

20 mars 2012 / n° 12-13

Numéro thématique - Identifier et surveiller les impacts sanitaires du changement climatique pour s'y adapter / Special issue - Identify and monitor health impacts of climate change in the context of adaptation

p. 145 **Éditorial / Editorial**

p. 146 **Note éditoriale / Editor's note**

p. 146 **Quels impacts sanitaires du changement climatique et quels rôles pour la surveillance ? / What are the health impacts of climate change and what role does surveillance play?**

p. 148 **La mortalité hivernale va-t-elle diminuer avec le changement climatique ? / Winter mortality in a changing climate: will it go down?**

p. 152 **Gestion des événements climatologiques extrêmes : nécessité d'une réponse épidémiologique intégrée et planifiée dans l'organisation de la réponse sanitaire et sociale / Management of extreme weather events: need for an integrated and planned epidemiological answer in the organization of health and social response**

p. 156 **Les déterminants des maladies infectieuses humaines en Europe : influences de la biodiversité et de la variabilité climatique / Determinants of human infectious diseases in Europe: biodiversity and climate variability influences**

p. 160 **Encadré - Veille sanitaire : anticipation et détection des maladies infectieuses émergentes dans le contexte du changement climatique / Box - Public health surveillance: anticipation and detection of emerging infectious diseases in the context of climate change**

Coordination scientifique du numéro / *Scientific coordination of the issue*: Mathilde Pascal, Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, France, et pour le comité de rédaction : Dorothée Grange, Observatoire régional de santé d'Île-de-France et Agnès Lefranc, Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, France

Une version en langue anglaise de ce numéro est disponible sur le site de l'Institut de veille sanitaire : <http://www.invs.sante.fr/Publications-et-outils/BEH-Bulletin-epidemiologique-hebdomadaire/Derniers-numeros-et-archives/Archives/2012/BEH-n-12-13-2012>

Remerciements à Farida Mihoub pour son aide pour les traductions.

Éditorial / Editorial**Alexandre Magnan**

Institut du développement durable et des relations internationales (Iddri), Sciences Po, Paris

Plus d'une vingtaine de laboratoires à travers le monde sont désormais lancés dans l'élaboration de nouveaux scénarios climatiques, qui serviront notamment de base au cinquième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) en 2014. On s'attend ainsi dans la poignée d'années à venir à ce que la science du climat affine ses simulations et propose une vision du futur plus précise en termes d'évolution des grands paramètres climatiques (moyennes, événements extrêmes) et d'impacts aux échelles régionales à locales. Grande est donc la tentation d'attendre ces clefs de lecture dont les acteurs publics et privés, du champ socio-sanitaire comme d'autres, ont besoin pour mettre en place des approches anticipatives. Pourtant, au-delà des certitudes sur la réalité du changement climatique, de nombreux défis scientifiques et méthodologiques restent à relever. Ils prennent la forme d'incertitudes (sur les tendances précises, sur les impacts locaux, etc.) qui ne seront pas réduites du jour au lendemain. Il faut donc prendre les devants. Il est alors essentiel de comprendre pourquoi le changement climatique affectera les conditions de vie futures des sociétés de par le monde, car de cela vont dépendre les efforts d'anticipation de ces changements (voir les articles de P. Pirard et coll. et de D. Bitar et coll. dans ce numéro).

Le changement climatique ne doit pas être vu seulement comme une modification des conditions atmosphériques et océaniques à l'échelle mondiale, qui serait finalement déconnectée des réalités d'un service de santé dans un hôpital donné, des administrations sanitaires et sociales, des activités d'une ONG humanitaire, etc. Il doit plutôt être appréhendé sous la forme d'une « chaîne d'impacts ». Les perturbations du système climatique vont se traduire par une évolution de certains grands paramètres (température, précipitations, niveau de la mer) qui se répercutera sur la fréquence, l'intensité et la répartition géographique des aléas naturels. Ceux-ci auront eux-mêmes des conséquences plus ou

moins marquées sur les ressources naturelles (l'eau, les sols, l'espace terrestre disponible...) puis, par effet domino, sur les sociétés humaines (santé, agriculture, production d'énergie...). Se dessine donc une chaîne d'impacts sur laquelle, même en contexte d'incertitude, l'on peut/doit commencer à agir, idée défendue dans ce numéro du BEH.

Plus précisément, ce numéro montre qu'entre variabilité climatique (évolution des paramètres climatiques autour de moyennes) et changement climatique (évolution de ces moyennes sur au moins plusieurs décennies), les conditions sanitaires vont être affectées. Si de nombreuses interrogations demeurent, les chercheurs et acteurs dans ce domaine se mobilisent pour identifier, comprendre et mesurer ces changements. L'exercice est d'autant plus compliqué que les travaux se heurtent, généralement et de prime abord, à certaines contradictions. Ce numéro du BEH l'illustre ainsi : d'un côté l'on pose la question de savoir s'il faut s'attendre, avec l'augmentation des températures moyennes, à une baisse de la mortalité dans l'hémisphère Nord, sachant que, sauf en cas de canicule exceptionnelle, le taux de mortalité y est plus élevé en hiver que sur le reste de l'année (P. Kinney et coll.) ; de l'autre, on constate que le nombre d'épidémies a augmenté en Europe au cours des dernières décennies, tendance fortement corrélée à une plus forte variabilité climatique (S. Morand et coll.). Bien sûr, chaque type de maladie réagira de manière différente aux stress climatiques, et ce aussi en fonction des contextes socioéconomiques et géographiques. Il n'en demeure pas moins que l'analyse des impacts du changement climatique renvoie souvent à la confrontation d'hypothèses *a priori* contraires. La plupart du temps toutefois, ces contradictions ne sont qu'apparentes et elles nécessitent pour être levées des analyses poussées sur les conditions et les échelles (sociales, spatiales et temporelles) de la réalisation des maladies, analyses qui par ailleurs offrent un support aux démarches d'anticipation.

Une branche importante de la recherche socio-sanitaire s'intéresse en effet aux « systèmes de surveillance », dont les bénéfices sont déjà bien connus, et qui vont rester des piliers d'anticipation et donc d'adaptation au changement climatique (M. Pascal et coll.). Un exemple en est fourni dans ce numéro. L'article de S. Morand et coll. s'intéresse particulièrement aux facteurs de risque (biodiversité, variabilité climatique, niveau de développement, maladies infectieuses humaines) qui permettent à la fois d'établir des niveaux (avérés ou potentiels) d'exposition aux épidémies et d'identifier des leviers pour réduire les conséquences de celles-ci. D'autres pistes d'ailleurs pourraient être explorées, notamment l'analyse de la capacité d'adaptation des populations, qui touche à la fois l'aptitude à réagir à une crise qui survient (champ de la résilience) et à collectivement accepter les efforts induits par des politiques de prévention sur le long terme (champ de l'anticipation).

Note éditoriale / Editor's note

Ce numéro du BEH présente quelques particularités, liées à la thématique à laquelle il est consacré. En effet, si l'existence du changement climatique est aujourd'hui admise par la communauté scientifique internationale, la nature et l'ampleur des modifications du climat et de leurs conséquences environnementales restent entourées d'importantes incertitudes. À son tour, l'identification des conséquences sanitaires de ces changements se heurte à de nombreuses difficultés, et demeure nécessairement prospective, voire spéculative. Ainsi, les articles présentés dans ce numéro s'attachent à réaliser un exercice de prospective, en présentant les scénarios identifiés par les auteurs comme les plus probables au vu des connaissances scientifiques disponibles à ce jour. Ils diffèrent donc des articles habituellement présentés dans le BEH, par leur forme et leur contenu. Cet exercice est toutefois un préalable indispensable à l'analyse des adaptations à apporter aux dispositifs de surveillance sanitaire et de réponse.

Quels impacts sanitaires du changement climatique et quels rôles pour la surveillance ?

Mathilde Pascal (m.pascal@invs.sante.fr), Sylvia Medina, Anne-Catherine Viso, Pascal Beaudeau

Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, France

Résumé / Abstract

Les observations et les modélisations climatiques permettent de mieux comprendre les changements climatiques présents et à venir. Ces changements pourraient modifier l'environnement, les déterminants de l'exposition aux risques environnementaux et infectieux, et éventuellement l'état de santé de la population. Dans ce contexte, la surveillance sanitaire a trois rôles principaux : 1) contribuer au suivi et à la compréhension des impacts sanitaires du changement climatique à travers la constitution de séries de données exploitables sur de longues périodes de temps ; 2) apporter des éléments pour hiérarchiser les actions d'adaptation, les mettre en œuvre, et évaluer leur efficacité ; et 3) anticiper les menaces émergentes. S'il n'est pas nécessaire de créer de nouveaux systèmes de surveillance sanitaires pour cela, une meilleure connexion entre surveillance environnementale et sanitaire et une plus grande interdisciplinarité sont nécessaires pour répondre à ces nouveaux objectifs.

What are the health impacts of climate change and what role does surveillance play?

Observations and climate models enable us to better understand present and future climate changes. Climate change may be considered as a factor of change in the environment, in the determinants of exposure to environmental risks and pathogens, and possibly in the state of health among populations. In this context, health surveillance systems have three main objectives: 1) creating databases to increase scientific evidence and understanding the health impacts of climate change in the long term; 2) identifying, prioritizing, implementing and evaluating intervention and adaptation measures; and 3) providing early warning measures. Although it is not necessary to create new health surveillance systems to fulfil these objectives, there is a need both for better integration with existing environmental and health surveillance, and for greater interdisciplinarity.

Mots clés / Key words

Changement climatique, impact sanitaire, santé, surveillance / *Climate change, health impact, health, surveillance*

Impacts sanitaires du changement climatique

Le changement climatique désigne une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant pendant de longues périodes (généralement pendant des décennies ou plus). Si la température en est la variable emblématique, l'ensemble des paramètres climatiques (l'humidité, la nébulosité, les précipitations, la teneur en CO₂ de l'atmosphère) peuvent être concernés.

Sur la base d'observations, le Groupement intergouvernemental d'experts sur le climat (Giec) a conclu en 2007 [1] que les températures moyennes dans l'hémisphère Nord pendant la deuxième moitié du XX^e siècle étaient très probablement (probabilité >90%) supérieures à celles de toute autre période de 50 ans sur les 500 dernières années. Il est très probable que les jours froids et les nuits froides et les gelées sont moins fréquents dans la plupart des continents, alors que les jours chauds et les nuits chaudes le sont plus. Il est possible (probabilité >66%) que les vagues de chaleur sont devenues plus courantes sur la plupart des continents. Plus de 8 experts sur 10 s'accordent sur le fait que les systèmes naturels associés à la neige, la glace et aux sols gelés, ainsi que les systèmes hydrologiques sont déjà impactés par le changement climatique, et plus de 9 sur 10 estiment que de nombreux écosystèmes terrestres et marins sont déjà touchés [1].

Les modèles climatiques permettent de prédire les climats futurs en s'appuyant sur des scénarios d'évolution des émissions de gaz à effet de serre. Si ces modèles restent perfectibles, la réalité du changement climatique semble bien désormais acquise. La hausse de la température moyenne simulée par les différents modèles de climat d'ici 2100 pourrait être comprise entre 1,1 et 6,4 °C [1]. En France métropolitaine, selon un scénario haut, la température moyenne augmenterait de 0,83 °C [0,55-1,24 °C] en 2030 par rapport à 1990 et de 1,37 °C [0,85-1,8 °C] en 2050 [2].

Ces changements observés et prévus vont modifier l'environnement, les déterminants de l'exposition aux risques environnementaux et infectieux,

et éventuellement l'état de santé de la population. Dès 1985, les impacts potentiels sur la santé ont été évoqués, en insistant notamment sur les risques liés à la chaleur et aux ressources alimentaires [3]. Il a fallu cependant attendre les années 2000 pour disposer d'une vision plus large des relations entre changement climatique et santé (figure 1) [4], mettant l'accent sur trois types d'impacts [4-9] :

- les impacts des événements météorologiques extrêmes qui sont susceptibles d'augmenter en fréquence et en intensité : vagues de chaleur, inondations, tempêtes, feux de forêts, sécheresses... ;
- l'émergence ou la réémergence de maladies infectieuses, associées à des modifications des écosystèmes ;
- une modification des expositions à des risques environnementaux (air, eau, rayonnement UV, alimentation...).

Bien que les pays en voie de développement soient les plus vulnérables [6], les expertises menées en France [10;11], en Europe [4;8;9], en Amérique du Nord [12;13] ou en Australie [14] soulignent la fragilité des pays développés face aux événements extrêmes, le risque le plus avéré étant celui lié aux vagues de chaleur. Pour les autres types d'impacts (infectieux et environnementaux), il reste difficile de faire des hypothèses sur les évolutions à venir compte tenu de la complexité des interactions entre les variables du système et des incertitudes sur le rythme du changement climatique et des autres changements (démographiques, sociaux...). Les résultats issus de la recherche devraient apporter de nouveaux éléments dans les années à venir.

Comment adapter les systèmes de surveillance ?

Malgré ces incertitudes, l'adaptation de la société et du secteur de la santé doit être anticipée pour limiter les impacts négatifs du changement climatique [15]. La surveillance en santé publique, c'est-à-dire « la collecte continue et systématique, l'analyse et l'interprétation de données essentielles pour la planification, la mise en place et l'évaluation des pratiques en santé publique, étroitement associée à la diffusion en

temps opportun de ces données à ceux qui en ont besoin » [16], fournit des informations utiles pour orienter les stratégies d'adaptation. La surveillance en santé environnementale, qui inclut la surveillance des pathologies, des risques environnementaux, des expositions et des relations exposition-risque, est concernée au premier chef.

Les données issues de la surveillance ont ainsi trois rôles principaux : 1) contribuer au suivi et à la compréhension des impacts sanitaires du changement climatique à travers la constitution de séries de données exploitables sur de longues périodes de temps, 2) apporter des éléments pour hiérarchiser les actions d'adaptation, les mettre en œuvre et évaluer leur efficacité, 3) anticiper les menaces émergentes.

