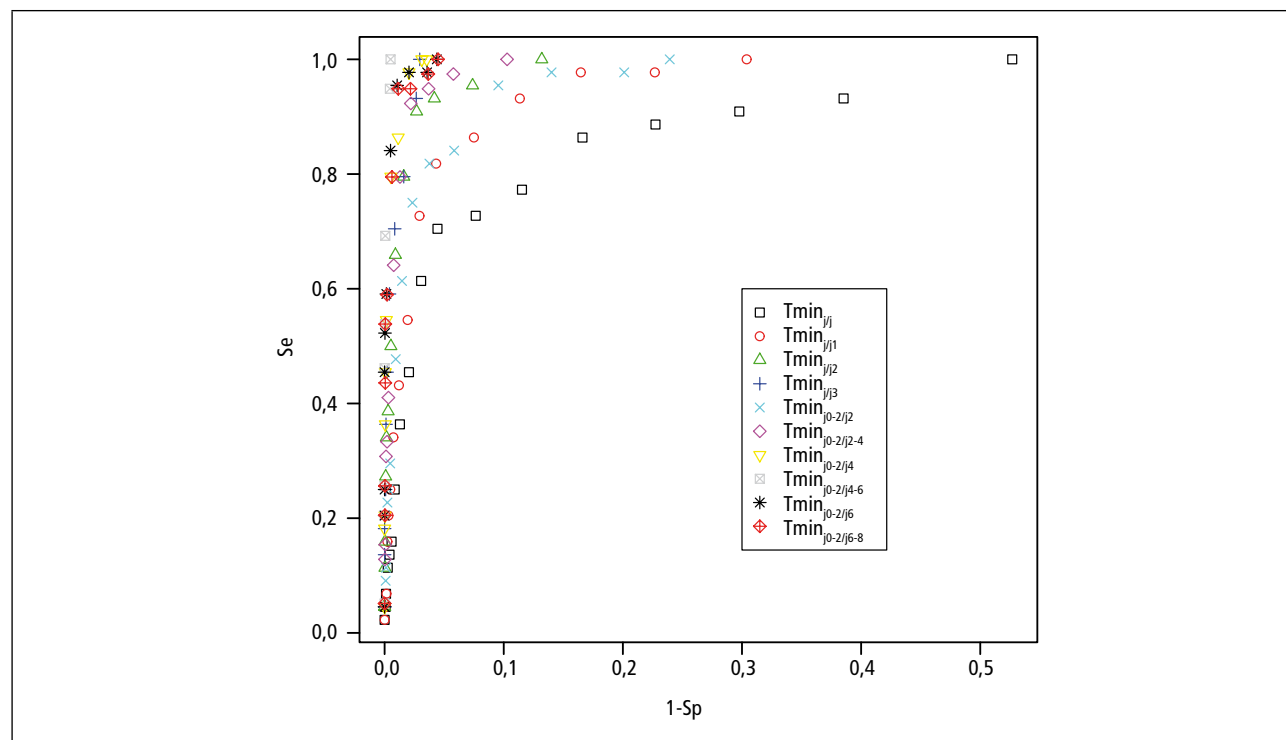
Quel que soit l'indicateur biométéorologique considéré, les scénarios qui donnent les meilleurs résultats sont les suivants :

- $Ind_{J02,J46.10}$ et $Ind_{J02,J46.15}$: indicateur biométéorologique cumulé sur les jours J, J+1, J+2 associé au niveau de surmortalité cumulé sur les jours J+4, J+5 et J+6, pour un seuil de surmortalité de 10 % ou 15 % ;
- $Ind_{J02,J6.15}$: indicateur biométéorologique cumulé sur les jours J, J+1, J+2 associé au niveau de surmortalité du jour J+6, pour un seuil de surmortalité de 15 %.

Pour un seuil de surmortalité de 10%, les courbes ROC de l'indicateur biométéorologique Tmin pour différents scénarios sont données en exemple dans la figure 13.

FIGURE 13 |

Courbes ROC pour l'indicateur Tmin et différents scénarios, au seuil de surmortalité de 10%. Paris-PC 1984-2003



À partir des résultats de ces courbes, les propositions de seuils peuvent être faites en comparant les informations sur la sensibilité (Se) et la Valeur prédictive positive (VPP), et en analysant le nombre de vraies alertes, de fausses alertes et d'alertes manquées qu'auraient généré ces seuils dans l'hypothèse où ils auraient été utilisés comme indicateurs d'alerte (tableau 8).

Nous avons retenu le scénario $\text{Ind}_{\text{J0-2/J4-6}}$ (indicateur cumulé sur les jours 0 à 2, impact sanitaire sur les jours 4 à 6) qui semble être le plus performant quel que soit l'indicateur considéré et le seuil de surmortalité considéré. Les résultats pour ces scénarios sont présentés dans le tableau 8 (les pourcentages de surmortalité sont données entre parenthèses après l'indicateur).

TABLEAU 8 |

Propositions d'indicateurs et de seuils prédictifs d'une surmortalité pour Paris

Indicateurs simples	Seuil		Nb vraies fausses	Nb alertes fausses	Nb alertes ratées	Nb alertes déclenché	Se	VPP
$\text{Tmin}_{\text{J0-2/J4-6}}$ (10%)	-5		37	15	2	52	0,94	0,71
$\text{IREmin}_{\text{J0-2/J4-6}}$ (10%)	-6		38	16	1	54	0,97	0,70
$\text{Tmin}_{\text{J0-2/J4-6}}$ (15%)	-9		9	1	2	10	0,82	0,90
$\text{IREmin}_{\text{J0-2/J4-6}}$ (15%)	-11		10	3	1	13	0,91	0,77
Indicateurs doubles	Seuil max	Seuil min	Nb vraies alertes	Nb alertes fausses	Nb alertes ratées	Nb alertes déclenché	Se	VPP
$\text{Tminmax}_{\text{J0-2/J4-6}}$ (10%)	0	-5	33	11	6	44	0,85	0,75
	1	-5	35	13	4	48	0,89	0,73
$\text{IREminmax}_{\text{J0-2/J4-6}}$ (10%)	0	-6	36	11	3	47	0,92	0,76
$\text{Tminmax}_{\text{J0-2/J4-6}}$ (15%)	-2	-9	9	1	2	10	0,82	0,90
$\text{IREminmax}_{\text{J0-2/J4-6}}$ (15%)	-3	-10	10	4	1	14	0,91	0,71
	-3	-11	10	3	1	13	0,91	0,77

Les différents indicateurs sont proches en termes de sensibilité et valeur prédictive positive. Il serait donc préférable de retenir, pour des raisons pratiques, l'indicateur le plus simple, soit la température minimale, qui est mieux prédit par Météo-France que l'IRE, celui-ci incluant le vent dont la prédiction est nettement moins bonne, surtout sur plusieurs jours. Par ailleurs l'inclusion de la température maximale en plus de la minimale ne semble pas apporter pas de plus-value, mais c'est à vérifier.

Les indicateurs qui pourraient être retenus sont donc la température minimale cumulée sur les jours 0 à 2, en relation avec une surmortalité de 15 % les jours 4 à 6, le même indicateur pour un seuil de surmortalité de 10 % et l'indicateur $Tmin_{max_{J0-2/J4-6}}$ pour 10 ou 15 % de surmortalité. Ils peuvent être comparés à partir des critères proposés dans le dernier paragraphe du chapitre 1.1.4.3 de la partie méthode (tableau 9).

| TABLEAU 9 |

Performance de l'indicateur retenu à Paris-PC selon les critères opérationnels définis a priori

Critères	$Tmin_{max_{J0-2/J4-6}}$ (surmortalité 10 %)	$Tmin_{max_{J0-2/J4-6}}$ (surmortalité 15 %)
Nb d'alerte ≤ 3 par an	44 alertes sur 20 ans = 2,2/an	10 alertes sur 20 ans = 0,5/an
Pas plus d'une fausse alerte pour trois alertes vraies	11 fausses sur 33 vraies = 1 fausses sur 3 vraies	1 fausse sur 9 vraies = 0,3 fausses sur 3 vraies
Pas plus d'une alerte manquée pour 5 alertes vraies	6 manquées sur 33 vraies = 0,9 manquées sur 5 vraies	2 manquées sur 9 vraies = 0,3 manquées sur 5 vraies
Critères	$Tmin_{J0-2/J4-6}$ (surmortalité 10 %)	$Tmin_{J0-2/J4-6}$ (surmortalité 15 %)
Nb d'alerte ≤ 3 par an	52 alertes sur 20 ans = 2,6/an	10 alertes sur 20 ans = 0,5/an
Pas plus d'une fausse alerte pour trois alertes vraies	15 fausses sur 37 vraies = 1,2 fausses sur 3 vraies	1 fausse sur 9 vraies = 0,3 fausses sur 3 vraies
Pas plus d'une alerte manquée pour 5 alertes vraies	2 manquées sur 37 vraies = 0,3 manquées sur 5 vraies	2 manquées sur 9 vraies = 0,3 manquées sur 5 vraies
Critères	$Tmin_{max_{J0-2/J4-6}}$ (surmortalité 10 %)	$Tmin_{max_{J0-2/J4-6}}$ (surmortalité 15 %)
Nb d'alerte ≤ 3 par an	44 alertes sur 20 ans = 2,2/an	10 alertes sur 20 ans = 0,5/an
Pas plus d'une fausse alerte pour trois alertes vraies	11 fausses sur 33 vraies = 1 fausses sur 3 vraies	1 fausse sur 9 vraies = 0,3 fausses sur 3 vraies
Pas plus d'une alerte manquée pour 5 alertes vraies	6 manquées sur 33 vraies = 0,9 manquées sur 5 vraies	2 manquées sur 9 vraies = 0,3 manquées sur 5 vraies

L'indicateur simple Tmin correspondant à un seuil de surmortalité de 15 % remplit les critères établis. Cependant le même indicateur pour un seuil de surmortalité de 10 % n'est pas très éloigné des critères, dans la mesure où seules les fausses alertes sont un peu plus élevées que le maximum acceptable (1,2 pour 3 vraies, contre 1 au maximum selon nos critères).

Par ailleurs l'indicateur double remplit également les critères, quelque soit le seuil de surmortalité. Il faut noter que pour un seuil de 15 % l'indicateur double donne exactement les mêmes résultats que l'indicateur simple. Il paraît donc préférable de retenir l'indicateur simple $Tmin_{J0-2/J4-6}$ (surmortalité 15 %) dans la mesure où plus l'indicateur est simple, plus il est facile à interpréter.

1.2.4.2 Résultats pour Marseille

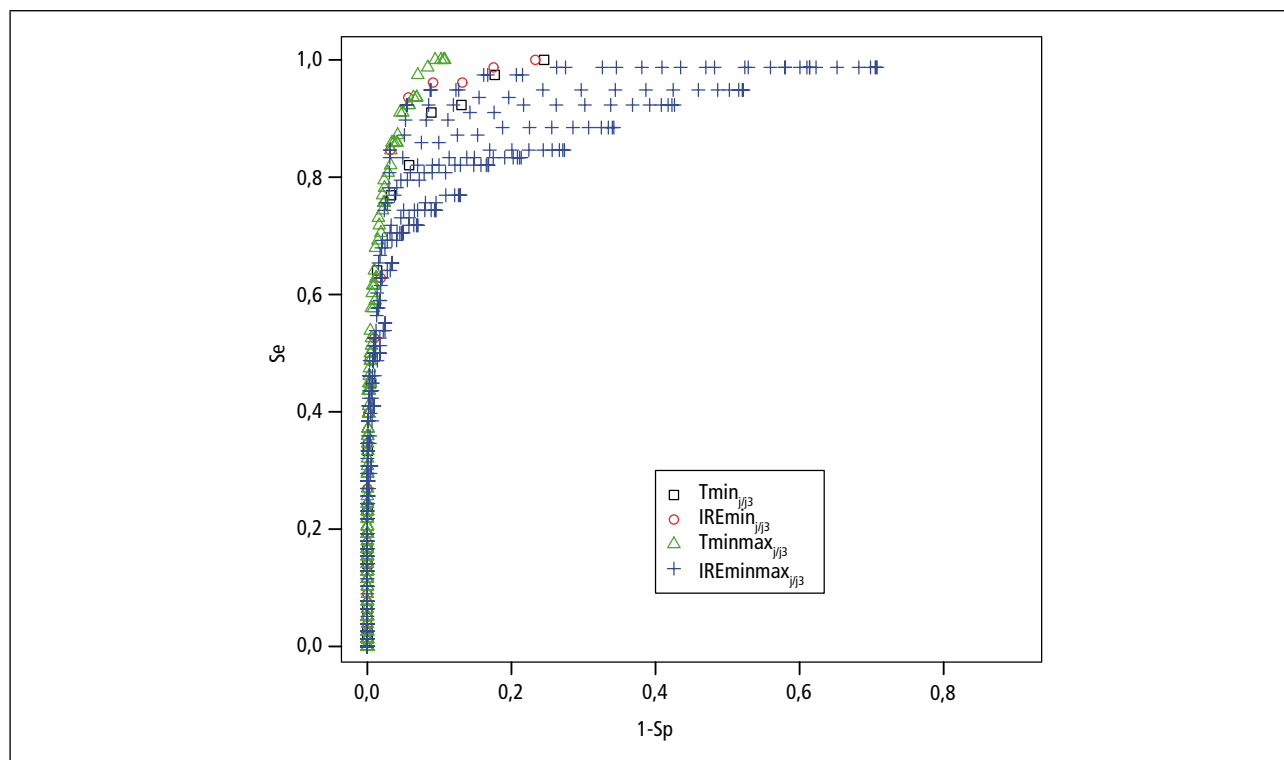
Comme pour Paris, tous les indicateurs biométéorologiques ont été testés en lien avec différents niveaux de surmortalité à l'aide de courbes ROC (figure 14).

Quel que soit le seuil de surmortalité choisi (10 ou 15 %) et quelque soit le scénario envisagé, aucun indicateur ne ressort particulièrement comme étant plus performant sauf :

- au seuil de surmortalité de 10 % et pour les scénarios Ind_{JJ3} , $Ind_{J0-2/J4}$, $Ind_{J0-2/J4-6}$, $Ind_{J0-2/J6}$ et $Ind_{J0-2/J6-8}$ pour lesquels Tmin est l'indicateur le moins performant ;
- au seuil de surmortalité de 15 % et pour les scénarios $Ind_{J0-2/J4-6}$, $Ind_{J0-2/J6}$ et $Ind_{J0-2/J6-8}$ pour lesquels Tmin est l'indicateur le moins performant et $Ind_{J0/J0}$ pour lequel Tminmax est le meilleur indicateur.

Pour un seuil de surmortalité de 10 %, les courbes ROC des différents indicateurs biométéorologiques associés à une surmortalité décalée de 3 jours sont données en exemple sur la figure 14. L'indicateur Tmin semble être un peu moins performant que les indicateurs IREmin, Tminmax ou IREminmax.

Courbes ROC pour les différents indicateurs biométéorologiques à Marseille avec un décalage de trois jours entre l'indicateur et la surmortalité, au seuil de surmortalité de 10 %



Quel que soit l'indicateur considéré, on constate que les scénarios les moins performants sont les suivants :

- $Ind_{J0/J0}$ (10 et 15 %) : indicateur biométéorologique du jour associé à une surmortalité le jour même, pour un seuil de surmortalité de 10 ou 15 % ;
- $Ind_{J0/J1}$ (15 %) : indicateur biométéorologique du jour associé à une surmortalité le lendemain, pour un seuil de surmortalité de 15 %.

Pour chacun des indicateurs biométéorologiques et pour un seuil de surmortalité de 10 %, les scénarios qui donnent les meilleurs résultats sont les suivants :

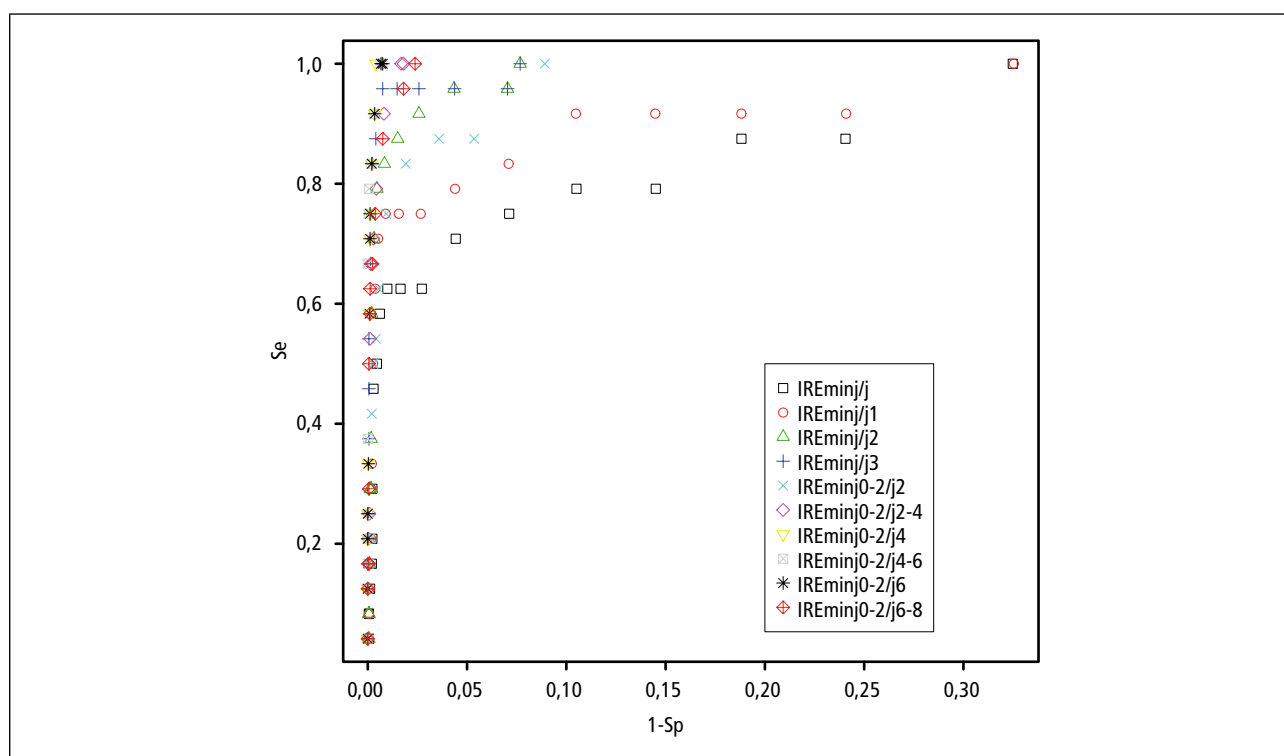
- pour Tmin, $Tmin_{J0-2/J2-4}$ (10 et 15 %) : température minimale cumulée sur les jours 0 à 2 et surmortalité cumulée sur les jours 2 à 4, pour un seuil de surmortalité de 10 et 15 % ;
- pour l'IREmin (figure 15), $IREmin_{J0-2/J4-6}$ (10 et 15 %) et $IREmin_{J0-2/J6}$ (10 %) : indice de refroidissement éolien minimal cumulé sur les

jours 0 à 2 et surmortalité cumulée sur les jours 4 à 6, pour un seuil de surmortalité de 10 et 15 %, et indice de refroidissement éolien minimal cumulé sur les jours 0 à 2 et surmortalité à 6 jours, pour un seuil de surmortalité de 15 % ;