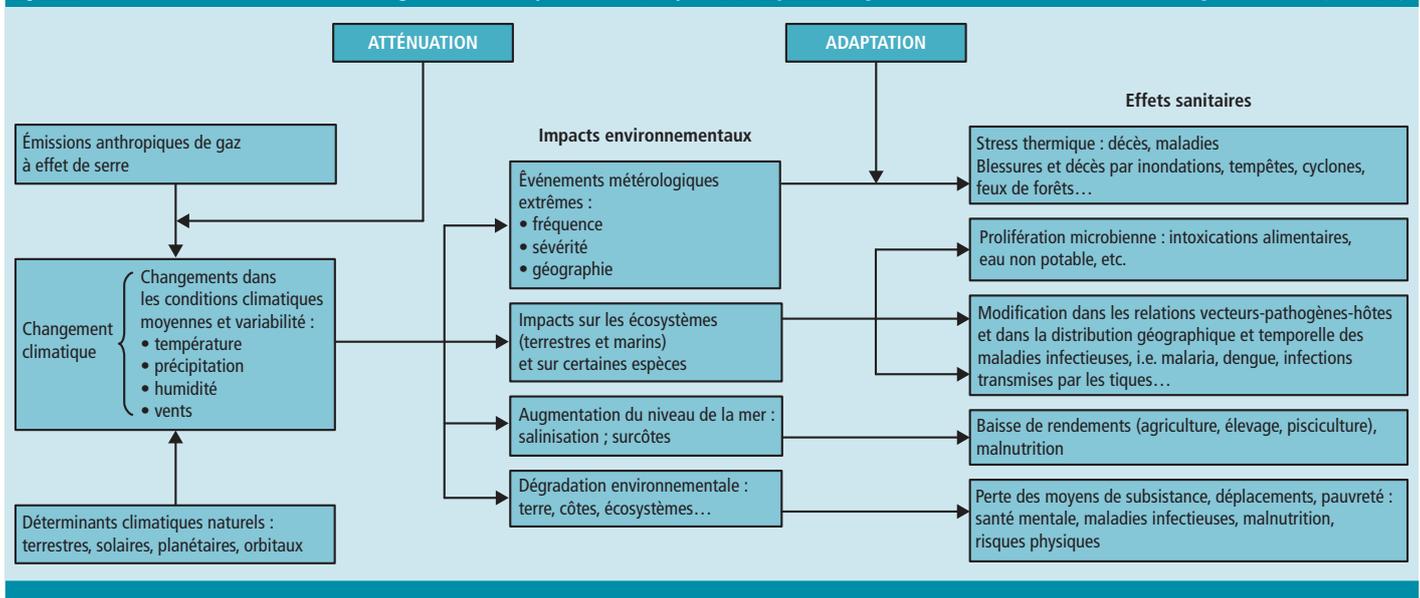
L'exemple le plus abouti de cette surveillance concerne le risque caniculaire : les données de mortalité permettent des analyses rétrospectives sur plusieurs dizaines d'années. La constitution d'une base de données de morbidité par l'Institut de veille sanitaire (InVS) est en cours grâce au système de surveillance Sursaud¹. Le plan national canicule² a été conçu, puis évalué et amendé sur la base de données de surveillance et d'études épidémiologiques.

Pour les autres risques, l'InVS a évalué les besoins d'adaptation de ses systèmes de surveillance pour la France métropolitaine [10] et a organisé dans ce contexte un atelier [17] rassemblant des professionnels de la surveillance de plusieurs pays. Les réflexions menées à la suite de cet atelier ont conduit à développer une approche simple pour identifier les besoins d'adaptation des systèmes de surveillance. Elle consiste à identifier les principaux déterminants environnementaux, sociaux et démographiques contribuant à une exposition. Appliquée aux risques sanitaires susceptibles d'être modifiés par le changement climatique, elle permet d'identifier les lacunes et données manquantes et par conséquent les besoins de surveillance. L'idée sous-jacente est que la surveillance d'un déterminant non directement lié

¹ <http://www.invs.sante.fr/Espace-professionnels/Surveillance-syndromique-SurSaUD-R>

² <http://www.sante.gouv.fr/canicule-et-chaieurs-extremes.html>

Figure 1 Schématisation des liens entre changement climatique et santé (d'après [4]) / Figure 1 Diagram of the links between climate change and health (from [4])



au climat peut être plus informative et pratique à mettre en œuvre que la recherche d'un indicateur climatique (par exemple, surveiller la vulnérabilité aux vagues de chaleur) [17;18].

Dans notre approche, les risques retenus sont ceux pour lesquels il existe des données publiées sur l'impact du climat, et ceux dont le risque de survenue en France métropolitaine a été jugé plausible par un groupe de travail interne à l'InVS [10;18]. Au terme de cette revue, nous avons conclu que, s'il n'était pas nécessaire de créer de nouveaux systèmes de surveillance pour suivre les impacts sanitaires du changement climatique, il convenait d'assurer la pérennité et la qualité des systèmes existants. Des opportunités ont été identifiées, comme la possibilité de collaborations avec des modélisateurs du climat en vue de réaliser des évaluations d'impacts sanitaires de la pollution atmosphérique.

Enfin, l'adaptation de la surveillance passera par une meilleure connexion des systèmes de surveillance environnementaux et sanitaires existants, et par une plus grande interdisciplinarité : avec les sciences du climat, de l'environnement et les sciences sociales pour comprendre le rôle des comportements ; avec les naturalistes et les vétérinaires pour observer l'évolution des parasites et vecteurs de maladie ; et avec les professionnels de santé pour identifier et interpréter des signaux inattendus.

Références

[1] Solomon SD, Quin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, *et al.* Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the

Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2007. 996 p.

[2] Observatoire national des effets du réchauffement climatique. Climat futur en France. Site internet Onerc. <http://www.onerc.org>

[3] Lawrence Berkeley Laboratory. Characterization of information requirements for studies of CO₂ effects: Water resources, agriculture, fisheries, forests and human health. Washington, D.C: Margaret R. White 1985. 236 p.

[4] McMichael AJ, Woodruff RE, Hales S. Climate change and human health: present and future risks. *Lancet*. 2006;367(9513):859-69.

[5] World Health Organization - Regional Office for Europe; Santé Canada; United Nations Environment Programme; Organisation Météorologique Mondiale, (dir.). Methods of assessing human health vulnerability and public health adaptation to climate change. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2003. 112 p.

[6] Costello A, Abbas M, Allen A, Ball S, Bell S, Bellamy R, *et al.* Managing the health effects of climate change: *Lancet* and University College London Institute for Global Health Commission. *Lancet*. 2009;373(9676):1693-733.

[7] A Commission on climate change. *Lancet*. 2009;373(9676):1659.

[8] Haines A, Kovats RS, Campbell-Lendrum D, Corvalan C. Climate change and human health: impacts, vulnerability, and mitigation. *Lancet*. 2006;367(9528):2101-9.

[9] Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC: United Kingdom and New York, NY, USA; 2007. 976 p.

[10] Pascal M. Impacts sanitaires du changement climatique en France, quels enjeux pour l'InVS. Saint-Maurice:

Institut de veille sanitaire. 2010; 54 p. Disponible à : [http://www.invs.sante.fr/pmb/invs/\(id\)/PMB_721](http://www.invs.sante.fr/pmb/invs/(id)/PMB_721)

[11] Observatoire national des effets du réchauffement climatique. Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France - rapport d'étape. Paris: Observatoire national des effets du réchauffement climatique. 2008; 247 p. Disponible à : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_complet_0907allegeV2_20-11-08.pdf

[12] Santé Canada. Santé et changements climatiques : évaluation des vulnérabilités et de la capacité d'adaptation au Canada. Ottawa: Santé Canada. 2008; 548 p.

[13] English PB, Sinclair AH, Ross Z, Anderson H, Boothe V, Davis C, *et al.* Environmental health indicators of climate change for the United States: Findings from the State Environmental Health Indicator Collaborative. *Environ Health Perspect*. 2009; 117(11):1673-81.

[14] Spickett J, Brown H, Katscherian D. Department of Health. Health impacts of climate change: Adaptation strategies for Western Australia. Perth: Environmental Health Directorate. 2008; 75 p.

[15] Menne B, Bertollini R. Health and climate change: a call for action. *BMJ*. 2005;331(7528):1283-4.

[16] Thacker SB, Stroup DF. Public Health Surveillance. In: Brownson RC, Petitti DB, (dir.). Applied epidemiology Theory to practice. New York: Oxford University Press; 1988. p. 105-35.

[17] Medeiros H, Pascal M, Viso AC, Medina S. Workshop on public health surveillance and climate change. Saint Maurice: Institut de veille sanitaire; 2010. pp.1-38. Disponible à : http://opac.invs.sante.fr/index.php?lvl=notice_display&id=457

[18] Beaudou P, Pascal M, Mouly D, Galey C, Thomas O. Health risk associated with drinking water in a context of climate change in France: a review of surveillance requirements. *J Water Climate Change*. 2011;2(4):230-45.

La mortalité hivernale va-t-elle diminuer avec le changement climatique ?

Patrick Kinney (plk3@columbia.edu)¹, Mathilde Pascal², Robert Vautard³, Karine Laaidi²

1/ Columbia University, Mailman School of Public Health, New York, USA
3/ Laboratoire des Sciences du climat et de l'environnement, Paris, France

2/ Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, France

Résumé / Abstract

Il est établi que les taux de mortalité sont plus élevés pendant l'hiver dans les régions tempérées de l'hémisphère Nord, et que des températures extrêmes durant l'été peuvent se traduire par des pics de mortalité. Ces deux phénomènes conjoints se traduisent par une relation en U entre mortalité journalière et températures. La forme et la position du U varient selon les régions et les températures moyennes, indiquant que les populations s'adaptent à leur climat local. Dans les villes les plus froides, l'augmentation de la mortalité aux températures basses est relativement modérée et l'augmentation de la mortalité aux températures élevées est relativement accentuée. À l'inverse, dans les villes les plus chaudes, la relation froid-mortalité est plus importante que la relation chaleur-mortalité.

Alors qu'un réchauffement global dû aux émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique est pratiquement acquis pour les prochaines décennies, il convient de se pencher sur ses impacts sanitaires possibles. Il est également important de comprendre si la mortalité hivernale est susceptible de diminuer du fait du réchauffement climatique. Ceci aura des conséquences importantes sur l'adaptation de la réponse en matière de santé publique.

De manière surprenante, à partir d'une analyse de la littérature, nous concluons qu'il semble peu probable que la mortalité hivernale diminue avec l'augmentation des températures.

Winter mortality in a changing climate: will it go down?

It is well known that death rates in temperate regions of the northern hemisphere are higher in winter than during other parts of the year, and further, that extreme heat during summer can lead to spikes in mortality. Together, these seasonal phenomena result in a U shaped relationship between daily mortality and temperatures. The shape and position of the U varies by location, and especially by average temperatures, showing that cities adapt to their local climate. In cooler cities, the increase in deaths at low temperatures is relatively shallow, and the increase in deaths with high temperatures relatively steep. By contrast, in warmer cities, the cold function is relatively steep and the hot function relatively shallow. With continued global warming due to anthropogenic greenhouse gas emissions virtually certain over coming decades, it is important to consider how the health response might change. In particular, we consider the question of whether winter mortality might diminish as temperatures rise in the future. Answering this question will have very important implications for public health adaptation planning. Somewhat surprisingly, based on the available literature, we conclude that it is unlikely that winter mortality would substantially diminish as temperatures rise.

Mots-clés / Key words

Hiver, température, vague de froid, mortalité, changement climatique, projections / Winter, temperature, cold spell, mortality, climate change, projections

Introduction

Il est établi depuis longtemps que les taux de mortalité dans les régions tempérées de l'hémisphère Nord sont plus élevés pendant les mois hivernaux que pendant toute autre période de l'année, particulièrement pour les maladies cardiovasculaires et respiratoires. Cependant, d'importantes disparités géographiques ont été observées, les pays les plus affectés n'étant pas les plus froids. Par exemple, en Europe entre 1988 et 1997, les taux de mortalité hivernaux les plus élevés étaient rapportés au Portugal, en Espagne et en Irlande [1].

Il est également bien connu que les épisodes de chaleur extrême pendant l'été peuvent être associés à des pics de mortalité [2;3]. Ensemble, ces phénomènes saisonniers se traduisent par une relation en U entre la mortalité journalière et les températures, observée dans la plupart des villes [2;4-8] ; les taux de mortalité augmentent aux températures basses et élevées, avec une « zone de confort thermique » entre les deux.

Il est intéressant de noter que la forme et la position d'une courbe température-mortalité en U diffèrent selon la latitude [9]. Ceci est schématisé sur la figure 1. Dans les villes les plus froides, la zone de confort thermique est décalée vers la gauche (*i.e.* vers les températures basses) ; l'augmentation de la mortalité aux températures basses est relativement modérée, et l'augmentation de la mortalité aux températures hautes relativement abrupte. À l'inverse, dans les villes les plus chaudes, la zone de confort thermique est décalée vers la droite (*i.e.* vers les températures élevées) ; la réponse au froid est relativement abrupte et la réponse à la chaleur modérée.

Ces différences géographiques indiquent que les populations se sont adaptées à leur climat local. Comment ceci pourrait évoluer dans le futur ?

Un réchauffement global généré par les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique est pratiquement acquis pour les prochaines décennies. Il est donc important de comprendre comment les villes vont s'adapter à ce nouveau climat, plus chaud, et en combien de temps. La mortalité hivernale diminuera-t-elle avec l'augmentation des températures ? Comme le nombre de décès pendant l'hiver est largement supérieur à celui observé pendant les autres saisons, répondre à cette question aura

des implications importantes pour adapter la réponse sanitaire.

Les températures moyennes globales ont augmenté pendant le siècle dernier, et la tendance au réchauffement s'est accélérée au cours des dernières décennies [10]. Les modèles climatiques prédisent de manière cohérente un réchauffement futur de l'ordre de 0,2°C par décennie pendant les prochaines décennies, avec des variations régionales significatives. En Europe, les projections indiquent que les températures les plus basses devraient augmenter plus rapidement en hiver que les températures les plus élevées, conduisant à un rétrécissement de la distribution des températures hivernales dans un climat futur [11].

Cependant, la survenue d'épisodes de froid extrême n'est pas à exclure. Bien que l'hiver 2010 ait été modérément froid par rapport aux hivers des soixante dernières années en Europe, il a causé des perturbations importantes dans différents secteurs économiques (les impacts sanitaires n'ont pas encore été quantifiés). Les événements de l'hiver 2010 sont de bons exemples de vagues de froid modulées par le réchauffement climatique à long terme [12].

Malheureusement, alors qu'il existe une littérature abondante sur les impacts sanitaires de la chaleur dans un contexte de changement climatique [2;3], un intérêt scientifique moindre a été porté à la question plus large, et d'une certaine manière plus importante, de la possibilité de modification des impacts sanitaires hivernaux.

À ce jour, les rares études qui se sont penchées sur les impacts potentiels futurs du réchauffement des températures hivernales sur la mortalité [13-15] ont généralement conclu que la mortalité hivernale était susceptible de diminuer. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur le climat (Giec) a déclaré que le changement climatique pourrait « s'avérer bénéfique et entraîner une baisse de la mortalité associée au froid » [16]. En Europe, il a même été estimé que les réductions de la mortalité hivernale pourraient compenser les augmentations de la mortalité estivale dues au réchauffement climatique [17]. Bien que ces conclusions puissent sembler assez intuitives, elles sont fondées sur l'hypothèse que la relation en U entre la température et la mortalité qui a été observée

historiquement dans une région donnée ne changera pas dans le futur, et qu'elle peut donc être directement utilisée pour estimer la mortalité future sous des températures plus élevées dans cette même région.

Nous avons passé en revue la littérature historique pour mieux comprendre les mécanismes sous-tendant la surmortalité hivernale, et souligner l'importance des facteurs saisonniers et de la température en soi, afin de vérifier la validité potentielle de cette hypothèse. Pour identifier les articles pertinents, nous avons étudié les publications traitant de la relation température-mortalité, en sélectionnant celles qui s'étaient penchées sur les effets du froid ou des effets hivernaux. Les références bibliographiques ont été examinées pour identifier d'autres articles pertinents. Au total, 53 publications ont été sélectionnées et analysées. Nous soulignons les principaux manques de connaissances qui demeurent.

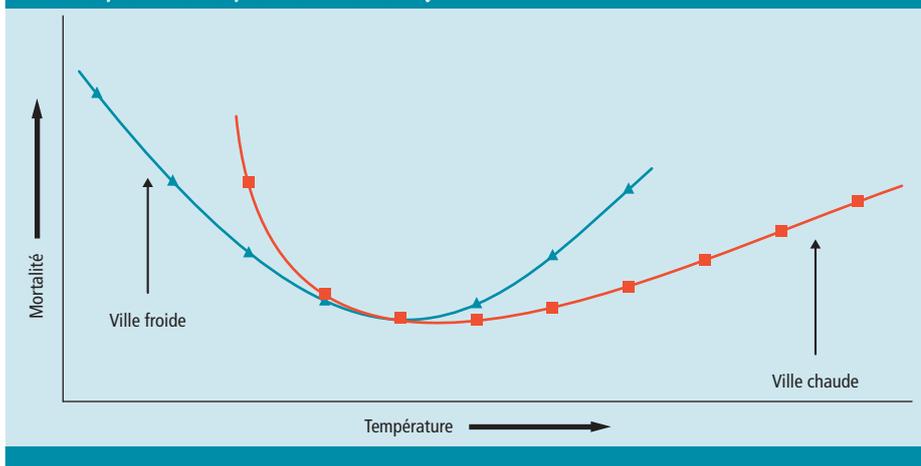
Hiver versus froid : lequel est le plus meurtrier ?

La mortalité est en moyenne plus élevée en hiver qu'en été dans les villes des États-Unis et d'Europe [18]. En plus de la surmortalité hivernale globale, de brefs épisodes de froid extrême pendant l'hiver peuvent générer une surmortalité à court terme. Ainsi, nous faisons l'hypothèse que la surmortalité hivernale se compose de deux parties, la première étant reliée à des facteurs saisonniers, et la seconde étant directement causée par l'exposition au froid. Cette distinction peut sembler académique, mais a toute son importance pour ceux qui souhaitent modéliser les impacts futurs des changements de températures. On peut s'attendre à une modification des effets sanitaires liés à la température lorsque l'exposition à cette température change. À l'inverse, un effet lié à la saison pourrait ne pas être affecté par l'évolution des températures. Comment peut-on distinguer l'importance relative de ces deux composantes ? La littérature actuelle est un guide utile.

De nombreuses études ont examiné et comparé la surmortalité hivernale dans différentes régions sous différents climats [1;9;19-27]. Un résultat commun à toutes ces études est que l'ampleur de la surmortalité hivernale est plus importante dans les régions connaissant des hivers plus modérés. Cette observation est la plus nette dans les études qui comparent la mortalité hivernale aux mortalités observées pendant les autres saisons. Dans l'une de ces études, la surmortalité hivernale entre 1970 et 1991, exprimée comme le pourcentage au-delà de l'attendu (défini comme la mortalité moyenne au printemps et en automne) pour les mois de décembre à mars, était deux fois plus élevée en Angleterre et au Pays de Galles (21%) qu'en Norvège (11%) [28]. Dans une autre étude portant sur 14 pays européens entre 1998 et 1997, la surmortalité hivernale par rapport aux autres saisons variait de 10% en Finlande à 28% au Portugal [1].

Dans leur ensemble, ces études montrent que les régions qui ont su s'adapter à des climats chauds étaient susceptibles d'afficher des hausses de mortalité hivernale 2 à 3 fois plus importantes que les régions qui s'étaient adaptées à des

Figure 1 Schématisation de la relation entre température et mortalité / Figure 1 Schematization of the relationship between temperature and mortality



températures basses. Ceci laisse entendre que, dans des conditions de réchauffement climatique, la mortalité hivernale pourrait augmenter au fur et à mesure que les régions s'adaptent à des températures plus élevées.

L'analyse de la mortalité comme une fonction de la température et non de la saison indique une augmentation encore plus nette de l'impact hivernal dans les régions chaudes. Par exemple, AJ McMichael et coll. [25] ont rapporté que la mortalité augmentait de 4% pour chaque baisse de 1°C des températures de la saison froide à Bangkok, Thaïlande, alors qu'elle n'augmentait que de 0,4% pour chaque baisse de 1°C des températures à Ljubljana, Slovénie. Les températures annuelles moyennes à Bangkok et Ljubljana sont de 29 et 11°C respectivement. Ce fort gradient de l'effet apparent de la température selon les villes est peut être associé au fait que l'amplitude des températures hivernales en hiver est beaucoup plus faible à Bangkok (seulement 3°C de différence entre le 5^e percentile et la moyenne annuelle des températures). Si l'effet saisonnier hivernal était faussement interprété comme un effet de la température, ce dernier paraîtrait alors très important.

En termes de modélisation statistique, il est indispensable de faire une distinction correcte entre les facteurs saisonniers et les températures basses. L'approche par la méthode des séries temporelles permet de séparer et de quantifier les effets saisonniers de l'hiver et les effets à plus court terme des épisodes de froid. Elle a été largement utilisée par des études récentes pour quantifier les effets des températures sur la mortalité, en hiver comme en été. À ce jour cependant, nous considérons que peu d'études ont pris en compte de manière correcte la modélisation de la saison et des températures. Les facteurs saisonniers sont généralement traités comme des facteurs de confusion à contrôler (mais non à quantifier), alors que l'effet des températures journalières est directement modélisé. Malheureusement, la température est souvent modélisée en utilisant des moyennes mobiles portant sur des périodes longues, de 2 à 4 semaines, ce qui peut capter certains des effets saisonniers de l'hiver, même lorsqu'une fonction flexible du temps est simultanément utilisée pour prendre en compte la saison dans le modèle [19;20;25]. Ainsi, ces résultats sont assez difficiles à interpréter comme des effets clairs des températures et distincts des phénomènes saisonniers.

Les études qui ont contrôlé plus efficacement la saisonnalité et qui se sont concentrées sur les effets à court terme du froid ont généralement rapporté des effets du froid relativement plus modestes [26;29;30]. Même si cela peut s'expliquer par des effets du froid différés sur des échelles temporelles supérieures à quelques jours, ces résultats peuvent également indiquer que l'effet du froid est en réalité assez faible, et correctement estimé une fois que la saison est bien contrôlée. Lorsqu'on étudie des effets pour lesquels un délai long est supposé (3 semaines ou plus), il est plus difficile de faire une distinction claire entre l'effet de la température et celui de la saison.

L'interprétation de toutes ces associations statistiques serait facilitée s'il existait une bonne compréhension des mécanismes de l'effet

hivernal saisonnier et/ou de l'effet des températures basses. En réalité, ces mécanismes ont fait l'objet de nombreux débats dans la littérature et deux théories s'opposent. La première suggère que les températures basses ont des effets directs sur le risque cardiovasculaire *via* un épaissement du sang et une augmentation des facteurs de coagulation, conduisant à des thromboses [13;31]. De plus, les températures basses seraient associées à un air sec pouvant augmenter le potentiel infectieux d'organismes comme le virus de la grippe. Selon cette théorie, des températures plus élevées seraient associées à un risque réduit. Il est intéressant de noter qu'au Royaume-Uni et en Allemagne, l'amélioration des conditions de logements et de chauffage a été associée à une diminution de la mortalité hivernale [32] et à une amélioration de la santé déclarée [33;34]. Cependant, bien que la précarité énergétique et la mauvaise isolation des logements constituent des problèmes majeurs, elles ne concernent qu'une faible proportion de la population. Dans les régions très développées, comme aux États-Unis ou en Europe, l'exposition directe à des températures très basses est rare. Aussi, nous pensons que cette théorie ne peut à elle seule expliquer la totalité de la surmortalité hivernale.

L'autre théorie émergente est que les maladies infectieuses, et particulièrement les infections respiratoires, sont élevées en hiver pour plusieurs raisons, et provoquent l'augmentation des inflammations et du risque cardiovasculaire [35;36]. Il est certain que les infections respiratoires sont fréquentes en hiver, la grippe en étant l'exemple le plus frappant et le plus significatif [35]. Les raisons en demeurent peu claires, mais peuvent être associées à des facteurs comme le temps passé à l'intérieur, les vacances et les activités scolaires, la faible humidité, etc. Il est difficile d'estimer l'influence directe de la température ambiante sur ces paramètres.

L'impact des vagues de froid

Malgré une littérature croissante sur les relations entre température et mortalité, peu d'études ont été publiées sur l'impact de vagues de froid spécifiques sur la mortalité et la morbidité. Une des premières études documente une augmentation de l'incidence des infarctus du myocarde dans les 48 heures suivant une baisse soudaine des températures à Dallas, Texas [37]. Aux États-Unis, une augmentation significative de la mortalité est associée aux températures inférieures au 1^{er} percentile de la distribution des températures [27]. En plus du risque lié à la température, les vagues de froid peuvent être associées à des tempêtes, de la neige et du verglas. Une augmentation des intoxications au monoxyde de carbone a été observée pendant ou immédiatement après des épisodes froids [38], alors que le verglas est fréquemment associé à une augmentation des traumatismes [39]. En janvier 1985, une vague de froid a été associée à une surmortalité de l'ordre de 13% en France, avec des augmentations observées pour toutes les causes de mortalité, et plus particulièrement pour les causes cardiovasculaires [40;41]. En janvier 2009, une augmentation significative de la mortalité a été observée chez les plus de 95 ans, et pourrait être en partie liée au froid et aux infections saisonnières [42].

Cependant, ces études sont descriptives et ne donnent pas d'informations quantitatives claires sur le rôle des températures basses comparé à celui des maladies infectieuses, ni sur les principaux facteurs de risque. En effet, à l'exception des résultats de l'étude *Eurowinter* [23], qui souligne l'importance d'adopter des comportements appropriés et de porter des tenues vestimentaires simples pendant les vagues de froid, le manque d'informations limite notre capacité à proposer des stratégies de prévention détaillées, comme celles qui existent pour les vagues de chaleur.

La vulnérabilité de la population

Au cours des dernières décennies, la vulnérabilité aux effets directs des températures basses a probablement diminué, en lien avec une amélioration de l'habitat, des méthodes de chauffage et de l'habillement. Cependant, le vieillissement de la population pourrait augmenter la vulnérabilité dans les années à venir. Comme discuté ci-dessus, la capacité à limiter l'exposition au froid est fortement liée à la capacité à payer pour avoir des conditions de chauffage confortables. Bien que des mécanismes existent pour permettre l'accès à l'énergie pendant les mois d'hiver, la dégradation des conditions économiques et sociales pourrait certainement se traduire par une vulnérabilité accrue au froid.

Concernant la vulnérabilité à l'effet saisonnier hivernal, peu de données existent sur ses changements au cours du temps. Une étude américaine s'est intéressée aux tendances du ratio de la mortalité hivernale à la mortalité estivale entre les années 1930 et les années 1990 [43]. Une baisse de ce ratio a été observée au milieu du siècle, suivie par une augmentation à partir des années 1970. Les auteurs font l'hypothèse que cette dernière augmentation pourrait être liée à une diminution de la mortalité due à la chaleur en été, compte tenu de l'augmentation de la prévalence de la climatisation au cours de cette saison.

On pourrait aussi faire l'hypothèse que l'augmentation de la mortalité hivernale serait due à un déplacement graduel vers un régime de climat plus chaud. Une autre raison pouvant expliquer une vulnérabilité accrue pourrait être l'acclimatation à des hivers plus chauds, réduisant la capacité d'adaptation pendant les épisodes les plus froids, que ce soit *via* une réduction de l'adaptation physiologique au froid ou par des changements légers dans les comportements.

Conclusions : mortalité hivernale et changement climatique, à quoi peut-on s'attendre ?