- pour Tminmax, $Tminmax_{J0-2/J4-6}$ (10 %) et $Tminmax_{J0-2/J4}$ (15 %) : indicateur météorologique cumulé sur les jours 0 à 2 et surmortalité cumulée sur les jours 4 à 6, pour un seuil de surmortalité de 10 % et indicateur météorologique cumulé sur les jours 0 à 2 et surmortalité à 4 jours, pour un seuil de surmortalité de 15 % ;
- pour l'IREminmax, $IREminmax_{J0-2/J4}$ (10 %), $IREminmax_{J0-2/J6}$ (15 %), $IREminmax_{J0-2/J4-6}$ (15 %) : indicateur météorologique cumulé sur les jours 0 à 2 et surmortalité à 4 jours, pour un seuil de surmortalité de 10 %, indicateur météorologique cumulé sur les jours 0 à 2 et surmortalité à 6 jours, pour un seuil de surmortalité de 15 % et indicateur météorologique cumulé sur les jours 0 à 2 et surmortalité cumulée de 4 à 6 jours, pour un seuil de surmortalité de 15 %.

| FIGURE 15 |

**Courbes ROC pour l'indicateur IREmin et différents scénarios, au seuil de surmortalité de 15 %.
Marseille 1984-2003**



À partir des résultats de ces courbes, les propositions de seuils peuvent être faites en comparant les informations sur la sensibilité (Se) et la VPP, et en analysant le nombre de vraies alertes, de fausses alertes et d'alertes manquées qu'auraient généré ces seuils dans l'hypothèse où ils auraient été intégrés dans un dispositif d'alerte (tableau 10).

| TABLEAU 10 |

Propositions d'indicateurs et de seuils prédictifs d'une surmortalité pour Marseille

Indicateurs simples	Seuil	Nb vraies alertes	Nb alertes fausses	Nb alertes ratées	Nb alertes déclenchées	Se	VPP	
Tmin _{J0-2/J4-6} (10%)	-3	42	27	25	69	0,63	0,61	
IREmin _{J0-2/J4-6} (10%)	-3	47	39	20	86	0,70	0,55	
Tmin _{J0-2/J4-6} (15%)	-4	20	11	4	31	0,83	0,64	
	-5	18	4	6	22	0,75	0,82	
IREmin _{J0-2/J4-6} (15%)	-6	20	6	4	26	0,83	0,77	
	-7	19	2	5	21	0,79	0,90	
Indicateurs doubles	Seuil max	Seuil min	Nb vraies alertes	Nb alertes fausses	Nb alertes ratées	Nb alertes déclenchées	Se	VPP
Tminmax _{J0-2/J4-6} (10%)	5	0	48	14	19	62	0,72	0,77
Tminmax _{J0-2/J4-6} (15%)	4	-3	21	7	3	28	0,87	0,75
IREminmax _{J0-2/J4-6} (15%)	5	-5	20	6	4	26	0,83	0,77
IREminmax _{J0-2/J4-6} (10%)	9	-3	41	33	26	74	0,61	0,55

Les différents indicateurs sont proches en termes de sensibilité et VPP. Ils peuvent être comparés à partir des critères proposés dans la partie méthode (tableau 11).

| TABLEAU 11 |

Performance des indicateurs retenus à Marseille selon les critères opérationnels définis *a priori*

Critères	Tmin _{J0-2/J4-6} (surmortalité 10%)	Tmin _{J0-2/J4-6} (surmortalité 15% et seuil -4°C)	Tmin _{J0-2/J4-6} (surmortalité 15% et seuil -5°C)
Nb d'alerte ≤3 par an	69 alertes sur 20 ans = 3,4/an	31 alertes sur 20 ans = 1,5/an	22 alertes sur 20 ans = 1,1/an
Pas plus d'une fausse alerte pour trois alertes vraies	27 fausses sur 42 vraies = 1,9 fausses sur 3 vraies	11 fausses sur 20 vraies = 1,65 fausses sur 3 vraies	4 fausses sur 18 vraies = 0,7 fausses sur 3 vraies
Pas plus d'une alerte manquée pour 5 alertes vraies	25 manquées sur 42 vraies = 3 manquées sur 5 vraies	4 manquées sur 20 vraies = 1 manquée sur 5 vraies	6 manquées sur 18 vraies = 1,7 manquées sur 5 vraies
Critères	IREmin _{J0-2/J4-6} (surmortalité 10%)	IREmin _{J0-2/J4-6} (surmortalité 15% et seuil -6°C)	IREmin _{J0-2/J4-6} (surmortalité 15% et seuil -7°C)
Nb d'alerte ≤3 par an	86 alertes sur 20 ans = 4,3/an	26 alertes sur 20 ans = 1,3/an	21 alertes sur 20 ans = 1,0/an
Pas plus d'une fausse alerte pour trois alertes vraies	39 fausses sur 47 vraies = 2,5 fausses sur 3 vraies	6 fausses sur 20 vraies = 0,9 fausses sur 3 vraies	2 fausses sur 19 vraies = 0,3 fausses sur 3 vraies
Pas plus d'une alerte manquée pour 5 alertes vraies	20 manquées sur 47 vraies = 2,1 manquées sur 5 vraies	4 manquées sur 20 vraies = 1 manquée sur 5 vraies	5 manquées sur 19 vraies = 1,3 manquées sur 5 vraies
Critères	Tminmax _{J0-2/J4-6} (surmortalité 10%)	Tminmax _{J0-2/J4-6} (surmortalité 15%)	IREminmax _{J0-2/J4-6} (surmortalité 15%)
Nb d'alerte ≤3 par an	62 alertes sur 20 ans = 3,1/an	28 alertes sur 20 ans = 1,4/an	26 alertes sur 20 ans = 1,3/an
Pas plus d'une fausse alerte pour trois alertes vraies	14 fausses sur 48 vraies = 0,87 fausses sur 3 vraies	7 fausses sur 21 vraies = 1 fausses sur 3 vraies	6 fausses sur 20 vraies = 0,9 fausses sur 3 vraies
Pas plus d'une alerte manquée pour 5 alertes vraies	19 manquées sur 48 vraies = 1,9 manquées sur 5 vraies	3 manquées sur 21 vraies = 0,7 manquées sur 5 vraies	4 manquées sur 20 vraies = 1 manquée sur 5 vraies
Critères	IREminmax _{J0-2/J4-6} (surmortalité 10%)		
Nb d'alerte ≤3 par an	74 alertes sur 20 ans = 3,7/an		
Pas plus d'une fausse alerte pour trois alertes vraies	33 fausses sur 41 vraies = 2,4 fausses sur 3 vraies		
Pas plus d'une alerte manquée pour 5 alertes vraies	26 manquées sur 41 vraies = 3,2 manquées sur 5 vraies		

À Marseille, les indicateurs qui remplissent les critères sont IREmin_{J0-2/J4-6} (surmortalité 15% et seuil -6°C), Tminmax_{J0-2/J4-6} (surmortalité 15%) et IREminmax_{J0-2/J4-6} (surmortalité 15%).

Comme il a été dit précédemment, l'IRE est un indicateur qui intègre le vent, paramètre météorologique plus difficile à prévoir que la température. L'utilisation de cet indicateur pourrait donc conduire à augmenter le nombre de fausses alertes ou d'alertes ratées en mode opérationnel. Il n'est donc pas opportun de le retenir.

L'indicateur double Tminmax au seuil de 15% de surmortalité reste donc le seul à remplir les critères et pouvant être utilisé de façon fiable en opérationnel. Cependant, l'indicateur simple Tmin (15%) remplit deux critères sur 3.

La comparaison des indicateurs les plus performants pour Paris et Marseille est faite dans le tableau 12.

Comparaison des indicateurs à Paris et Marseille

Critères		Tmin _{J0-2,J4-6} (surmortalité 10 %)	Tmin _{J0-2,J4-6} (surmortalité 15 %)	Tminmax _{J0-2,J4-6} (surmortalité 10%)	Tminmax _{J0-2,J4-6} (surmortalité 15%)
Paris	Nb d'alerte ≤3 par an	2,6 alertes/an	0,5 alerte/an	2,2 alertes/an	0,5 alerte/an
	Pas plus d'une fausse alerte pour trois alertes vraies	1,2 fausses alertes sur 3 vraies	0,3 fausses alertes sur 3 vraies	1 fausse alerte sur 3 vraies	0,3 fausse alerte sur 3 vraies
	Pas plus d'une alerte manquée pour 5 alertes vraies	0,3 alerte manquée sur 5 vraies	0,3 alerte manquée sur 5 vraies	0,9 alerte manquée sur 5 vraies	0,3 alerte manquée sur 5 vraies
Critères		Tmin _{J0-2,J4-6} (surmortalité 15 % et seuil -4 °C)	Tmin _{J0-2,J4-6} (surmortalité 15 % et seuil -5 °C)	Tminmax _{J0-2,J4-6} (surmortalité 15%)	
Marseille	Nb d'alerte ≤3 par an	1,5 alertes/an	1,1 alertes/an	1,4 alertes/an	
	Pas plus d'une fausse alerte pour trois alertes vraies	1,65 fausses alertes sur 3 vraies	0,7 fausse alerte sur 3 vraies	1 fausse alerte sur 3 vraies	
	Pas plus d'une alerte manquée pour 5 alertes vraies	1 alerte manquée sur 5 vraies	1,7 alertes manquées sur 5 vraies	0,7 alerte manquée sur 5 vraies	

(en grisé ceux qui répondent aux critères prédéfinis)

Le meilleur indicateur, à Paris comme à Marseille, est Tminmax_{J0-2/J4-6} pour une surmortalité estimée de 15 %, soit une exposition au froid sur les jours 0 à 2 et un impact sur les jours 4 à 6. À Paris, il n'apporte pas de plus-value par rapport à l'indicateur

simple Tmin. Cependant, dans une perspective d'extension des seuils à l'ensemble de la France, il est préférable de retenir un indicateur commun, qui est donc l'indicateur double. Pour cet indicateur, les seuils sont présentés dans le tableau 13.

Les seuils d'alerte pour l'indicateur retenu à Paris et Marseille

	Indicateur	Surmortalité correspondante	Seuil Tmin	Seuil Tmax
Paris	Tminmax _{J0-2/J4-6}	≥15 %	-9 °C	-2 °C
Marseille			-3 °C	+4 °C

Une fois un indicateur défini, il peut être envisagé de l'étendre à tout le territoire français métropolitain.

climatiques qui devront être établis avec Météo-France (régions ayant des caractéristiques climatiques proches l'hiver, en particulier concernant les températures minimales).

2. Extension de l'indicateur à l'ensemble du territoire

Deux options pourraient être retenues :

- les seuils de Marseille et Paris-PC peuvent être comparés avec les distributions de températures minimales et maximales de ces deux villes sur la période d'étude (1984-2003) afin de voir s'ils sont proches d'un percentile commun. Ceci permettrait ensuite d'utiliser ce percentile pour d'autres villes, par exemple une par département ;
- par ailleurs, la méthode des séries temporelles utilisée pour définir l'indicateur et les seuils de Paris et Marseille peut être appliquée à d'autres villes. Ces villes peuvent être choisies en fonction de critères

Ces deux méthodes présentent des avantages et des inconvénients : la première est simple et rapide à mettre en œuvre, mais les seuils ainsi trouvés seraient certainement moins fiables que ceux issus de l'étude pilote, car ils ne seront pas issus d'une analyse mettant en relation des données météorologiques et sanitaires. La deuxième est plus pertinente puisqu'elle reprend la méthode utilisée dans les villes pilotes. Cependant, elle nécessite des analyses longues et risque de se heurter à un problème de puissance statistique dans les villes où les données sanitaires seront moins nombreuses qu'à Paris et Marseille.

Dés lors qu'un indicateur et des seuils prédictifs d'une surmortalité ont été définis, et qu'il est envisageable de les étendre sur toute la France, la question se pose de leur utilisation dans un système d'alerte.

3. Utilisation de ces indicateurs pour mettre en place un système d'alerte

3.1 CRITÈRES DE PERTINENCE ET DE FAISABILITÉ

Pour qu'un système d'alerte "froid et santé" soit considéré comme pertinent et faisable, il faut :

- que le froid ait un impact sur la santé publique ;
- qu'un ou plusieurs indicateurs sanitaires soient définis afin de suivre l'impact de la vague de froid sur la santé ;
- qu'un indicateur biométéorologique prédictible soit mis en évidence à partir de l'analyse rétrospective de séries de données météorologiques et sanitaires ;
- que des seuils prédictifs d'un impact sanitaire significatif, donc pouvant servir de seuils d'alerte, soient définis, sur la base de critère de sensibilité et de Valeur prédictible positive (VPP) ;
- qu'il soit en mesure d'anticiper la survenue de l'événement afin de prendre des mesures correctives (réactivité) ;
- que l'indicateur retenu procure des résultats facilement interprétables et utilisables (simplicité) ;
- qu'il soit apte à évoluer dans le temps et l'espace (adaptabilité) ;
- qu'il existe une pathologie évitable (en termes de morbidité et/ou de mortalité) par le déclenchement d'une d'alerte ;
- que le système d'alerte fasse partie d'un plan d'action conçu pour diminuer l'impact de la morbidité et de la mortalité due au froid, et que l'efficacité des mesures envisagées soit démontrée.

3.2 LES CRITÈRES SONT-ILS REMPLIS ?

3.2.4.1 Que le froid ait un impact sur la santé publique

La relation entre froid et santé est largement décrite dans la littérature, qu'il s'agisse de la mortalité ou de la morbidité. Elle est documentée dans de nombreux pays et villes, mais avec des optimums thermiques qui diffèrent selon le climat considéré.

Concernant les décès, le froid a un impact sur la mortalité toutes causes mais plus spécifiquement sur la mortalité cardiovasculaire (et en particulier par arrêt cardiaque).

La bibliographie présentée dans la première partie de ce rapport montre qu'il existe des pathologies évitables par des mesures appropriées : pathologies d'origine athérombotique, pathologies respiratoires, pathologies liées à un chauffage insuffisant et inadéquat des habitations (allergies aux moisissures, intoxications au CO, mortalité), pathologies liées à la pratique de sport par grand froid.

3.2.4.2 Qu'un ou plusieurs indicateurs sanitaires soient définis afin de suivre l'impact de la vague de froid sur la santé.

Des indicateurs sanitaires non spécifiques ont été définis pour le suivi de l'impact des vagues de chaleur. Ces indicateurs pourraient être suivis également pendant la période hivernale. Leur pertinence reste à démontrer. Les données du réseau Oscour permettent d'ores et déjà un suivi de certaines pathologies au travers des passages aux urgences. Ces pathologies ont été définies à partir d'une analyse de

la littérature comme pouvant avoir un lien, direct ou indirect, avec le froid (cf. tableau 1 en début de ce rapport). Bien que non exhaustif avec une montée en charge progressive, le réseau couvre actuellement 35 % du total des passages aux urgences (200 services d'urgences) et 9 régions ont une couverture comprise entre 50 % et 100 %. Par ailleurs les données n'ont pas été étudiées finement pour montrer qu'elles étaient en relation avec les pics de froid. Cette relation paraît par ailleurs difficile à mettre en évidence du fait des différences d'impact entre le pic de froid et les différentes pathologies, des décalages devant être testés pour chacune d'entre elles. Un manque de recul est également préjudiciable à une telle étude, les hivers récents ayant été plutôt doux. Cependant il a été observé lors des pics de froid de décembre 2007 et de mars 2008 une recrudescence modérée des infections urinaires à partir des données des services d'urgence de certains départements touchés par le froid, et cette observation mériterait également d'être approfondie. Les données des services d'accueil aux urgences concernant les pathologies cardio-vasculaires et neurologiques ont montré plusieurs fois des pics en relation avec des baisses de la température, mais sans que cela ait été exploité de façon statistique.

Des indicateurs sanitaires pourraient donc être suivis mais leur choix nécessiterait une meilleure disponibilité spatiale des données d'urgence et une étude statistique sur une série historique de quelques années à hivers rigoureux. Il serait également nécessaire d'avoir mis en évidence une méthode statistique permettant d'évaluer l'impact d'un événement inhabituel tel qu'un pic de froid, ce qui n'est actuellement pas le cas.

3.2.4.3 Qu'un indicateur biométéorologique prédictible soit mis en évidence à partir de l'analyse rétrospective de séries de données météorologiques et sanitaires

Cet indicateur a été mis en évidence précédemment, il s'agit de l'association entre la température minimale et la température maximale sur 3 jours consécutifs, avec une surmortalité cumulée de 15 % ou plus, observée avec un décalage de 2 jours ($T_{min} \max_{j0-2j4-6}$).

3.2.4.4 Que des seuils prédictifs d'un impact sanitaire significatif, pouvant servir de seuils d'alerte, soient définis, sur la base de critère de sensibilité et de valeur prédictible positive (VPP)

Les seuils prédictifs d'une surmortalité ont été définis.

Ils sont respectivement de -9 et -2 °C pour les températures minimales et maximales à Paris avec une sensibilité de 0,82 et une VPP de 0,9.

Ils sont respectivement de -3 et +4 °C pour les températures minimales et maximales à Marseille avec une sensibilité de 0,87 et une VPP de 0,75.

Le rapport Euroheat sur l'amélioration des réponses de santé publique en cas de températures extrêmes (OMS, 2008a) précise qu'il est important que le système d'information climatique évite de déclencher des fausses alertes, dans la mesure où cela finit par entraîner une baisse de l'intérêt et de la réactivité des acteurs, des professionnels de santé et du public. Ce critère est respecté dans la mesure où l'indicateur génère en moyenne moins de une fausse alerte par an à Paris-PC et 0,3 à Marseille.

Il est par ailleurs important de constater que les seuils les plus performants trouvés dans les deux agglomérations (respectivement -9 et -3 °C pour les minimales) ne correspondent pas aux valeurs les plus basses de la température minimale sur la série 1984-2003, bien qu'il s'agisse de seuils cumulés sur trois jours. En effet, les températures minimales les plus basses enregistrées sont de -13,9 °C à Paris (le 17 janvier 1985) et -12,4 °C à Marseille (le 7 janvier 1985). À Paris, 18 jours sont inférieurs au seuil de -9 °C, et à Marseille 148 jours sont inférieurs au seuil de -3 °C. Il en va de même pour les températures maximales, dont les valeurs les plus basses sont de -10 °C à Paris et -5,1 °C à Marseille, alors que les seuils trouvés sont respectivement de -2 et +4 °C.

Ce résultat peut être interprété en supposant qu'en dessous d'une certaine température, les personnes sortent moins voire plus du tout, en particulier celles qui sont les plus sensibles (personnes âgées, etc.), et sont donc moins exposées au froid. Bien que ce ne soit pas toujours le cas, ceci peut être mis en relation avec l'aspect retrouvé pour certaines courbes en U température-mortalité, à savoir une augmentation de la mortalité en allant de l'optimum vers les températures basses, jusqu'à un certain seuil au-delà duquel les températures continuent de baisser mais la mortalité diminue. Ainsi les courbes de l'équipe de Keatinge *et al.* (2000) dans sept régions européennes montrent cet effet pour Athènes mais pas pour Londres ou la Finlande. Cela restera sans doute à nuancer par des études ultérieures, dans la mesure où l'analyse de l'impact sanitaire de l'hiver 2009 a montré que l'augmentation de la mortalité avait surtout touché les personnes de plus de 95 ans : une hypothèse non encore vérifiée pourrait être l'augmentation des déshydratations chez des personnes qui ont pu se trouver confinées à domicile, ou une déstabilisation de l'état général pouvant conduire au

décès chez les personnes les plus vulnérables, notamment en cas de pathologies chroniques, et chez les personnes âgées. Cependant, ces résultats établis peu après l'épisode devront être consolidés par des données plus exhaustives et par une information sur les pathologies concernées, sachant que si le froid est un paramètre pouvant expliquer cette augmentation des décès, la pathologie respiratoire infectieuse, très présente chez les personnes âgées depuis le début du mois de décembre 2008, ainsi que la grippe, peuvent également entrer en compte (Fouillet *et al.* 2009).