À partir de notre revue de la littérature, nous estimons qu'il n'est pas pertinent de considérer que la relation température-mortalité serait simplement transposée dans un contexte de changement climatique, permettant de conclure à une baisse significative de la mortalité hivernale. Si en fait la relation en U devait rester constante, et la température être décalée vers la droite, alors la mortalité diminuerait en hiver et augmenterait en été. Cependant, comme noté ci-dessus, l'hypothèse d'une fonction constante au cours du temps est peu confortée par les preuves transversales apportées par les études portant sur les villes européennes et américaines. Ces études montrent que

plus le climat est chaud, plus la forme de la partie gauche du U s'accroît, et plus la zone de confort thermique est déplacée vers la droite. À partir de ces résultats, nous faisons l'hypothèse que, dans un monde futur plus chaud, la mortalité saisonnière hivernale pourrait atteindre au moins les mêmes niveaux qu'aujourd'hui, et être associée à des températures plus hautes et moins variables.

Ainsi, à partir de notre revue de la littérature, nous concluons qu'il est peu probable que les hivers plus chauds dus au changement climatique entraînent une baisse significative de la mortalité saisonnière hivernale aux États-Unis et en Europe. De plus, nous considérons possibles que des vagues de froid surviennent, avec des effets sanitaires associés potentiellement importants. L'interaction entre les trois facteurs de risques principaux saison-froid-maladies infectieuses, ne permet pas d'attribuer clairement ces impacts au froid seul. Comme cela a été fait pour les vagues de chaleur, des études épidémiologiques sur les vagues de froid sont nécessaires, afin de mieux quantifier les risques sanitaires, d'identifier les populations vulnérables et de définir les mesures de prévention appropriées. Il est également impératif de mieux comprendre les caractéristiques de l'exposition au froid, et de bien différencier statistiquement la température, la saison et les autres facteurs de confusion. À cet égard, des méthodologies innovantes doivent être élaborées pour étudier la relation entre la température et la mortalité.

Références

- [1] Healy JD. Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors. *J Epidemiol Community Health*. 2003;57(10):784-9.
- [2] Basu R, Samet JM. Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence. *Epidemiol Rev*. 2002;24(2):190-202.
- [3] Basu R. High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environ Health*. 2009;(16)8:40.
- [4] Ballester F, Corella D, Perez-Hoyos S, Saez M, Hervas A. Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain, 1991-1993. *Int J Epidemiol*. 1997;26(3):551-161.
- [5] Hajat S, Kovats RS, Atkinson RW, Haines A. Impact of hot temperature on death in London: a time series approach. *J Epidemiol Community Health*. 2002;56(5):367-72.
- [6] Kunst AE, Looman CW, Mackenbach JP. Outdoor air temperature and mortality in The Netherlands: a time-series analysis. *Am J Epidemiol*. 1993;137(3):331-41.
- [7] Laaidi M, Laaidi K, Besancenot JP. Temperature-related mortality in France, a comparison between regions with different climates from the perspective of global warming. *Int J Biometeorol*. 2006;51(2):145-53.
- [8] Pattenden S, Nikiforov B, Armstrong BG. Mortality and temperature in Sofia and London. *J Epidemiol Community Health*. 2003;57(8):628-33.
- [9] Curriero FC, Heiner KS, Samet JM, Zeger SL, Strug L, Patz J. Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States. *Am J Epidemiol*. 2002;155(1):80-7.
- [10] Solomon SD, Quin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, et al. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press; 2007.
- [11] Christensen JH, Hewitson B, Busuioac A, Chen A, Gao X, Held I, et al. Regional climate projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2007.
- [12] Cattiaux J, Vautard R, Cassou C, Yiou P, Masson-Delmotte V, Codron F. Winter 2010 in Europe: a cold extreme in a warming climate. *Geophysical Research Letter*. 2010;37.
- [13] Keatinge WR. Winter mortality and its causes. *Int J Circumpolar Health*. 2002;61(4):292-9.
- [14] Langford IH, Bentham G. The potential effects of climate change on winter mortality in England and Wales. *Int J Biometeorol*. 1995;38(3):141-7.
- [15] Martens WJ. Climate change, thermal stress and mortality changes. *Soc Sci Med*. 1998;46(3):331-44.
- [16] Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, Hanson CE. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC: United Kingdom and New York, NY, USA; 2007.
- [17] Ciscar JC, ed. Climate change impacts in Europe. Final report of the PESETA Research Project. 2009 Nov. Disponible à : <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=2879>
- [18] Davis RE, Knappenberger PC, Novicoff WM, Michaels PJ. Decadal changes in summer mortality in U.S. cities. *Int J Biometeorol*. 2003;47(3):166-75.
- [19] Analitis A, Katsouyanni K, Biggeri A, Baccini M, Forsberg B, Bisanti L, et al. Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE project. *Am J Epidemiol*. 2008;168(12):1397-408.
- [20] Anderson BG, Bell ML. Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology*. 2009;20(2):205-13.
- [21] Anderson TW, le Riche WH. Cold weather and myocardial infarction. *Lancet*. 1970;1(7641):291-6.
- [22] Barnett AG, Dobson AJ, McElduff P, Salomaa V, Kuulasmaa K, Sans S. Cold periods and coronary events: an analysis of populations worldwide. *J Epidemiol Community Health*. 2005;59(7):551-7.
- [23] Eurowinter G. Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe. The Eurowinter Group. *Lancet*. 1997;349(9062):1341-6.
- [24] Mckee CM. Deaths in winter: can Britain learn from Europe? *Eur J Epidemiol*. 1989;5(2):178-82.
- [25] McMichael AJ, Wilkinson P, Kovats RS, Pattenden S, Hajat S, Armstrong B, et al. International study of temperature, heat and urban mortality: the 'ISOTHURM' project. *Int J Epidemiol*. 2008;37(5):1121-31.
- [26] Medina-Ramon M, Schwartz J. Temperature, temperature extremes, and mortality: A study of acclimatization and effect modification in 50 United States Cities. *Occup Environ Med*. 2007.
- [27] Medina-Ramon M, Zanobetti A, Cavanagh DP, Schwartz J. Extreme temperatures and mortality: Assessing effect modification by personal characteristics and specific cause of death in a multi-city case-only analysis. *Environ Health Perspect*. 2006;114(9):1331-6.
- [28] Laake K, Sverre JM. Winter excess mortality: a comparison between Norway and England plus Wales. *Age Ageing*. 1996;25(5):343-8.
- [29] Doyon B, Bélanger D, Gosselin P. The potential impact of climate change on annual and seasonal mortality for three cities in Québec, Canada. *Int J Health Geogr*. 2008;7:23.
- [30] Kloner R, Poole WK, Perritt RL. When throughout the year is coronary death most likely to occur? A 12-year population-based analysis of more than 220 000 cases. *Circulation*. 1999;100(15):1630-4.
- [31] Donaldson GC, Keatinge WR. Early increases in ischaemic heart disease mortality dissociated from and later changes associated with respiratory mortality after cold weather in south east England. *J Epidemiol Community Health*. 1997;51(6):643-8.
- [32] WHO Regional Office for Europe. Housing, energy and thermal comfort. A review of 10 countries within the WHO European Region. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe; 2007.
- [33] Braubach M, Jacobs D, Ormandy D. Environmental burden of disease associated with inadequate housing. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe; 2011.
- [34] Braubach M, Heinen D, Dame J. Preliminary results of the WHO Frankfurt housing intervention project. Copenhagen, Denmark: WHO Europe; 2008.
- [35] Reichert T, Simonsen L, Sharma A, Pardo S, Fedson DS, Miller M. Influenza and the winter increase in mortality in the United States, 1959-1999. *Am J Epidemiol*. 2004;160(5):492-502.
- [36] Woodhouse PR, Khaw KT, Plummer M, Foley A, Meade TW. Seasonal variations of plasma fibrinogen and factor VII activity in the elderly: winter infections and death from cardiovascular disease. *Lancet*. 1994;343(8895):435-9.
- [37] Teng H, Heyer H. The relationship between sudden changes in weather and the occurrence of acute myocardial infarction. *Am Heart J*. 1955;49(1):9-20.
- [38] Verrier A, Delaunay C, Coquet S, Théaudin K, Cabot C, Girard D, et al. Les intoxications au monoxyde de carbone survenues en France métropolitaine en 2007. *Bull Epidemiol Hebd*. 2010;(1):1-5.
- [39] Morency P, Voyer C, Beaulne G, Goudreau S. *Chutes extérieures en milieu urbain : impact du climat hivernal et variations géographiques*. Montréal, Canada: Agence de la santé et des services sociaux de Montréal; 2010.
- [40] Beaudeau P, Besancenot JP, Casério-Schönemann C, Cohen JC, Dejour-Salamanca D, Empereur-Bissonnet P, et al. Froid et santé. Éléments de synthèse bibliographique et perspectives. Rapport d'investigation. 2004. 48 p.
- [41] ORS Île-de-France. Conséquences de la vague de froid de janvier 1985 sur la mortalité en Île-de-France. 1987.
- [42] Fouillet A, Illeff D, Jossier L. Surveillance de la mortalité en France au cours de l'hiver 2008-2009, premiers éléments. *Bull Epidemiol Hebd*. 2009;(15):133-7.
- [43] Seretakis D, Lagiou P, Lipworth L, Signorello LB, Rothman KJ, Trichopoulos D. Changing seasonality of mortality from coronary heart disease. *Jama*. 1997;278(12):1012-4.

Gestion des événements climatologiques extrêmes : nécessité d'une réponse épidémiologique intégrée et planifiée dans l'organisation de la réponse sanitaire et sociale

Philippe Pirard (p.pirard@invs.sante.fr), Mathilde Pascal, Yvon Motreff

Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, France

Résumé / Abstract

Le changement climatique se traduira probablement dans l'avenir par une recrudescence des événements climatologiques extrêmes. Leur anticipation nécessite la préparation d'une organisation de gestion de la crise et de ses conséquences. L'épidémiologie oriente les actions de prévention et de prise en charge sanitaire en identifiant les populations exposées, en détectant les événements de santé et en quantifiant l'impact sanitaire.

La surveillance épidémiologique des vagues de chaleur s'inscrit dans le cadre formel du Plan national canicule, en étroite interaction avec les prévisions météorologiques. Ses objectifs sont d'évaluer la situation sanitaire, d'alerter et d'aider à adapter les mesures de gestion si besoin. Elle se concentre sur un nombre d'indicateurs réduits qui peuvent être suivis en temps quasi-réel à partir des données provenant des réseaux Oscour® (Organisation de la surveillance coordonnée des urgences) et SOS Médecins (permanence des soins de ville), ainsi que des décès enregistrés. Des études complémentaires épidémiologiques et sociologiques sont nécessaires pour aider à identifier les nouvelles formes de vulnérabilité et les adaptations nécessaires qui permettront de garantir l'efficacité des mesures de prévention et de gestion dans le futur.

La variété des scénarios des conséquences des événements météorologiques extrêmes (tempêtes, inondations...) oriente vers une surveillance réactive, s'adaptant aux spécificités et pouvant être renforcée rapidement sur un effet ou une population particulière. Une évaluation représentative et globale de l'impact sanitaire nécessite de préparer la combinaison de l'utilisation des données de consommation de soins (Oscour®, données de l'Assurance maladie...) et d'enquêtes transversales ou de cohorte qui permettent un recueil précis d'informations et de suivre l'évolution des événements de santé au niveau individuel. Pour cela, les épidémiologistes doivent être intégrés aux organisations de gestion de la crise et de ses conséquences sanitaires dès la phase de planification.

Dans tous les cas, la rigueur et l'optimisation nécessaires ne doivent pas être un obstacle à la souplesse et à la réactivité des systèmes de surveillance, afin que ceux-ci puissent s'adapter à tout moment aux modifications de la situation, et s'enrichir des retours d'expériences successifs.

Management of extreme weather events: need for an integrated and planned epidemiological answer in the organization of health and social response

In the near future, it is likely that the frequency of extreme meteorological events will increase. Anticipating them requires the organization of crisis and consequence management. Epidemiology can help guide preventive and health actions, through identification of exposed populations, detection of health events, and quantification of the health impact.

The epidemiological surveillance of heat waves is a component of the national heat wave plan, and is closely associated with the surveillance of meteorological forecasts. Its objectives are to evaluate the health situation, to alert, and to recommend preventive measures if needed. It focuses on a small number of health indicators that can be followed in near-real time, based on the data from networks of emergency hospital services (OSCOUR®) and emergency medical visits at home (SOS Médecins), as well as on registered fatalities. Additional epidemiological and sociological studies are needed to identify new kinds of vulnerabilities, and the adaptation measures needed to ensure the continued efficiency of preventive actions in the future.

The variety of possible scenarios and consequences of extreme weather events (storms, floods...) calls for reactive, specific surveillance, which can be rapidly reinforced for a given health effect or a given population. A global and representative assessment of the health impact necessitates both the use of data on health consumption (OSCOUR®, health insurance...) and data from cross-sectional or cohort studies to collect precise information, and to monitor the trends of health events at the individual level. To do so, epidemiologists must be involved in the organization of crisis and consequence management right from the planning stage.

In all cases, the necessary rigor and optimization needed should not be an obstacle to flexibility and reflexivity in surveillance systems, so that these latter can adapt rapidly to an evolving situation, and be improved through subsequent feedback.

Mots-clés / Key words

Changement climatique, catastrophes météorologiques, épidémiologie, gestion / Climate change, meteorological extreme events, epidemiology, management

Introduction

Les événements météorologiques extrêmes peuvent concerner les températures (vagues de chaleur, vagues de froid), les précipitations (fortes précipitations, inondations, sécheresse) et des phénomènes localisés comme les tempêtes et les cyclones. Les conditions météorologiques peuvent également favoriser les feux de forêt. Il est probable que le changement climatique se traduira par une augmentation en fréquence et en intensité de certains de ces événements y compris en France [1;2].

Ces événements extrêmes peuvent avoir des impacts humains, économiques et sociaux importants. La capacité à les anticiper et à prévenir leurs conséquences sera un élément-clé de l'adaptation au changement climatique. Pour réduire la vulnérabilité de notre société à ces

événements, cette anticipation doit être large et s'appuyer sur la mise en place d'actions de fond, par exemple en travaillant sur la conception des villes, des habitations, l'adaptation des cultures agricoles... Dans le même temps, il faut organiser la réponse face à la crise et la gestion de ses conséquences à moyen et long terme, afin notamment de réduire les effets sanitaires. Les moyens épidémiologiques mis en place suite à un événement météorologique extrême apportent des informations qui permettent d'orienter cette organisation. En effet, ils ont pour objectif de :

- détecter précocement un phénomène de santé et d'alerter ;
- quantifier l'impact sanitaire de l'événement ;
- identifier et caractériser les populations exposées ou les plus à risque ;

- et ainsi, aider à orienter et évaluer les actions de prévention et de prise en charge de ces événements inhabituels.