3.2.4.5 Qu'il soit en mesure d'anticiper la survenue de l'événement afin de prendre des mesures correctives (réactivité)

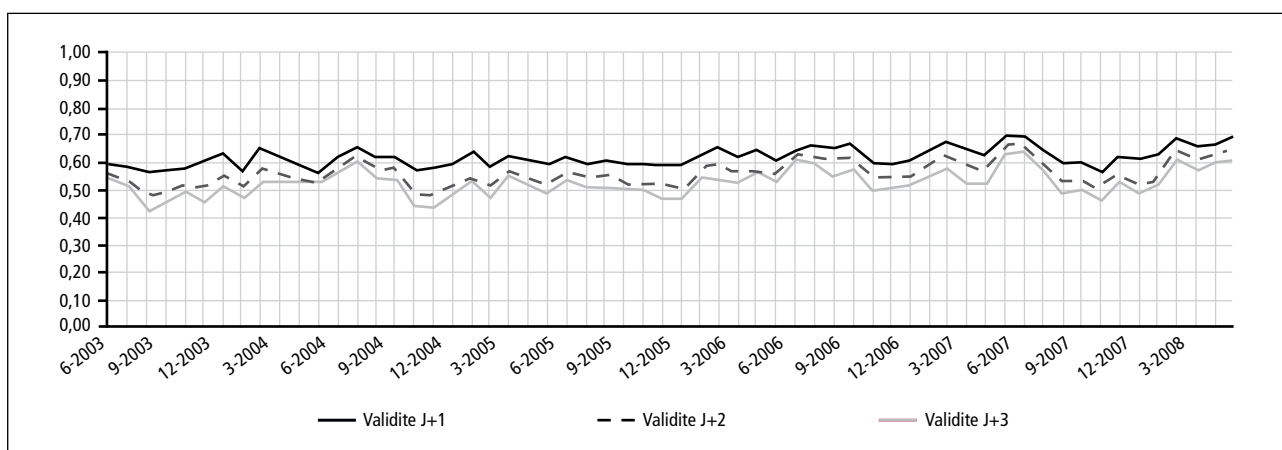
Les prévisions météorologiques sur la température minimale et maximale existent d'ores et déjà. Pour ce qui est de la température minimale, elles sont fournies en routine par Météo-France sur un site à l'usage des Ddass pour une ville pilote par département français métropolitain, avec trois jours d'anticipation (de J à J+3). Cette information constitue pour elles une aide à la décision pour les mesures destinées aux sans-abris (intensification des maraudes, ouverture de centres d'hébergement).

Par ailleurs, pour que les prévisions puissent être utilisées avec confiance, il faut que leur fiabilité soit bonne.

C'est le cas pour les températures minimales et maximales, comme le montre la figure 17 au sujet des températures minimales : le pourcentage de bonnes prévisions (c'est-à-dire un écart compris entre -0,5 et +0,4 °C par rapport à la valeur observée) est de l'ordre de 60 % à J+1, entre 50 et 60 % à J+2 et à peine inférieur à J+3 (figure 16).

FIGURE 16 |

Pourcentage de bonnes prévisions de la température minimale quotidienne ($t-0,5\text{ °C} < T < t+0,4\text{ °C}$) depuis juillet 2003 pour les échéances J+1, J+2, J+3

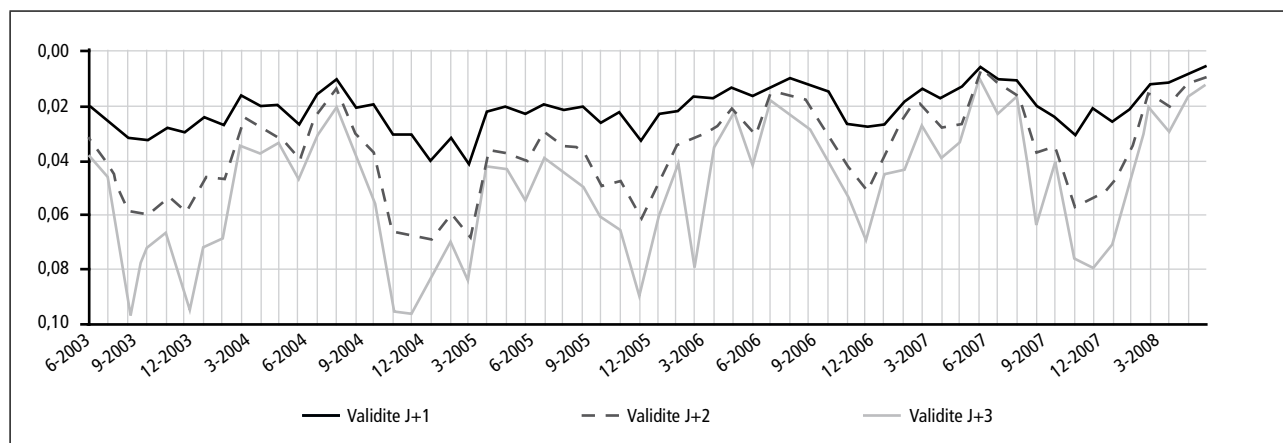


Source : Météo-France.

Par ailleurs le pourcentage de fortes erreurs de prévisions, c'est-à-dire un écart supérieur à 4 °C entre prévisions et observations, est généralement très faible, surtout à échéance du lendemain

(entre 1 et 4 % d'erreurs), comme le montre la figure 17. Les plus fortes erreurs semblent cependant intervenir plutôt durant les mois d'hiver, et peuvent atteindre 10 % à J+3.

Pourcentage d'erreurs de prévisions de la température minimale quotidienne supérieures à 4 °C, depuis juillet 2003 pour les échéances J+1, J+2, J+3



Source : Météo-France.

3.2.4.6 Que l'indicateur retenu procure des résultats facilement interprétables et utilisables (simplicité)

L'indicateur défini dans le cadre de notre étude est relativement facile à appréhender, dans la mesure où il s'agit de l'association de deux paramètres météorologiques de base, les températures minimales et maximales, et non d'un indicateur complexe intégrant des calculs comme l'IRE. Il est cependant un peu plus complexe à interpréter qu'un indicateur simple comme la température minimale.

3.2.4.7 Qu'il soit apte à évoluer dans le temps et l'espace (adaptabilité)

Nous avons vu qu'il était envisageable d'étendre les indicateurs à d'autres villes, soit à partir des percentiles, soit en refaisant les analyses de ce rapport dans des villes de climats différents (adaptabilité géographique). Par ailleurs, l'indicateur est adaptable dans le temps moyennant de nouvelles analyses, ce qui pourrait être envisagé en

cas d'évolution notable des températures minimales et maximales hivernales.

3.2.4.8 Qu'il existe une pathologie évitable (en termes de morbidité et/ou de mortalité) par le déclenchement d'une alerte.

Bien que des recherches doivent encore être menées, en particulier sur la part de l'exposition au froid au domicile et à l'extérieur sur la morbidité et la mortalité, la deuxième partie de ce rapport a montré en l'état actuel des connaissances que la plupart des mesures étaient des mesures de fond, devant être prises sur le long terme, et que les mesures conjoncturelles ne nécessitaient pas la mise en place d'un système d'alerte lourd tel que pour la canicule, mais une simple mise en vigilance, par exemple *via* la carte de Météo-France. Le tableau suivant permet de mettre en évidence l'importance des mesures de fond pour la prévention des problèmes sanitaires liés au froid, par rapport aux mesures d'alerte, en les comparant avec les mesures estivales (tableau 14).

Comparaison des mesures canicule et froid (alerte vs mesures de fond)

Mesures en alerte		Mesures de fond	
Canicule	Froid	Canicule	Froid
Information de la population du niveau d'alerte et des conseils de prévention : carte de vigilance, messages radio + TV + ouverture d'un numéro vert	Diffusion de conseils de prévention : - éviter les activités en plein air - chauffer domicile + véhicules - porter des habits chauds - avoir un apport calorique suffisant, consommer des boissons chaudes	Campagne de prévention saisonnière	Campagne de prévention saisonnière
Intervention des services sanitaires et sociaux auprès des personnes à risque (téléphone, visite, aide à domicile) dans le cadre du plan d'alerte et d'urgence (loi n° 2004-626 du 30/06/2004 relative à la solidarité pour l'autonomie des personnes âgées et handicapées)	Ouverture des centres d'hébergement pour les personnes sans-abri et renforcement des maraudes (alertes préfectorales dépendant de divers facteurs pour la plupart indépendants de seuils météorologiques)	Mise en place d'une pièce rafraîchie dans les hôpitaux et maisons de retraite	Amélioration de la performance énergétique des habitations
Le préfet s'assure de la permanence des soins (médecins de ville)		Repérage des personnes à risque qui en font la demande par les mairies	Procédure d'insalubrité (dont excès de chaud ou de froid)
Repérage et soutien des personnes sans-abri, orientation vers un lieu d'hébergement		Avant l'été, les préfets recensent les services de soins infirmiers à domicile, les associations et services d'aide à domicile, les associations de bénévoles et vérifient leurs dispositifs de permanence estivale	Normes de construction (isolation thermique)
Déclenchement des plans bleus		Information saisonnière du public (TV, dépliants, Internet)	Aides publiques (réhabilitation de l'habitat, accès à l'énergie)
Déclenchement des plans blancs		Protocoles de prévention + surveillance pour les personnes sans-abri	Trêve hivernale (pas d'expulsions 1 ^{er} nov-15 mars)

3.2.4.9 Que le système d'alerte fasse partie d'un plan d'action conçu pour diminuer l'impact de la morbidité et de la mortalité due au froid, et que l'efficacité des mesures envisagées soit démontrée

Il existe actuellement un plan d'action, même si l'efficacité des mesures répertoriées n'a pas encore été évaluée. Ce plan nécessiterait sans doute d'intégrer des informations météorologiques plus graduées, avec des seuils de froid extrême tels que définis actuellement dans la vigilance, et des seuils de vague de froid plus "ordinaires" qui pourraient être ceux définis dans ce rapport et être utilisés pour la vigilance jaune. L'expérience de la canicule nous a montré que, après avoir mis en place un système d'alerte météorologique géré par l'InVS, il convenait de rendre l'analyse de la situation météorologique aux experts en la matière, à savoir Météo-France, et de recentrer l'InVS dans ses missions de surveillance sanitaire. Cette expérience nous conforte dans le cas du froid, où par ailleurs les mesures sont davantage des mesures de fond que conjoncturelles, à proposer une réflexion avec Météo-France pour élargir et intégrer les seuils définis dans ce rapport à la carte de vigilance, et à renforcer la mise en place des mesures de fond relatives à l'habitat et à l'accès à l'énergie.