Une surveillance épidémiologique est ainsi organisée dès la survenue de l'évènement et peut être maintenue dans les suites de celui-ci, compte tenu de ses conséquences, avec pour objectif principal l'aide à l'action et pour caractéristique première la réactivité. Elle doit s'adapter aux spécificités de chaque évènement.

Cette surveillance peut s'accompagner d'études épidémiologiques permettant une analyse approfondie des effets sur la santé, de leur durée, des mécanismes de survenue et des facteurs favorisants. Ces études sont nécessaires pour identifier les vulnérabilités des différentes populations ainsi que les spécificités de prise en charge. Elles contribuent aussi à l'analyse de

l'impact sanitaire collectif à court et long-terme, ainsi qu'à l'évaluation de l'efficacité des mesures et politiques prises. Le temps de réalisation de ces études dépasse celui de l'alerte et de la réponse immédiate.

L'objet de cet article est de présenter la place et le rôle de la réponse épidémiologique dans la gestion des impacts sanitaires et sociaux des événements météorologiques extrêmes. Pour cela, deux exemples sont abordés : les vagues de chaleur d'une part, et les inondations et tempêtes d'autre part.

Les vagues de chaleur

Contexte et enjeux de santé publique

Depuis la canicule de 2003, qui avait mis en évidence une crise sanitaire centrée sur les urgences, la prise en charge des personnes âgées et la gestion des décès, plusieurs études épidémiologiques ont été réalisées. Elles ont permis de mieux connaître les populations vulnérables, la dynamique mortalité-morbidité pendant les vagues de chaleur, ainsi que les actions de prévention possibles [3-8]. Ces connaissances se sont traduites dans la pratique par la mise en place du Plan national canicule (PNC), visant à prévenir et à lutter contre les conséquences sanitaires d'une vague de chaleur. Lors d'une alerte, le PNC permet d'activer tout ou partie des mesures nécessaires à la gestion d'un tel événement.

Objectifs et principes du système de surveillance épidémiologique

Les alertes s'appuient sur des prévisions météorologiques, afin d'identifier les jours pour lesquels on pourrait s'attendre à une surmortalité importante [9]. Ce système est original dans le domaine de la vigilance météorologique puisque les seuils météorologiques ont été définis à partir d'une analyse de la relation entre température et mortalité sur les 30 dernières années. Chaque jour, l'alerte est proposée par Météo-France, et éventuellement discutée avec l'Institut de veille sanitaire (InVS). Par ailleurs, les vagues de chaleur peuvent toucher simultanément plusieurs dizaines de départements, ce qui induit un nombre très élevé d'informations à traiter dans un temps contraint.

Dans ce contexte, la surveillance sanitaire n'a pas pour objectif d'alerter, mais sert à vérifier que la situation sanitaire reste sous contrôle, afin d'adapter si besoin les mesures de gestion, de lever une alerte ou au contraire de la prolonger. Cette surveillance se concentre sur un nombre d'indicateurs réduits pouvant être suivis en temps quasi-réel : passages aux urgences des plus de 75 ans ou pour causes liées à la chaleur, recours à SOS Médecins, décès totaux de l'Insee, notamment par classe d'âge. Ces indicateurs ont été choisis en fonction de leur réactivité à la chaleur et de la qualité des données disponibles. Ils sont recueillis par les Cellules de l'InVS en région (Cire) pour des hôpitaux sentinelles, et analysés avec des méthodes statistiques prédéfinies (limites historiques, cartes de contrôle), afin d'identifier, pour une période donnée, une modification significative de l'amplitude de l'indicateur analysé. L'analyse statistique conduit

à une « alarme statistique », qui peut être liée à la qualité des données comme à un réel événement sanitaire. L'expertise épidémiologique des Cire est donc essentielle pour transformer cette alarme en signal sanitaire valide [10]. Ce dernier est alors transmis aux différents acteurs du système (Météo-France, InVS, Direction générale de la santé (DGS), Agences régionales de santé (ARS)) comme élément d'aide à la gestion.

Il s'agit d'un exemple de réponse très formalisée à un événement extrême, où les données sanitaires ont un rôle bien défini. Si cette formalisation est rendue possible par le corpus des connaissances disponibles sur les effets des vagues de chaleur et par les contraintes imposées au système d'alerte, elle ne doit cependant pas occulter l'importance d'une vision large de la surveillance et l'importance de la vigilance par ailleurs. Ceci est nécessaire pour pouvoir identifier des signaux inattendus (par exemple, des décès inexplicables chez des travailleurs plutôt jeunes ou pour coup de chaleur dans différentes entreprises...), hors procédure, mais qui pourraient être liés aux vagues de chaleur et nécessiteraient une investigation rapide. Des articulations fortes sont donc mises en place entre le système de surveillance syndromique, la veille locale ou nationale, et l'ensemble des partenaires de l'InVS.

En fin de saison, un premier bilan rapide d'une vague de chaleur est possible par l'estimation de la mortalité observée au regard de la mortalité de référence, afin d'identifier des événements et des vulnérabilités pouvant faire l'objet d'études plus approfondies [10].

Enfin, l'évolution des températures dans un contexte de changement climatique pose la question de l'adaptation des populations à des vagues de chaleur plus fréquentes et plus intenses dans les années à venir, peut-être plus humides. L'adaptation physiologique semble limitée et le vieillissement de la population et son urbanisation croissante (phénomène des îlots de chaleur) laissent présager une plus grande vulnérabilité à l'avenir. L'adaptation technologique est possible (techniques d'air conditionné, plan d'urbanisme visant à réduire l'îlot de chaleur urbain, renforcement du PNC), mais peut, à tout moment, être remise en cause par des considérations économiques et sociologiques. Dans ce contexte, le PNC devra se montrer souple et réactif. Les évolutions nécessaires devront s'appuyer notamment sur des études épidémiologiques, mais également sociologiques ou d'urbanisme, entre autres, pour analyser les mécanismes qui président à la survenue de l'impact des vagues de chaleur et évaluer l'efficacité des actions mises en place : meilleure compréhension de la dynamique mortalité-morbidité, analyse de l'efficacité des mesures proposées, émergence de nouvelles formes de vulnérabilité (interaction âge-isolation, données socio-économiques, urbanisme).

Les tempêtes et les inondations

Contexte et enjeux de santé publique

Comparés aux vagues de chaleur, ces événements se caractérisent par leur violence physique et se traduisent par des impacts visibles et directs

sur la population : morts violentes, destructions de maisons, des outils de travail. Ils entraînent bien souvent un choc sévère pour la population, dû à une rupture brutale de son espace environnemental et social dont l'importance dépasse les capacités de la communauté à y faire face. Ils se caractérisent également par une grande variabilité des scénarios et modalités d'exposition à des risques pour la santé. Leurs impacts sanitaires sont ainsi plus larges que les seuls décès et traumatismes physiques immédiats. Les bouleversements de l'environnement secondaires à la catastrophe (comme par exemple les conditions d'hébergement dégradées...) sont aussi susceptibles d'aggraver l'impact sanitaire [11-13]. Par exemple, des épidémies d'intoxications au monoxyde de carbone (CO) ont été observées suite à des inondations ou des épisodes de vents violents (Klaus) [12;13]. Dans certains cas, l'événement extrême pourrait s'accompagner d'une catastrophe industrielle avec possible libération de substances toxiques [14].

Les pertes de vies humaines, les dégâts matériels importants (logements, outils de travail) ont des impacts psychologiques pouvant être sévères [11;12;15]. Enfin, les conditions dans lesquelles les personnes affectées doivent se réinsérer après une catastrophe naturelle ajoutent un stress prolongé aux conséquences directes de la catastrophe (perte du logement...) [11;12;15]. C'est ainsi que l'impact sur la santé mentale, à la fois sur le court et long terme des catastrophes, a été mis en évidence à plusieurs reprises en France (inondations de la Somme en 1999 [15], du Gard en 2002 [16], de Bédarrides dans le Vaucluse en 1992 [11]), comme à l'étranger (ouragan Katrina en 2005 aux États-Unis [17]). Enfin, la santé mentale de l'individu et les conséquences socioéconomiques collectives de la catastrophe peuvent interagir négativement. Ce mal-être psychosocial peut notamment se traduire par une augmentation de la prévalence de la toxicomanie, de la survenue des actes de violences, qui sont autant d'indicateurs d'un mal-être collectif qu'individuel. Il convient de prendre en compte ces interactions dans les actions de prévention comme pour les objectifs de surveillance épidémiologique sur le long terme au sein des communautés impactées [18], notamment en ciblant les sous-groupes de population socialement plus à risque.

La surveillance et les études épidémiologiques jouent un rôle important pour identifier et objectiver l'ensemble de ces impacts sanitaires à court, moyen et long terme et, ainsi, orienter les recommandations visant à les atténuer. Ces recommandations pourront servir pour l'événement en question, mais aussi pour les événements futurs.

Objectifs et principes de la réponse épidémiologique après une inondation ou une tempête

En phase immédiate post-événement, les premiers objectifs de l'épidémiologiste sont d'identifier les populations affectées, de prioriser les effets aigus et différés à surveiller selon la nature, le lieu et l'étendue de la catastrophe, et d'alerter sur la survenue éventuelle d'effets inhabituels.

Ces objectifs nécessitent la synthèse rapide des informations disponibles au regard du scénario de l'événement (bibliographie, informations issues des services publics et acteurs de la gestion immédiate, systèmes de surveillance, liste des établissements sensibles, cartographies des dégâts ou des zones inondées...) pour connaître le nombre de victimes, de blessés et de personnes exposées, les effets observés, les dégâts matériels et agricoles... Dans cette phase, toutes les ressources sanitaires sont déjà fortement mises à contribution, voire débordées. Les systèmes de surveillance doivent donc être simples, limités dans le temps et prioriser les événements de santé à surveiller, en s'appuyant au maximum sur les systèmes déjà existants : les dispositifs de médecine d'urgence (Oscour®, SOS Médecins), la déclaration informatisée des décès au niveau des communes, ou des systèmes de surveillance spécifiques (système de surveillance des intoxications au CO). En parallèle, le réseau d'offre de soins (médecins libéraux ou spécialistes) peut constituer un réseau d'alerte signalant la survenue d'événements de santé inhabituels [12;19]. En cas de déploiement exceptionnel de dispositifs de prise en charge sanitaire sur le terrain, une collecte médicale de base devra avoir été prévue et fera l'objet d'une analyse centralisée en temps quasi-réel. C'est ainsi qu'il a été demandé à chaque personnel de santé, membre du dispositif de prise en charge psychologique renforcé mis en place suite à la tempête Xynthia survenue fin février 2010, de remplir un questionnaire épidémiologique rapide permettant aussi de mesurer l'activité du dispositif. La Cire Limousin-Poitou-Charentes a pu ainsi identifier les populations utilisant ce dispositif spécifique, ainsi que les populations vulnérables. Elle a pu montrer l'évolution du recours à ce système et apporter des éléments sur l'évolution de l'impact sur la santé mentale, aussi bien de l'événement primordial que de ses conséquences à moyen terme. Ces informations ont permis d'adapter le dispositif en prolongeant son existence au-delà du mois prévu et en justifiant sa fermeture six mois plus tard. Elles ont aussi permis d'identifier la nécessité d'un lieu de consultation de proximité supplémentaire, dans une commune non prévue lors de la mise en place initiale du dispositif [20].

La surveillance épidémiologique doit être souple et réactive afin de s'adapter aux scénarios spécifiques des événements et aux réponses mises en place et pouvoir, selon le contexte sanitaire et social sur le terrain, être renforcée rapidement sur un effet sanitaire ou une zone particulière. C'est ainsi que, dès l'annonce des inondations du Var en juin 2010, la Cire Sud en collaboration avec l'Observatoire régional des urgences de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, ont permis en temps réel aux urgentistes des 3 hôpitaux alentours d'étiqueter tout enregistrement des passages aux urgences qu'ils jugeaient en rapport avec l'inondation [21]. De même, c'est l'analyse des motifs de recours aux urgences, renseignés en texte libre à l'hôpital de Mont-de-Marsan, qui a permis de mettre en évidence un nombre important de visites en lien avec l'utilisation d'une tronçonneuse, dans le mois après la tempête Klaus qui a durement frappé le département forestier des Landes (29 visites en lien avec un

accident de tronçonneuse contre 6 le même mois de l'année précédente) [22].

L'accent doit être mis sur la sensibilité des systèmes de surveillance, les événements détectés faisant l'objet de vérification par la suite. Au besoin, cela se fait par des investigations épidémiologiques de terrain, dont les critères standardisés permettent de valider la réalité d'une alerte de santé publique. Ainsi, les investigations faites dans le cadre du système de surveillance des intoxications au CO suite à la tempête Klaus, où 109 épisodes d'intoxication au CO ont été dénombrés, ont montré que la majorité de ceux-ci était liée à l'utilisation de groupes électrogènes comme source palliative d'électricité [13].

À moyen terme, des études épidémiologiques doivent préciser la nature de l'impact, évaluer son importance et en suivre les tendances spatiales et temporelles. Ces études peuvent utiliser les systèmes d'information médico-économiques (données de remboursement de l'Assurance maladie, PMSI), comme cela a été fait pour suivre l'impact de l'inondation du Gard en 2002 [16]. La surveillance épidémiologique peut aussi utiliser des systèmes d'information existant au préalable, bien que non prévus pour surveiller l'état de santé des populations (exemple : délits enregistrés) ou des sources d'information plus adaptées à certaines populations marginalisées (cf. informateurs d'associations locales de soutien social). Les études épidémiologiques peuvent aussi prendre la forme d'enquêtes transversales ou d'enquêtes de cohorte qui permettent un recueil précis d'informations et de suivre l'évolution des événements de santé (santé mentale, par exemple) au niveau individuel (inondations de Bédarrides [11] ou de la Somme [15]). Ces enquêtes gagneraient à être lancées très rapidement après la survenue de l'événement, avant que les populations ne soient dispersées et perdues de vue, et tant que les mesures d'exposition sont encore possibles et moins liées au biais de mémoire [23].

Les expériences passées montrent que l'analyse épidémiologique de l'impact des tempêtes a souvent été incomplète. Or, c'est la combinaison des informations apportées par ces différents outils épidémiologiques qui permettra une évaluation représentative et globale de l'impact sanitaire d'une tempête. L'objet du Programme de préparation de la réponse épidémiologique aux accidents industriels et catastrophes (Peraic) de l'InVS est d'intégrer ces différents outils et de préparer cette réponse épidémiologique globale en amont [24]. Pour cela, les épidémiologistes doivent être identifiés par les acteurs de la gestion de la crise. Ils doivent convaincre les gestionnaires et décideurs d'intégrer la surveillance épidémiologique dans les plans de préparation à la gestion de ces événements et dans les retours d'expérience des événements passés. La préparation de la surveillance épidémiologique se fait avec les professionnels de santé locaux (cellules d'urgence médico-psychologique, Samu, pompiers, médecins généralistes, centres hospitaliers) avec lesquels sont définis les sources de données et les modalités de recueil, les analyses et indicateurs produits en routine, les processus d'alerte (seuils d'alerte) et d'investigation épidémiologique. L'organisation de l'interaction

entre épidémiologistes et acteurs locaux doit être planifiée en prévision des catastrophes, en intégrant ceux-ci dans les centres de gestion de crise, par exemple au sein de la cellule régionale d'appui de l'ARS qui est en interaction étroite et permanente avec la préfecture. De même, l'État doit se donner les moyens techniques, organisationnels et logistiques de lancer les études épidémiologiques individuelles qui s'avèrent nécessaires très rapidement après la survenue d'une tempête (mise en place de comités scientifiques et de suivi, choix des critères de lancement et principes de réalisation).

Conclusion

Les événements climatologiques extrêmes sont encore imprévisibles, si ce n'est à très court terme, quant à la date et le lieu de leur survenue. Néanmoins, la réponse à ces événements mérite une planification attentive et la surveillance épidémiologique doit y être intégrée, au niveau régional comme national, car elle revêt un intérêt de santé publique majeur en apportant des informations essentielles à la gestion de crise. Dans la réponse à ces événements, la présence d'épidémiologistes se justifie dès le début de l'alerte météorologique, les événements sanitaires pouvant qualifier la gravité de l'impact et devenir un des critères d'alerte. Les préparations épidémiologiques aux inondations et tempêtes et aux vagues de chaleur sont deux exemples répondant à des enjeux différents impliquant des modes de structuration différents. Dans le cas des vagues de chaleur, une grande formalisation de l'intégration des résultats de la surveillance épidémiologique dans les plans de gestion est désirée par les décideurs. Ceux-ci ne veulent pas revivre la canicule de 2003 dont l'ampleur avait surpris et dépassé les capacités de réponse des systèmes de prise en charge sanitaire au niveau national. Cette formalisation est facilitée aussi du fait que le panel des effets attendus est *a priori* limité. Dans le cas des inondations et des tempêtes, les scénarios des événements sont plus variés, aussi bien pour ce qui concerne l'intensité de ces phénomènes que pour les effets possibles. De plus, les acteurs de la gestion avec lesquels les épidémiologistes doivent interagir sont à la fois plus nombreux et plus centrés sur la protection des populations. Ces caractéristiques demandent avant tout une grande flexibilité et adaptabilité des épidémiologistes, ainsi que de la surveillance proposée. Mais dans tous les cas, les systèmes de surveillance épidémiologique post-catastrophe météorologique doivent pouvoir marier exigences de rigueur et d'optimisation aux qualités de souplesse et de réflexivité (capacité d'auto-analyse et d'auto-évaluation régulière) si l'on désire qu'ils puissent s'adapter à tout moment aux modifications de la situation, et s'enrichir des retours d'expériences successifs.

Références

- [1] IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Special report : Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Summary for policymakers. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2011. 19 p. Disponible à : <http://ipcc-wg2.gov/SREX>
- [2] Solomon SD, Quin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, *et al.* Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the

- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2007. 996 p.
- [3] Fouillet A, Rey G, Wagner V, Laaidi K, Empereur-Bissonnet P, Le Tertre A, *et al.* Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *Int J Epidemiol.* 2008 37(2):309-7.
- [4] Le Tertre A, Lefranc A, Eilstein D, Declercq C, Medina S, Blanchard M, *et al.* Impact of the 2003 heatwave on all-cause mortality in 9 French cities. *Epidemiology.* 2006;17(1):75-9.
- [5] Ledrans M. Impact sanitaire de la vague de chaleur de l'été 2003 : synthèse des études disponibles en août 2005. *Bull Epidémiol Hebd.* 2006;(19-20):130-7.
- [6] Le Tertre A, Laaidi K, Josseran L, Wagner V, Jouglé E, Empereur-Bissonnet P, *et al.* Première estimation de l'impact de la vague de chaleur sur la mortalité durant l'été 2006, France. *Bull Epidémiol Hebd.* 2007;(22-23):190-2.
- [7] Rey G, Fouillet A, Bessemoulin P, Fraysinet P, Dufour A, Jouglé E, *et al.* Heat exposure and socio-economic vulnerability as synergistic factors in heat-wave-related mortality. *Eur J Epidemiol.* 2009;24(9):495-502.
- [8] Vandentorren S, Bretin P, Zeghnoun A, Mandereau-Bruno L, Croisier A, Cochet C, *et al.* August 2003 heat wave in France: risk factors for death of elderly people living at home. *Eur J Public Health.* 2006;16(6):583-91.
- [9] Pascal M, Laaidi K, Ledrans M, Baffert E, Caserio-Schönemann C, Le Tertre A, *et al.* France's heat health watch warning system. *Int J Biometeorol.* 2006;50(3):144-53.
- [10] Pascal M, Laaidi K, Ung A, Beaudou P. Méthodes d'analyse de l'impact sanitaire des vagues de chaleur : suivi en temps réel, estimation *a posteriori*. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2011. 48 p. Disponible à : <http://www.invs.sante.fr/>
- [11] Verger P, Rotily M, Hunault C, Brenot J, Baruffo E, Bard D. Assessment of exposure to a flood disaster in a mental-health study. *J Expo Anal Environ Epidemiol.* 2003;13(6):436-42.
- [12] Verger P, Aulagnier M, Schwoebel V, Lang T. Démarches épidémiologiques après une catastrophe. Anticiper les catastrophes : enjeux de santé publique, connaissances, outils et méthodes. Paris: La Documentation Française; 2005. 265 p.
- [13] Coquet S, Mansotte F, Cabot C, Ricoux C, Sauthier N, Motreff Y, *et al.* Phénomène climatique exceptionnel et intoxications au monoxyde de carbone : de la surveillance à l'action de santé publique, France, Sud-Ouest, janvier 2009. *Bull Epidémiol Hebd.* 2011;(45-46):467-71.
- [14] Appel A. After Katrina: tracking the toxic flood. *Nature.* 2005;437(7058):462.
- [15] Ligier K, Ganiayre F, Zielinski O, Illef D, Trugeon A, Guillaumont C, *et al.* Health survey among flood victims in the Somme area. *Rev Epidémiol Sante Publique.* 2005;53(6):658-65.
- [16] Six C, Mantey K, Franke F, Pascal L, Malfait P. Étude des conséquences psychologiques des inondations à partir des bases de données de l'Assurance maladie, département du Gard, septembre 2002. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2008. 23 p. Disponible à : http://www.invs.sante.fr/publications/2008/inondation_gard/index.html
- [17] Galea S, Brewin CR, Gruber M, Jones RT, King DW, King LA, *et al.* Exposure to hurricane-related stressors and mental illness after Hurricane Katrina. *Arch Gen Psychiatry.* 2007;64(12):1427-34.
- [18] Yun K, Lurie N, Hyde PS. Moving mental health into the disaster-preparedness spotlight. *N Engl J Med.* 2010;363(13):1193-5.
- [19] Tsouros AD, Efstrathiou PA. Mass gatherings and public health. The experience of the Athens 2004 Olympic Games. Geneva: WHO; 2007. 377 p.
- [20] Raguenaud ME, Germonneau P, Pirard P, Motreff Y. Surveillance des conséquences psychologiques suite à la tempête Xynthia en Charente-Maritime en 2010. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2011. 29 p. Disponible à : <http://www.invs.sante.fr>
- [21] Cire Sud. Bulletin de veille sanitaire Paca-Corse n°3, juillet 2011. 8 p. Disponible à : <http://www.invs.sante.fr/Publications-et-outils/Bulletin-de-veille-sanitaire/Tous-les-numeros/Sud/Bulletin-de-veille-sanitaire-Paca-Corse-n-3-juillet-2011>
- [22] Verrier A, Motreff Y, Pirard P. Encadré 1. Surveillance épidémiologique activée lors de la tempête Klaus. In: Astagneau P, Ancelle T (dir). Surveillance épidémiologique. Paris: Lavoisier; 2011. p 233.
- [23] Lang T, Schwoebel V, Diene E, Bauvin E, Garrigue E, Lapiere-Duval K, *et al.* Assessing post-disaster consequences for health at the population level: experience from the AZF factory explosion in Toulouse. *J Epidemiol Community Health.* 2007;61(2):103-7.
- [24] Pirard P, Motreff Y, Schwoebel V, Ricoux C. Encadré. Préparation en réponse aux accidents industriels et catastrophes (Peraic). *Bull Epidémiol Hebd.* 2009;(35-36):386-7.

Les déterminants des maladies infectieuses humaines en Europe : influences de la biodiversité et de la variabilité climatique

Serge Morand (serge.morand@univ-montp2.fr)¹, Agnès Waret-Szkuta²

1/ Institut des sciences de l'évolution, CNRS, IRD, Université Montpellier 2, CC065; Cirad UR AGIRs, TA C-22/E, Montpellier, France
2/ Cirad UR AGIRs, TA C-22/E, Montpellier, France ; ENVT, Clinique aviaire et porcine, Toulouse, France

Résumé / Abstract

L'incidence des maladies infectieuses est en nette augmentation ces dernières décennies. Les facteurs évoqués sont généralement ceux associés aux changements globaux en cours dont le changement climatique, l'érosion de la biodiversité et l'augmentation des échanges internationaux. Dans cette étude, nous analysons les facteurs potentiellement explicatifs des épidémies (au sens de l'OMS) de maladies infectieuses humaines à l'échelle européenne. Pour cela, une base de données incluant des variables socioéconomiques, environnementales et de biodiversité pour chacun des pays, ainsi que les principales maladies infectieuses humaines qui y sont rapportées, est constituée.

Sur la période 1950 à 2010, on compte 114 maladies infectieuses épidémiques réparties dans 36 pays. Ces données confirment l'augmentation quasi-exponentielle du nombre de maladies infectieuses épidémiques au cours des dernières décennies. Le nombre total de maladies répertoriées dans les pays européens apparaît corrélé à la surface géographique du pays et à sa biodiversité (richesse en espèces d'oiseaux et mammifères). Cela reste vrai pour le nombre total de maladies épidémiques, qui se trouve en outre dépendre de la taille de la population, de la variabilité de la température et de la richesse économique (PIB) du pays considéré. L'effet de l'Oscillation Nord-Atlantique (NOA, *North Atlantic Oscillation*) comme indice de la variabilité climatique en Europe est testé pour 13 maladies infectieuses analysables sur les soixante dernières années. Onze maladies infectieuses présentent des occurrences associées aux variations mensuelles de l'indice NOA comme les fièvres hémorragiques à hantavirus, la tularémie, les fièvres Q, la trichinose ou les maladies infectieuses gastro-intestinales à bactéries ou à virus.

Cette étude souligne l'intérêt potentiel du suivi des changements de biodiversité ou de la variabilité climatique pour les systèmes d'alerte précoce en épidémiologie.

Determinants of human infectious diseases in Europe: biodiversity and climate variability influences

Infectious diseases' incidence has clearly increased during the last decades. The explanatory factors reported are generally those associated with ongoing global changes, including climate change, loss of biodiversity, and increased international trade. In this study, we analyze the potential explanatory factors of human infectious disease outbreaks across European countries (as defined by the WHO). For this purpose, a database including data about socio-economical, environmental and biodiversity related factors, as well as the main human infectious diseases reported was designed.

Over the period 1950 to 2010, 114 epidemic infectious diseases were identified in 36 countries. These data confirm the almost exponential increase in the number of infectious disease outbreaks in recent decades. The total number of diseases listed in any given European country seems to be correlated to its area size and biodiversity (species richness in birds and mammals). The total number of epidemic diseases is found to also depend on the population size and economic wealth (GDP) of the country, as well as on the prevailing temperature variability. The effect of the North Atlantic Oscillation (NAO) considered as an index of climate variability in Europe is tested for thirteen infectious diseases which can be analyzed over the last 60 years. The occurrence of 11 of these, including hantavirus hemorrhagic fevers, tularaemia, Q fever, trichinosis and bacterial or viral gastrointestinal diseases, is found to be associated with monthly variations of NAO.

This study highlights that both biodiversity change and climate variability should be taken into account when building epidemic-surveillance early warning systems.

Mots-clés/Key words

Europe, maladies infectieuses, épidémie, biodiversité, variabilité climatique, index NAO / Europe, infectious diseases, epidemic, biodiversity, climate variability, NAO index

Introduction

L'incidence des maladies infectieuses est en nette augmentation ces dernières décennies [1]. Les facteurs explicatifs invoqués sont généralement ceux associés aux changements globaux en cours dont le changement climatique, l'érosion de la biodiversité, les invasions biologiques et l'augmentation des échanges internationaux. Un impact direct du changement climatique sur les maladies infectieuses est cependant difficile à démontrer en raison des interactions complexes non linéaires entre climat et biodiversité, agents pathogènes, vecteurs et hôtes [2]. Ainsi, le changement climatique est supposé impacter plus particulièrement les maladies infectieuses vectorielles [1;3], mais une réduction de la biodiversité à l'échelle locale peut d'autre part s'accompagner d'une augmentation des prévalences de certaines maladies, comme cela a été montré pour la maladie de Lyme ou la fièvre du West Nile par exemple [4].