4. Utilisation de ces indicateurs pour définir des périodes à risque dans le cadre de la surveillance sanitaire

À la suite de la vague de froid de janvier 2009, un bilan sanitaire de l'hiver a été demandé par la direction de l'InVS. Il a été réalisé à partir des données de mortalité transmises par l'Insee (Fouillet *et al.* 2009). Cependant, contrairement à la canicule 2006 où la période de référence avait pu être définie en fonction des jours de dépassement des seuils, cela n'a pas été le cas pour cet épisode froid.

Les seuils déterminés dans ce rapport, éventuellement étendus à l'ensemble du territoire, pourraient ainsi être utilisés pour définir précisément les périodes de vague de froid sur lesquelles il serait nécessaire de faire un bilan sanitaire.

Conclusion, recommandations et perspectives

Nos analyses statistiques ont comporté certaines limites et des restrictions ont dû être envisagées par rapport aux analyses prévues initialement :

- l'utilisation des séries temporelles, qui permet d'intégrer la grippe comme facteur de confusion, a nécessité de réduire la période d'étude aux années où l'indicateur "grippe" était disponible, soit 1984-2003. Ceci n'a pas permis d'inclure un grand nombre de vagues de froid ;
- par ailleurs, nous avons envisagé, outre la mortalité globale, de tester différentes causes de décès pour certaines tranches d'âge plus sensibles (personnes âgées) : mortalité cardiovasculaire (code CIM10 I10 à I28, I40 à I52, I60 à I69 et I95 à I99), mortalité suite à une infection respiratoire (J20 à J22, J40 à J47, J80 à J81 et J96 à J99), mortalité cérébrovasculaire (I60 à I69). Ce deuxième type d'analyse n'a pas pu être réalisé car les effectifs devenaient alors trop faibles pour réaliser des analyses statistiques suffisamment puissantes ;
- enfin, afin de définir un indicateur et un seuil d'impact sanitaire du froid à partir de données météorologiques et de morbidité, il a été envisagé d'utiliser certaines pathologies comme indicateurs de morbidité : les accidents vasculaires cérébraux, les cardiopathies ischémiques, les infections respiratoires. Les données de morbidité devaient être recueillies à partir du PMSI (programme de médicalisation des systèmes d'information). Cependant, ces données ne sont pas disponibles sur une période de temps suffisante pour pouvoir être exploitées et leur utilisation n'a pas pu se faire.

Malgré ces limites, cette étude a permis de faire le point sur les relations entre froid et santé, les vagues de froid que la France a expérimenté, de synthétiser les plans d'action existant, en France où à l'étranger et de recenser les mesures à prendre pour protéger la population.

Par ailleurs, un indicateur et des seuils prédictifs d'une surmortalité ont pu être définis. Il s'agit du cumul sur trois jours des températures minimales et maximales, avec des seuils de -9 et -2 °C à Paris, -3 et +4 °C à Marseille. En dessous de ces seuils, il y a un risque de surmortalité de 15 % ou plus décalée sur les jours J+4 à J+6. Cet indicateur et ces seuils correspondent à une bonne sensibilité et une bonne valeur prédictive positive, et sur la période d'étude leur utilisation comme seuils d'alerte aurait déclenché moins d'une fausse alerte pour 3 vraies, et en auraient raté moins d'une sur cinq, avec en tout moins de trois déclenchements d'alerte par an en moyenne.

Les critères de pertinence pour l'utilisation de cet indicateur sont remplis : il a été mis en évidence à partir d'une analyse rétrospective de séries de données météorologiques et sanitaires, il est associé à des seuils d'alerte définis sur la base de critères de sensibilité et de valeur prédictive positive, il est en mesure d'anticiper la survenue de l'événement (réactivité), il procure des résultats facilement interprétables et utilisables (simplicité) et il est apte à évoluer dans le temps et l'espace (adaptabilité).

Cependant, s'il existe bien un impact du froid sur la santé et une pathologie évitable, les mesures appropriées pour réduire cet impact sont avant tout des mesures de fond sur le long terme (accès à une énergie propre et financièrement acceptable et isolation des habitations) et de la prévention saisonnière telle que réalisée actuellement par l'Inpes sur le moyen terme. Quant aux mesures conjoncturelles, essentiellement de type information à la population en cas d'épisode froid, elles ne nécessitent pas la mise en place d'un système d'alerte lourd à gérer et coûteux, mais pourraient s'appuyer sur les seuils définis dans cette étude, eux-mêmes intégrés à la carte de vigilance de Météo-France, selon des modalités à discuter avec leurs services.

En conclusion, bien que le froid ait un impact démontré sur la mortalité, il ressort de notre étude qu'un système d'alerte ne serait pas la solution la plus efficace pour réduire la vulnérabilité de la population. Ainsi, l'InVS recommande :

- d'encourager la prévention par l'information saisonnière sur les dangers du froid et par des mesures de nature sociale : droit au logement, incitation à l'équipement des logements, aides financières pour payer et entretenir le chauffage, etc ;
- dans l'immédiat, de s'appuyer sur la carte de vigilance de Météo-France pour identifier un éventuel événement exceptionnel (événement qu'on ne peut pas isoler avec l'analyse puisque la seule vague de froid significative est 1985, mais qui peut cependant arriver) ;
- de poursuivre la réflexion avec Météo-France sur l'utilisation possible des seuils identifiés dans cette étude pour la prévention des vagues de froid "non exceptionnelles". Ces seuils pourraient éventuellement être utilisés par Météo-France pour sa carte de vigilance et servir notamment à définir des périodes de surveillance épidémiologique.

Par ailleurs, les études sur le sujet des relations entre froid et santé mériteraient d'être poursuivies : étude de la morbidité, utilisation de données hospitalières, études de pathologies ou de populations spécifiques, mise en place d'études spécifiques en particulier auprès de personnes vivant dans des logements mal ou pas chauffés. Dans le cadre de l'OQAI ou par un suivi de cohorte, il serait intéressant de comparer la morbidité et la mortalité des personnes âgées selon leurs capacités de chauffage, en mettant en place une campagne de mesure de température à l'intérieur des logements. En effet, le rapport 2006 sur l'état de la qualité de l'air dans les logements français a révélé que, si la température est supérieure à 21 °C dans 50 % des logements, l'amplitude est très importante, en particulier dans les pièces de sommeil, allant de 5,4 à 29,5 °C (Kirchner *et al.* 2006).

Enfin, la vague de froid de janvier 2009 a mis en évidence une surmortalité chez les personnes très âgées (plus de 95 ans) dont il conviendrait de mieux cerner les raisons afin de pouvoir proposer des mesures spécifiques à cette population.

Références bibliographiques

- Akaike H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. International Symposium on Information Theory. Petrov BN, Csaki F, eds. Budapest (Hungary): Akademiai Kiado. p 267-81.
- Analitis A, Katsouyanni K, Biggeri A, Baccini M, Forsberg B, Bisanti L, Kirchmayer U, Ballerter F, Cadum E, Goodman G, Hojs A, Sunyer J, Tiittanen P, Michelozzi P. 2008. Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE project. *Am J Epidemiol*, 168:1397-1408.
- Anil. 2003. L'expertise technique des logements. *Habitat actualités*. 55 p.
- Ballester F, Corella D, Perez-Hoyos S, Saez M, Hervas A. 1997. Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain, 1991-1993. *Int J Epidemiol*, 26(3):551-61.
- Basu R, Samet JM. 2002. Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence. *Epidemiol Rev*, 24(2):190-202.
- Beaudeau P, Besançon JP, Caserio-Schönemann C, Cohen JC, Dejour-Salamanca D, Empereur-Bissonnet P, Ernie Y, Illef D, Laaidi K, Ledrans M, Le Tertre A, Médina S, Pascal M, Lecoffre C. 2004. Froid et santé. Éléments de synthèse bibliographique et perspectives. Rapport d'investigation. Institut de veille sanitaire. 44 p.
- Bell ML, Samet JM, Dominici F. 2004. Time-Series Studies of Particulate Matter. *Ann Rev Public Health*, 25:247-80.
- Besançon JP. 1997. Les grands paroxysmes climatiques et leurs répercussions sur la santé. *Presse thermique et climatique*, 134(4):237-46.
- Braga AL, Zanobetti A, Schwartz J. 2002. The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 US cities. *Environ Health Perspect*, 110:859-86.
- Caplan CE. 1999. The big chill: diseases exacerbated by exposure to cold. *CMAJ*, 160(1):88.
- Carder M, McNamee R, Beverland I, Elton R, Cohen GR, Boyd J, Agius RM. 2005. The lagged effect of cold temperature and wind chill on cardiorespiratory mortality in Scotland. *Occup Environ Med*; 62:702-10.
- Carrat F, Valleron AJ. 1995. Influenza mortality among the elderly in France, 1980-90: how many deaths may have been avoided through vaccination? *J Epidemiol Community Health*, 49(4):419-25.
- Caserio-Schönemann C. 2004. Utilisation des données de mortalité dans l'alerte sanitaire. Pertinence, faisabilité, perspectives. Thèse de médecine. Université de Rennes 1. 246 p.
- CDC. 2003. Hypothermia-Related Deaths. Philadelphia, 2001, and United States, 1999. *MMWR weekly*. 52(05):86-87. Disponible sur Internet (dernière consultation le 05/01/2009) : www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5205a3.htm
- Cohen JC, Fournier A. 1989. Bilan d'une expérience de prévision biométéorologique du risque d'infarctus du myocarde. *La météorologie*, 29:13-21.
- Credoc 2007. Document confidentiel sur les conditions de vie et aspirations des français. Enquête sur la notoriété de la carte de vigilance météo. Communication personnelle.
- Curriero FC, Heiner KS, Samet JM, Zeger SL, Strug L, Patz JA. 2002. Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States. *Am J Epidemiol*, 155:80-7.
- Degoulet P, Fieschi M. 2004. Données et décisions médicales. In : *Traitement de l'information médicale, méthodes et applications hospitalières*. Disponible sur Internet (dernière consultation le 05/02/2009) : www.spim.jussieu.fr/doc/pdg/Livres/InfoMedicale/Chap7.pdf
- Department of Health. Public & Environmental Health Research Unit, London School of Hygiene & Tropical Medicine. 2006. Evaluation of the met office health forecasting project for primary care and NHS trusts. Final report. 48 p. Disponible sur Internet (dernière consultation le 05/02/2009) : www.dh.gov.uk/en/Publicationsandstatistics/Publications/PublicationsPolicyAndGuidance/DH_4136362