La majorité des maladies infectieuses émergentes semble localisée dans les latitudes élevées et dans les pays développés (Amérique du

Nord, Europe, Japon) [1]. On trouve un schéma opposé pour la richesse (nombre total) en maladies endémiques lors de recherches sur les facteurs explicatifs, leur diversité apparaissant plus élevée dans les zones tropicales où la biodiversité en oiseaux et en mammifères est la plus élevée [5;6].

Les conséquences du changement climatique en Europe ont fait l'objet de nombreuses synthèses [7] et quelques travaux ont pu effectivement démontrer un effet du changement climatique sur des maladies infectieuses, comme dans le cas de la maladie de la fièvre catarrhale ovine [8]. Cependant, peu d'études ont abordé d'une manière comparative l'impact du changement climatique sur les maladies infectieuses [9] et un très petit nombre d'études ont exploré les liens entre variabilité climatique et épidémies en Europe [10;11].

Les contradictions apparentes entre les études conduites à l'échelle mondiale sur les localisations géographiques et les déterminants des maladies infectieuses humaines endémiques et épidémiques, ainsi que le manque de vision

plus spécifiquement centrée sur l'Europe, nous a conduit à analyser les facteurs potentiellement explicatifs des épidémies de maladies infectieuses humaines à l'échelle de ces pays européens. Pour cela, une base de données incluant des données socioéconomiques, environnementales et de biodiversité, ainsi que les principales maladies infectieuses humaines répertoriées par pays et survenant sous forme épidémique, a été constituée. Ceci a permis de tester statistiquement l'influence de facteurs potentiels explicatifs de ces épidémies (au sens de l'OMS : augmentations significatives de nombre de cas ou de foyers de maladies), en y incluant la variabilité climatique.

Méthodes

Les informations concernant les épidémies de maladies infectieuses proviennent de la base médicale GIDEON¹ (*Global Infectious Diseases and Epidemiology Network*). Cette base de données, qui fournit la présence et l'occurrence sous forme

¹ <http://www.cyinfo.com>

épidémique éventuelle des maladies infectieuses humaines pour chaque pays, a régulièrement été utilisée dans des études comparatives [5;6]. Elle est complétée par des données socioéconomiques, démographiques et environnementales provenant de la FAO et de la Banque mondiale : démographie, PIB, superficie des forêts, température et pluviométrie moyennes ainsi que leurs variabilités annuelles. Y sont également ajoutées des données de biodiversité provenant de *Bird Life International*² pour les oiseaux et de *International Union for Conservation of Nature* pour les mammifères³.

Sur la période 1950 à 2010 et à l'échelle de 36 pays, 114 maladies infectieuses épidémiques sont ainsi répertoriées.

L'impact de la variabilité climatique sur les épidémies est analysé en utilisant l'indice de l'Oscillation Nord-Atlantique (NAO, *North Atlantic Oscillation*), car cet index est plus pertinent pour l'Europe que l'ENSO (*El Niño Southern Index*). Les phases positives et négatives du NAO reflètent les patrons climatiques de température et de pluviométrie sur l'Europe. Les données sur les variations mensuelles de cet indice proviennent de la NOAA⁴ (*National Weather Service of the National Oceanic and Atmospheric Administration*) et sont incorporées dans des modèles de régression logistique avec l'année comme variable confondante. La base GIDEON a été mise en place en 1994, et certaines informations remontent au début du siècle précédent.

Treize maladies infectieuses sont ensuite sélectionnées sur la base de leur détection remontant au moins au début des années 1950, de manière à obtenir une série statistique suffisamment longue de 1950 à 2009. Le choix des années 1950 comme début de la série statistique s'explique également par une amélioration significative de la mise en place d'autres bases de données (socioéconomiques par exemple : FAO, Banque mondiale, FMI) qui ont commencé à fournir des informations agrégées par pays à partir des années 1950.

Les statistiques, modèles de régression multiples ou modèles linéaires généralisés, sont effectuées sous R 2.10[®] (*R Development Core Team*, 2010). Les sélections des meilleurs modèles se font à l'aide du critère AIC (*Akaike Information Criteria*).

Résultats

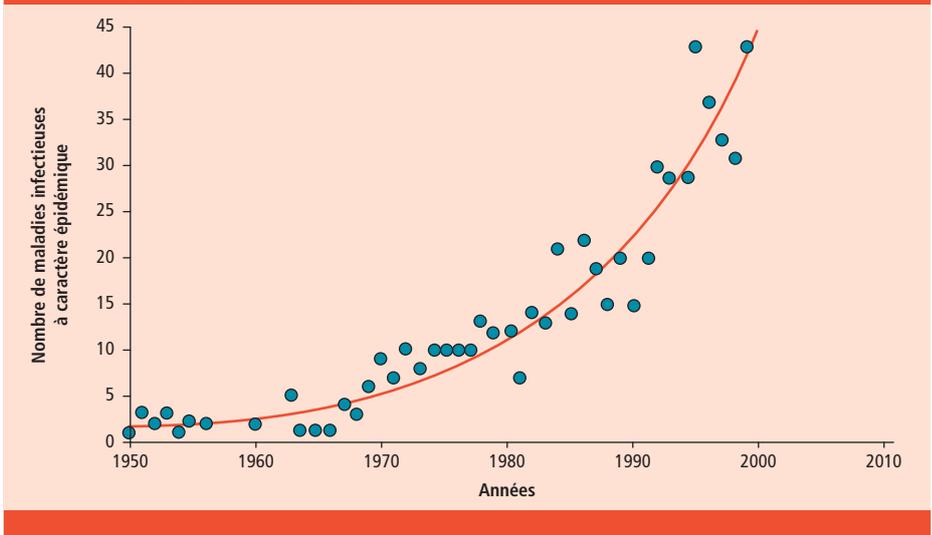
Augmentation du nombre d'épidémies

Les données issues de la base GIDEON confirment l'augmentation quasi-exponentielle du nombre de maladies infectieuses humaines produisant des épidémies au cours des dernières décennies (figure 1).

Déterminants de la diversité des maladies infectieuses humaines présentes en Europe et de celles prenant une forme épidémique

Nous avons conduit deux analyses de régression multiple, avec sélection du meilleur modèle par le critère AIC, afin de mettre en évidence les

Figure 1 Augmentation du nombre de maladies infectieuses à caractère épidémique depuis les années 1950 en Europe | *Figure 1 Increase in epidemic infectious diseases since the 1950s in Europe*



facteurs statistiquement explicatifs de la richesse totale en maladies infectieuses humaines totales d'une part et épidémiques d'autre part.

Concernant le nombre total de maladies infectieuses en Europe, le meilleur modèle inclut la superficie des pays ainsi que la richesse en oiseaux et en mammifères (tableau 1). Il apparaît qu'un pays de grande superficie avec une forte biodiversité (en oiseaux et en mammifères) présenterait une forte diversité en maladies infectieuses. Une forte biodiversité est donc statistiquement un facteur corrélatif important de la diversité des maladies infectieuses humaines (figure 2).

Le nombre de maladies infectieuses épidémiques est potentiellement expliqué par davantage de facteurs. Outre la superficie du pays et sa biodiversité, la densité de population et la richesse économique (PIB) y sont aussi statistiquement positivement corrélées et la variabilité annuelle de température négativement, soulignant l'importance de la variabilité climatique par rapport à l'occurrence des épidémies.

Effet de la variabilité climatique

L'influence de facteurs environnementaux, comme la température, dans l'explication statistique du nombre de maladies infectieuses à caractère épidémique, conduit à poursuivre l'analyse en abordant l'importance de la variabilité climatique sur l'occurrence des épidémies de

13 des 114 maladies infectieuses répertoriées au long des soixante dernières années.

Toutes les 13 montrent une association statistique positive avec le facteur année (tableau 2), reflétant la tendance déjà notée précédemment d'une augmentation du nombre de maladies épidémiques de l'année 1950 à l'année 2009 (figure 1).

Six d'entre elles montrent une association significative avec l'index NAO mensuel. Il s'agit des infections à adénovirus, de la fièvre Q, des infections à entérovirus, des fièvres typhoïdes, de la tularémie et de la trichinellose. Trois autres maladies montrent une tendance liée à la variabilité climatique : les méningites aseptiques virales, les gastro-entérites et les fièvres hémorragiques à hantavirus. Enfin, quatre maladies infectieuses semblent être indépendantes de la variabilité climatique. Il s'agit de la rougeole, de la tuberculose, des hépatites A et des shigelloses.

Discussion

Les résultats présentés ici, bien que focalisés sur les pays européens, sont en accord avec les analyses menées à l'échelle mondiale [1]. Ainsi, la biodiversité serait un facteur explicatif de la diversité des maladies infectieuses humaines. Un pays européen hébergeant une forte biodiversité en oiseaux et en mammifères hébergerait également de nombreux vecteurs et réservoirs qui constituent les éléments essentiels de

Tableau 1 Résultats synthétiques à l'aide de modèles généraux de régressions des facteurs explicatifs du nombre de maladies infectieuses totales et épidémiques en Europe (les meilleurs modèles sont sélectionnés à l'aide du critère AIC) (voir aussi figure 2) | *Table 1 Summarized results of explanatory factors of present and epidemic infectious diseases in Europe using general regression modelling (the best fit models were selected using the AIC criterion) (see also figure 2).*

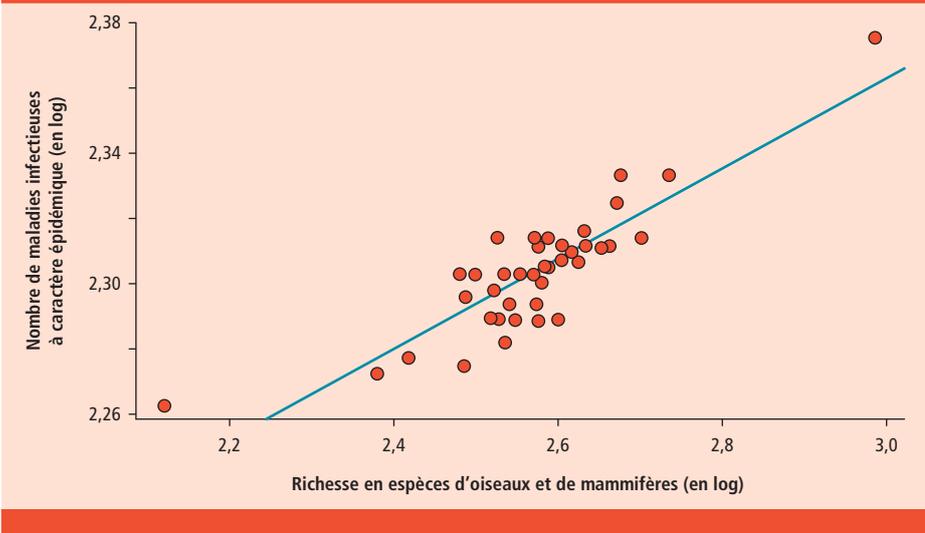
Maladies infectieuses	Variables explicatives	Effet	Probabilité
Nombre de total de maladies infectieuses	Superficie du pays	+	0,02
	Richesse en espèces d'oiseaux et mammifères	+	<0,0001
Nombre de maladies infectieuses épidémiques	Superficie du pays	+	0,004
	Densité de population	+	0,01
	Nombre de maladies infectieuses totales	-	0,029
	Richesse en espèces d'oiseaux et mammifères	+	0,003
	PIB <i>per capita</i>	+	0,0001
	Variabilité annuelle de température	-	0,025

² <http://www.birdlife.org>

³ <http://www.iucnredlist.org/initiatives/mammals>

⁴ <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>

Figure 2 Relation entre le nombre de maladies infectieuses et la richesse en espèces d'oiseaux et de mammifères pour les différents pays européens | *Figure 2* Relationship between the number of infectious diseases and the species diversity in birds and mammals among various European countries



transmission des maladies zoonotiques [6]. La biodiversité serait également un facteur associé à l'augmentation des maladies infectieuses épidémiques.

Ces résultats observés à l'échelle globale ne sont pas en désaccord avec des résultats inverses obtenus à l'échelle locale montrant une augmentation des incidences de maladies infectieuses avec une réduction de la biodiversité [4]. A l'échelle globale, la biodiversité européenne a été marquée par les dernières glaciations qui ont réduit aussi bien la diversité en mammifères [12] que la diversité en parasites [13].

La densité de population qui apparaît aussi comme un déterminant reconnu de la richesse

en agents pathogènes chez les animaux [14] ne semble pas influencer significativement la diversité en agents infectieux des populations européennes.

L'augmentation du nombre de maladies épidémiques en Europe au cours des soixante dernières années confirme également les études effectuées à l'échelle globale [1]. Plusieurs facteurs sont évoqués comme l'urbanisation croissante, l'augmentation des résistances aux antibiotiques ou le changement climatique [7]. Il faut cependant souligner que cette augmentation des maladies à caractère épidémique est fortement corrélée à l'amélioration de la détection des maladies et à l'augmentation des dépenses de santé, reflétée

en partie par l'effet positif du PIB, même si cet indice n'est certainement pas le meilleur indicateur de l'investissement d'un pays dans les systèmes de santé et d'épidémiologie-surveillance. Toutefois, des travaux ont pu montrer qu'il est un bon proxy de nombreux autres indicateurs de santé, comme la mortalité juvénile ou adulte [15].

Cette première analyse du nombre de maladies infectieuses à caractère épidémique ou non doit être considérée comme une première étape pour des travaux futurs. En effet, cette étude n'a pas pris en compte de nombreux autres facteurs, par exemple socioéconomiques, ni la diversité microbiologique et génétique qui peut se cacher derrière le diagnostic d'une maladie.