Department of health. Public & Environmental Health Research Unit, London School of Hygiene & Tropical Medicine. 2007. Warm Front leaflet and application form. Disponible sur Internet (dernière consultation le 05/02/2009) : www.dh.gov.uk/en/Publicationsandstatistics/Publications/PublicationsPolicyAndGuidance/DH_078030

Department of health. Public & Environmental Health Research Unit, London School of Hygiene & Tropical Medicine. 2009. Keep Warm Keep Well. Disponible sur Internet (dernière consultation le 05/02/2009) : www.dh.gov.uk/en/SocialCare/Deliveringadultsocialcare/Olderpeople/DH_4076849

Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature. 2008. Le bail a réhabilitation. Un dispositif de substitution aux propriétaires privés pour la réhabilitation du bâti. Lettre des études, 40:1-4. Disponible sur Internet (dernière consultation le 17/11/2009). http://www.habitatindigne.logement.gouv.fr/IMG/pdf/lettre_dg_bar_juillet08_cle0ad966.pdf

Dobson R. 2001. Health weather forecasts to be piloted in England. *British Medical J*, 322(7278):72.

Dominici F, Samet JM, Zeger SL. 2000. Combining evidence on air pollution and daily mortality from 20 largest US cities: a hierarchical modelling strategy. *J R Statist Soc A*, 163:263-302.

Donaldson GC, Rintamäki H, Näyhä S. 2001. Outdoor clothing: its relationship to geography, climate, behaviour and cold-related mortality in Europe. *Int J Biometeorol*, 45:45-51.

Donaldson, GC, Keatinge WR. 2003. Cold related mortality in England and Wales; influence of social class in working and retired age groups. *J Epidemiol Community Health*, 57(10):790-1.

EPEE (European fuel poverty and Energy Efficiency). 2005. Évaluation de la précarité énergétique en Belgique, Espagne, France, Italie et Royaume-Uni. Enquête EU-SILC. Disponible sur Internet (dernière consultation le 05/02/2009) : www.fuel-poverty.com/files/WP2_D6-fr.pdf

Eurowinter Group. 1997. Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe. *Lancet*, 349:1 341-6.

Flamant S. 2006. Comparaison des dispositifs britannique et français d'évaluation de l'insalubrité des immeubles destinés à l'habitation. Mémoire ingénieur du génie sanitaire. École nationale de la santé publique. 70 p.

Fouillet A, Illef D, Josseran. 2009. Surveillance de la mortalité en France au cours de l'hiver 2008-2009, premiers éléments. *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*, 15:133-7.

Gijsenbergh FP, Vispoel M, Poppe H, Delooz H. 1989. Weather influence on the prevalence of carbon monoxide intoxications. *Hum Toxicol*, 8:355-8.

Hajat S, Haines A. 2002. GP consultations for respiratory and cardiovascular disease amongst the elderly in London. *Int J Epidemiol*, 31:825-30.

Hajat S, Kovats RS, Atkinson RW, Haines A. 2002. Impact of hot temperature on death in London: a time series approach. *J Epidemiol Community Health*, 56:367-72.

Hastie T, Tibshirani R. (1990), *Generalized Additive Models*. 1st ed. London: Chapman & Hall. 336 p.

Healy JD. 2003. Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors. *J. Epidemiol. Community Health*, 57:784-9.

Huang J. 2007. Prediction of air temperature for thermal comfort of people in outdoor environment. *Int J Biometeorol*, 51:375-82.

Hung DZ, Deng JF, Yang CC, Jen LY. 1994. The climate and the occurrence of carbon monoxide poisoning in Taiwan. *Hum Exp Toxicol*, 13:493-5.

Huynen MMTE, Martens P, Schram D, Weijenberg MP, Kunst AE. 2001. The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. *Environmental Health Perspectives*, 109(5):463-70.

Imai Y, Munakata M, Tsuji I, Ohkubo T, Satoh H, Yoshino H, Watanabe N, Nishiyama A, Onodera N, Kato J, Sekino M, Aihara A, Kasai Y, Abe K. 1996. Seasonal variation in blood pressure in normotensive women studied by home measurements. *Clin Sci*, 90(1):55-60.

- Institut national de santé publique du Québec. 2006. Effets du climat sur la mortalité au Québec méridional de 1981 à 1999 et simulations pour des scénarios climatiques futurs. Direction risques biologiques, environnementaux et occupationnels. 36 p.
- InVS, Cire Nord, Drass Nord-Pas-de-Calais, Ddass Nord. 2008. Influence des paramètres météorologiques sur l'occurrence de pics d'intoxications au monoxyde de carbone dans le Nord-Pas-de-Calais. Rapport Météo-France, 79 p.
- Johnson H, Griffiths C. 2003. Estimating excess winter mortality in England and Wales. *Health Statistics Quarterly*. 20:19-24.
- Keatinge WR, Coleshaw SR, Cotter F, Mattock M, Murphy M, Chelliah R. 1984. Increases in platelet and red cell counts, blood viscosity, and arterial pressure during mild surface cooling: factors in mortality from coronary and cerebral thrombosis in winter. *BMJ (Clin Res Ed)*, 289:1405-8.
- Keatinge WR, Donaldson GC, Cordioli E, Martinelli M, Kunst AE, Mackenbach JP, W R, Nayha S, Vuori I. 2000. Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study. *BMJ*, 321:670-3.
- Keatinge WR. 2002. Winter mortality and its causes. *Int J Circumpolar Health*, 61(4):292-9.
- Kirchner S, Arenes JF, Cochet C, Derbez M, Duboudin C, Elias P, Gregoire A, Jédor B, Lucas JP, Pasquier N, Pigneret M, Ramalho O. 2006. Campagne nationale logements. État de la qualité de l'air dans les logements français. Rapport final. OQAI, 165 p.
- Kunst AE 2001. Refroidissement éolien et mortalité aux Pays-Bas. *Climat et santé, cahiers de bioclimatologie et de biométéorologie humaine*, 63-76.
- Kunst AE, Caspar WN, and Mackenbach J. 1993. Outdoor temperature and mortality in the Netherlands: a time-serie analysis. *Am J Epidemiol*, 173:331-41.
- Laaidi M, Laaidi K, Besancenot JP. 2006. Temperature-related mortality in France, a comparison between regions with different climates from the perspective of global warming. *Int J Biometeorol*, 51:145-53.
- Lampietti JA, Meyer AS. 2003. Coping with the cold. Heating strategies for Eastern Europe and Central Asia's urban poor. Word bank technical paper n° 529. Europe and Central Asia Environmentally and socially sustainable development series.
- Laschewski G, Jendritzky G. 2002. Effect of the thermal environment on human health: an investigation of 30 years of daily mortality data from SW Germany. *Clim Res*, 21:91-103.
- Lehoucq R. 2000. Libre propos d'un physicien sur les sensations de chaud et de froid. *Climat et santé, cahiers de bioclimatologie et de biométéorologie humaine*, 5-9.
- Lerchl A. 1998. Changes in the seasonality of mortality in Germany from 1946 to 1995: the role of temperature. *Int J Biometeorol*, 42.2:84-8.
- Lillienthal I, Quinton V. 1986. Étude de l'influence de la situation météorologique sur la fréquence des cas pathologiques (asphyxies, suicides). Rapport de stage d'approfondissement, juin 1986.
- MacKenzie M. 2000. Cold exposure and winter mortality in Europe. *Lancet*, 350:590-1.
- McGregor GR, Watkin H, Cox Michelle. 2004. Relationships between the seasonality of temperature and ischaemic heart disease mortality: implications for climate based health forecasting. *Clim Res*, 25:253-63.
- Medina-Ramón M, Zanobetti A, Cavanagh DP, Schwartz J. 2006. Extreme Temperatures and Mortality: Assessing Effect Modification by Personal Characteristics and Specific Cause of Death in a Multi-City Case-Only Analysis. *Environ Health Perspectives*, 114(9):1 331-6.
- Mohen J, Marshall JM, Reid HL, Thomas PW, Hambleton I, Serjeant GR. 1998. Comparison of response evoked by mild indirect cooling and by sound in the forearm vasculature in patients with homozygous sickle cell disease and in normal subjects. *Clin Auton Res*. 8.1:25-30.
- Neild PJ, Syndercombe-Court D, Keatinge WR, Donaldson GC, Mattock M, Counce M. 1994. Cold-induced increases in erythrocyte count, plasma cholesterol and plasma fibrinogen of elderly people without a comparable rise in protein C or factor X. *Clin Sci*, 86:43-8.
- OMS. 2008a. Heat-health action plans guidance. Rapport du projet Euroheat, Matthies F, Bickler G, Cardeñosa Marin N, Hales S (eds) 45 p.
- OMS 2008b. Protecting health in Europe from climate change. Menne B, Apfel F, Kovats S, Racioppi F (eds) 50 p.

ORS Île-de-France. 1987. Conséquences de la vague de froid de janvier 1985 sur la mortalité en Île-de-France. 31 p.

Over50s (web site). Help with heating your home. London, Office of Public Sector Information, 2008. Disponible sur Internet (dernière consultation le 05/02/2009) : www.direct.gov.uk/en/Over50s/HomeAndCommunity/StayingInYourHome/DG_10026850

Pascal M, Wagner V, Gourier-Fréry C. 2006. Influence des facteurs météorologiques sur la survenue d'intoxications au CO dans l'habitat. Note interne.

Panagiotakos DB, Chrysohoou C, Pitsavos C, Nastos P, Anadiotis A, Tentolouris C, Stefanadis C, Toutouzas P, Paliatsos A. 2004. Climatological variations in daily hospital admissions for acute coronary syndromes. *Int J Cardiol*, 94:229-33.

Pattenden S, Nikiforov B, and Armstrong BG. 2003. Mortality and temperature in Sofia and London: *J. Epidemiol. Community Health*, 57:628-33.

Philipps DP, JR Jarvinen, IS Abramson, RR Phillips. 2004. Cardiac mortality is higher around Christmas and New Year's than at any other time. The holidays as a risk factor for death. *Circulation*, 110:3781-8.

R Development Core Team. 2004. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0. Disponible sur Internet à l'adresse (dernière consultation le 05/02/2009) : www.R-project.org

Simonsen L, Clarke MJ, Williamson GD and al. 1997. The impact of influenza epidemics on mortality: introducing a severity index. *Am J Public Health*, 87:1944-50.

Stout RW, Crawford V. 1991. Seasonal variations in fibrinogen concentrations among elderly people. *Lancet*, 338:9-13.

Touloumi G, Atkinson R, Le Tertre A, Samoli E, Schwartz J, Schindler C, Vonk J, Rossi G, Saez M, Rabszencko D, Katsouyanni K. 2004. Analysis of Health outcome time series data in epidemiological studies. *Environmetrics*, 15:101-17.

Vaux S, Valette M, Enouf V, Bensoussan JL, Turbelin C, Blanchon T, Cohen JM, Van der Werf S, Lina B, Caillère N, Bonmarin I, Levy-Bruhl D. 2008. Surveillance épidémiologique et virologique de la grippe en France : saison 2007-2008. *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*, 34:301-4.

White MR. 1985. Characterization of information requirements for studies of CO2 effects: Water resources, agriculture, fisheries, forests and human health. Washington, DC Department of Energy. 172-206.

Wood SN. 2001. mgcv: GAMs and Generalized Ridge Regression for R. *R News*. 1(2):20-5.

Wood SN. 2003. Thin-plate regression splines. *JR Stat Soc*, 65(1):95-114.

Woodhouse PR, Khaw KT, Plummer M. 1993. Seasonal variation of blood pressure and its relationship to ambient temperature in an elderly population. *J Hypertens*, 11:1267-74.

Yasui T, Uemura H, Irahara M, Arai M, Kojimahara N, Okabe R, Yasumoto I, Tashiro S, Sato H. 2007. Differences in sensitivity to cold in Japanese men and postmenopausal women aged ≥ 50 years. *Gender Medicine*, 4(4):359-66.

Annexe – Saisine relative à la mortalité hivernale



Ministère de la Santé et des Solidarités

Direction générale de la santé

Sous direction *Gestion des risques des milieux*
Bureau *air, sol, déchets*
Bureau *bâtiments, bruit et milieux de travail*
DGS/SD7B/SD7C - N° 263/504
Personnes chargées du dossier :
Frédéric JOURDAIN / Nathalie TCHILIAN
Téléphone : 01 40 56 65 06
Télécopie : 01.40.56.50 56

Paris, le 13 NOV. 2006

Le Directeur général de la santé

à

Monsieur Gilles BRUCKER
Directeur général de l'Institut de veille
sanitaire
Département Santé-Environnement
12, rue du Val d'Osne
94415 Saint-Maurice cedex



Objet : saisine relative à la mortalité hivernale.

Chaque année une mortalité hivernale importante est observée au sein de la population générale, dans l'ensemble des pays européens. Singulièrement, cette mortalité saisonnière est plus importante dans les pays où l'hiver est peu rigoureux (Espagne, Portugal) que dans des pays plus froids comme les pays scandinaves. C'est ce que certains auteurs appellent le « paradoxe de la surmortalité hivernale ». Ceci tend à démontrer que cette surmortalité serait pour partie évitable.

Il importe donc de tout mettre en œuvre pour réduire cette mortalité hivernale. Si la prise en compte des plus démunis comme les personnes sans domicile fixe, est bien entendu nécessaire, le plan grand froid - à l'image de ce qui a été fait pour le plan canicule - devrait être étendu aux autres catégories de personnes à risque qui représentent la très grande majorité des décès hivernaux : enfants, personnes âgées, personnes à mobilité réduite, asthmatiques, cardiaques... Le système de vigilance hivernale actuel devrait par conséquent suivre la même logique et être adapté à ces populations sensibles. Le plan grand froid "élargi" s'intégrerait par ailleurs dans l'action n°3 du Plan National Santé Environnement : "Maîtriser les risques sanitaires liés aux températures extrêmes".

Dans ce contexte, je vous serais reconnaissant de mettre en place un programme de travail qui, dans un premier temps, pourra s'organiser selon les deux axes suivants :

1. Dresser un état des connaissances relatif aux facteurs de risque relatifs à la morbidité et à la mortalité hivernale
2. Etudier la faisabilité et la pertinence de la mise en place d'un système d'alerte « froid et santé »

Il serait souhaitable que vous me fassiez parvenir vos conclusions, notamment le rapport de faisabilité, avant la fin du 1^{er} trimestre 2007.

Le Directeur Général de la Santé,

Pr Didier HOUSSIN

Copie : DéSUS, SD5, DGAS

Vagues de froid et santé en France métropolitaine

Impact, prévention, opportunité d'un système d'alerte

Ce rapport répond à une saisine de la Direction générale de la santé.

Il présente les connaissances bibliographiques sur les relations froid/santé (mécanismes physiologiques, facteurs de risques, pathologies), des éléments contextuels sur les vagues de froid passées, les activités de l'InVS sur le sujet et les dispositifs étrangers. Un bilan des mesures de protection de la population contre le froid a été dressé, distinguant actions de fond ou en alerte. Un indicateur et des seuils prédictifs d'un impact sanitaire ont été recherchés. L'étude, réalisée sur Paris Petite-couronne et Marseille (1984-2003), repose sur l'analyse de séries temporelles afin de définir la surmortalité liée au froid. Une analyse de sensibilité/spécificité a permis de mettre en évidence qu'un indicateur double associant les températures minimales et maximales sur trois jours, associé à une surmortalité cumulée de 15 % de J4 à J6, était le plus pertinent, pour des seuils prédictifs de surmortalité de $-9/-2^{\circ}\text{C}$ (Tmin/Tmax) à Paris, et $-3^{\circ}/+4^{\circ}\text{C}$ à Marseille.

Si on utilisait ces seuils pour déclencher des alertes, cela représenterait en moyenne 2,2 alertes par an à Paris et 1,4 à Marseille et 1 fausse alerte pour 3 vraies dans les deux villes, ce qui permettrait d'éviter un nombre trop élevé de fausses alertes qui pourrait décrédibiliser le système.

Cependant, la mise en place d'un système d'alerte n'est pas pertinente car les actions permettant de diminuer la vulnérabilité de la population sont surtout des mesures de fond. Les mesures conjoncturelles, nécessitant de mettre en vigilance la population et les autorités locales, peuvent se faire par la carte de vigilance de Météo-France selon des modalités à définir avec eux.

Mots clés : climat froid, système alerte, surveillance épidémiologique, prévention, étude de faisabilité, isolation thermique, chauffage, France

Cold spells in metropolitan France

Impact, prevention and opportunity for an alert system

This report responds to a referral from the General Directorate of Health.

It reviews the literature knowledge on the relationships between cold and health (physiological mechanisms, risk factors, diseases), context information on cold spells, InVS work on the subject and the foreign systems.

We summarized the actions to protect the population from cold, separating alert or long-term measures. An indicator and thresholds to predict a health impact were searched. The study, conducted in Paris and Marseille (1984-2003) is based on a time-series analysis, to define the excess mortality due to cold. A sensitivity/specificity study enabled to find that a double indicator associating minimal and maximal temperatures on three days, associated with an excess mortality of 15% from days D4 to D6, was the most reliable, with thresholds predicting an excess mortality of $-9/-2^{\circ}\text{C}$ (Tmin/Tmax) in Paris, and $-3^{\circ}/+4^{\circ}\text{C}$ in Marseille.

If these thresholds were used for an alert system, it would represent an average of 2.2 alerts per year in Paris and 1.4 in Marseille, and 1 false alert for three real ones in both cities: this would avoid launching too many false alerts which could alter the credibility of the system. However, setting an alert system is not pertinent because the measures enabling to decrease the population vulnerability to cold are mainly long-term measures. Short term measures, involving warning the population and the local authorities, could be done thanks to the meteorological vigilance map, according to modalities to be discussed with the meteorological services.

Citation suggérée :

Laaidi K, Economopoulou A, Wagner V, Pascal M, Empereur-Bissonnet P. Vagues de froid et santé en France métropolitaine. Impact, prévention, opportunité d'un système d'alerte. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, novembre 2009, 50 p. Disponible sur www.invs.sante.fr

INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE

12 rue du Val d'Osne

94 415 Saint-Maurice Cedex France

Tél. : 33 (0)1 41 79 67 00

Fax : 33 (0)1 41 79 67 67

www.invs.sante.fr

ISSN : 1958-9719
 ISBN-NET : 978-2-11-098835-5
 ISBN : 978-2-11-098802-7
 Tirage : 170 exemplaires
 Impression : France Repro –
 Maisons-Alfort
 Réalisé par Diadeis-Paris
 Dépôt légal : novembre 2009