Un autre point important d'amélioration des études futures concerne l'influence de la variabilité climatique tant sur le nombre total de maladies infectieuses épidémiques que sur l'occurrence de certaines des autres maladies infectieuses répertoriées au cours des dernières décennies.

La variabilité du climat peut avoir un impact direct sur les agents pathogènes (survie dans l'environnement, multiplication...). Nos résultats confirment que les conditions NAO pourraient avoir des implications importantes pour la santé publique européenne en concernant des maladies présentant tous les types de voies de transmission : par les aérosols comme dans le cas des fièvres Q, par l'eau pour les fièvres typhoïdes, par les aliments comme la trichinellose, ou par des insectes vecteurs comme la tularémie. Des effets de la variabilité climatique ont été déjà montrés en Europe sur certaines de ces maladies infectieuses (à l'exception de la trichinellose) [10], et en particulier sur la tularémie en Suède, toutefois sans présenter une claire explication de l'action de la variabilité climatique sur la transmission [16].

L'influence de la variabilité climatique peut agir indirectement par son effet sur les comportements sociaux. Ainsi, l'augmentation des encéphalites à tiques (TBE) (non testée ici) semble être liée à plusieurs facteurs comme l'augmentation de la survie des tiques avec des hivers plus chauds ou l'augmentation des cas diagnostiqués en raison d'une sensibilisation accrue de la maladie, mais aussi en raison d'un plus grand nombre de personnes présentes dans les zones endémiques suite à l'augmentation des activités récréatives [17;18].

L'ensemble de ces résultats est cependant dépendant de la qualité des données utilisées, notamment pour celles qui remontent au milieu du siècle précédent. Le choix de la date de 1950 comme début de la série statistique correspond à cette période d'après-guerre de mise en place des statistiques nationales et internationales (FAO, FMI, Banque mondiale, OMS).

Les implications des résultats présentés ici pour les stratégies d'épidémiologie-surveillance sont de deux ordres. L'effet de la biodiversité sur les maladies infectieuses devrait s'étudier à des échelles plus résolutes, tant géographiques que temporelles.

Ainsi, on pourrait par exemple étudier les relations statistiques entre les modifications d'usage des terres (fragmentation des paysages,

Tableau 2 Résultats synthétiques des régressions logistiques sur les occurrences des épidémies de 13 maladies infectieuses en fonction des années et valeurs mensuelles de l'index de variabilité climatique NAO (North Atlantic Oscillation) en Europe (les meilleurs modèles sont sélectionnés à l'aide du critère AIC) | *Table 2* Summarized results of logistic regressions on the occurrence of 13 infectious diseases in relation to year and monthly values of the North Atlantic Oscillation (NAO) index of climate variability in Europe (the best fit models were selected using the AIC criterion)

Maladies infectieuses	Variables sélectionnées	Effet estimé (erreur standard)	Probabilité
Infection à adénovirus	Année	0,11 (0,03)	<0,001
	Index NAO du mois de mai	110,32 (56,46)	0,05
Fièvre Q	Année	0,08 (0,02)	0,002
	Index NAO du mois d'octobre de l'année précédente	119,82 (55,20)	0,04
Infection à entérovirus	Année	0,11 (0,03)	<0,001
	Index NAO du mois d'octobre	194,30 (82,11)	0,02
Fièvre typhoïde	Année	0,08 (0,03)	0,001
	Index NAO du mois de décembre de l'année précédente	111,72 (57,94)	0,02
Trichinellose	Année	0,33 (0,11)	0,02
	Index NAO du mois de mai	232,66 (99,19)	0,02
	Index NAO du mois d'août	-357,25 (152,04)	0,02
Gastro-entérite	Année	0,42 (0,15)	0,005
	Index NAO du mois d'octobre	322,54 (171,11)	0,06
Méningite virale	Année	0,08 (0,02)	0,001
	Index NAO du mois d'août	18,71 (64,97)	0,07
Fièvre hémorragique à hantavirus	Année	0,23 (0,08)	0,003
	Index NAO du mois d'avril	207,28 (121,68)	0,08
Tularémie	Année	0,10 (0,03)	0,001
	Index NAO du mois de janvier	-124,74 (58,92)	0,03
Hépatite A	Année	0,05 (0,02)	0,006
Shigellose	Année	0,13 (0,03)	<0,001
Rougeole	Année	0,21 (0,05)	<0,001
Tuberculose	Année	0,25 (0,07)	<0,001

augmentation ou diminution des surfaces forestières) et l'occurrence des épidémies afin de scénariser les effets des changements de biodiversité sur les risques infectieux. D'autre part, l'augmentation continue de la variabilité climatique telle que montrée par l'indice NAO [19] peut potentiellement augmenter les risques épidémiques dans un proche avenir, mais des études plus approfondies sont cependant nécessaires pour proposer son utilisation dans les systèmes d'alerte précoce.

Remerciements

Cette étude est supportée par le projet ERA-NET ENHanCe (<http://www.liv.ac.uk/enhance/>) et par l'ATP Cirad « Émergences et risques sanitaires ». Nous remercions K. Owers pour son implication dans la construction de la base de données.

Références

[1] Jones KE, Patel NG, Levy MA, Storeygard A, Balk D, Gittleman JL, *et al.* Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*. 2008;451:990-4.
[2] Lafferty KD. The ecology of climate change and infectious diseases. *Ecology*. 2009;90:888-900.
[3] Harvell CD, Mitchell CE, Ward JR, Altizer S, Dobson AP, Ostfeld RS, *et al.* Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science*. 2002;296: 2158-62.

[4] Keesing F, Belden LK, Daszak P, Dobson A, Harvell CD, Holt RD, *et al.* Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *Nature*. 2010;468:647-52.
[5] Guernier V, Hochberg ME, Guégan JF. Ecology drives the worldwide distribution of human diseases. *Plos Biol*. 2004;2:740-6.
[6] Dunn RR, Davies TJ, Harris NC, Gavin MC. Global drivers of human pathogen richness and prevalence. *Proc R Soc B Biol Sc*. 2010;277:2587-95.
[7] Semenza JC, Menne B. Climate change and infectious diseases in Europe. *Lancet Infect Dis*. 2009;9:365-75.
[8] Purse BV, Mellor PS, Rogers DJ, Samuel AR, Mertens PPC, Baylis M. Climate change and the recent emergence of bluetongue in Europe. *Nature Rev Microbiol*. 2005;3:171-81.
[9] McIntyre KM, Setzkorn C, Baylis M, Waret-Szkuta A, Caminade C, Morse AP, *et al.* Impact of climate change on human and animal health. *Vet Rec*. 2010;167(15):586.
[10] Hubálek Z. North Atlantic weather oscillation and human infectious diseases in the Czech Republic, 1951-2003. *Eur J Epidemiol*. 2005;20:263-72.
[11] Guis H, Caminade C, Calvete C, Morse AP, Tran A, Baylis M. Modelling the effects of past and future climate on the risk of bluetongue emergence in Europe. *J R Soc Interface*. 2012;9(67):339-50.

[12] Sara M, Morand S. Island incidence and mainland population density: mammals from Mediterranean islands. *Div Dist*. 2002;8:1-10.
[13] Goüy de Bellocq J, Morand S, Feliu C. Patterns of parasite species richness of Western Palaearctic: micro-mammals: island effects. *Ecography*. 2002;25:173-83.
[14] Poulin R, Morand S. The parasite biodiversity. Washington: Smithsonian Institution Press, 2004.
[15] Martens P, Akin S-M, Huynen M, Mohsin R. Is globalization healthy: a statistical indicator analysis of the impacts of globalization on health. *Global Health*. 2010;6:16.
[16] Rydén P, Sjöstedt A, Johansson A. Effects of climate change on tularaemia disease activity in Sweden. *Glob Health Action*. 2009;2. doi: 10.3402/gha.v2i0.2063.
[17] Randolph SE. Tick-borne encephalitis virus, ticks and humans: short-term and long-term dynamics. *Curr Opin Infect Dis*. 2008;462:467.
[18] Evengård B, Sauerborn R. Climate change influences infectious diseases both in the Arctic and the tropics: joining the dots. *Glob Health Action*. 2009;2. doi: 10.3402/gha.v2i0.2106.
[19] Visbeck MH, Hurrell JW, Polvani L, Cullen HM. The North Atlantic Oscillation: Past, present, and future. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2001;98:12876-7.

Encadré - Veille sanitaire : anticipation et détection des maladies infectieuses émergentes dans le contexte du changement climatique

Box - Public health surveillance: anticipation and detection of emerging infectious diseases in the context of climate change

Dounia Bitar (d.bitar@invs.sante.fr), Didier Che, Henriette De Valk

Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, France

De nombreux chercheurs et experts attirent régulièrement l'attention des autorités sanitaires sur une possible émergence ou ré-émergence de maladies infectieuses en raison du changement climatique (CC). Certains d'entre eux relativisent toutefois le rôle du CC en mettant en avant la multiplicité des déterminants conduisant à l'émergence des maladies infectieuses [1;2]. Dans ce contexte, nous avons évalué en 2009 l'état de préparation de l'Institut de veille sanitaire (InVS) à d'éventuelles émergences infectieuses, en lien avec le CC [3].

À partir d'un recensement préalable [4], 21 agents ou groupes d'agents pathogènes ont été identifiés comme potentiellement impactés par le changement climatique. Une grille de critères a été appliquée, basée sur l'importance de la maladie humaine (incidence ou prévalence, sévérité, mortalité, potentiel épidémique, modes de transmission, existence de mesures de prévention et de contrôle), l'importance de la maladie ou du portage chez l'animal en cas de zoonose, et les déterminants liés au contexte environnemental (y compris le CC).

Une première question a concerné la capacité de nos systèmes de surveillance à identifier des changements épidémiologiques potentiellement liés au CC (augmentation d'incidence, modification de groupes à risque, etc.). L'organisation actuelle pour les maladies infectieuses inclut une surveillance spécifique (par agent pathogène) et non spécifique (surveillance syndromique), ainsi qu'un dispositif de signalement des phénomènes émergents survenant sur le territoire national ou susceptibles d'être importés [5]. Ces systèmes de surveillance existants apparaissent, à ce jour, suffisants pour identifier des augmentations de cas ou des modifications épidémiologiques

et, au besoin, émettre une alerte. Ils sont par ailleurs intégrés dans les plans de préparation et de réponse mis en place par les autorités sanitaires. Par exemple, en métropole, le plan anti-dissémination de la dengue et du chikungunya [6] est mis à jour chaque année en fonction des nouvelles données épidémiologiques et entomologiques, notamment la période d'activité du vecteur *Aedes* (actuellement de mai à novembre, cette période pourrait se modifier en raison du CC) et l'extension de sa zone d'habitat. Ce plan vise à détecter les cas dès la suspicion et à organiser, le plus rapidement possible, les mesures de contrôle autour de ces cas, afin de limiter la diffusion secondaire. Dans le cadre de cette surveillance, deux émergences ont été identifiées en septembre 2010, respectivement : 2 cas autochtones de dengue à Nice (Alpes-Maritimes) et 2 cas autochtones de chikungunya à Fréjus (Var). L'investigation a montré que des cas importés, tardivement signalés et ayant ainsi échappé aux mesures de contrôle, étaient à l'origine des cas autochtones. Cet exemple montre que le facteur climatique est un critère important de l'analyse de risque, tout en soulignant que le rôle spécifique du CC dans l'émergence des cas autochtones ne peut être dissocié des autres facteurs, comme les voyages internationaux (importation de cas virémiques) ou l'efficacité des dispositifs de surveillance (retard au signalement des premiers cas) et de contrôle (lutte antivectorielle).

La seconde question a concerné l'articulation entre la démarche d'anticipation (veille prospective), qui vise à détecter des risques, et la surveillance des effets, qui vise à détecter les cas. Par exemple, une surveillance renforcée des taux de légionelles dans les tours aéro-réfrigérantes pendant les périodes estivales pourrait réduire le risque de survenue des

infections chez l'Homme, à travers l'information, l'alerte et le contrôle environnemental en cas de dépassement des seuils. Mais l'efficacité de cette stratégie de réduction du risque (réduire l'exposition) par rapport aux cas évités reste à évaluer.

Enfin, pour le long terme, des projets de recherche, incluant des modélisations sophistiquées, permettront à l'InVS de mieux hiérarchiser les risques liés au CC et d'adapter les dispositifs de veille et de surveillance. Dans cette hiérarchisation, le CC devra être exploré au même titre que les autres facteurs (environnementaux, sociaux, démographiques, économiques, etc.) qui concourent à l'émergence des maladies infectieuses.

Références

- [1] Woolhouse ME, Gowtage-Sequeria S. Host range and emerging and reemerging pathogens. *Emerg Infect Dis.* 2005;11(12):1842-7.
- [2] Randolph SE. Dynamics of tick-borne disease systems: minor role of recent climate change. *Rev Sci Tech.* 2008;27(2):367-81.
- [3] Pascal M. Impacts sanitaires du changement climatique en France. Quels enjeux pour l'InVS ? Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2010; 55 p. Disponible à : [http://www.invs.sante.fr/pmb/invs/\(id\)/PMB_721](http://www.invs.sante.fr/pmb/invs/(id)/PMB_721)
- [4] Ministère de la Santé. Les effets qualitatifs du changement climatique sur la santé en France. Rapport de groupe interministériel, 2008. Disponible à : <http://www.sante.gouv.fr/changement-climatique.html>
- [5] Bitar D, Che D, Capek I, De Valk H, Saura C. Veille sanitaire et appréciation du risque infectieux émergent : méthode et critères d'analyse du risque. *Med Mal Infect.* 2011;41(2):53-62.
- [6] Direction Générale de la Santé. Plan national anti-dissémination du chikungunya et de la dengue. Paris: Ministère de la Santé. 2010; 53 p. Disponible à : www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/plan_antidissemination_dengue_chikungunya_2010-2.pdf

La publication d'un article dans le BEH n'empêche pas sa publication ailleurs. Les articles sont publiés sous la seule responsabilité de leur(s) auteur(s) et peuvent être reproduits sans copyright avec citation exacte de la source.

Retrouvez ce numéro ainsi que les archives du Bulletin épidémiologique hebdomadaire sur <http://www.invs.sante.fr/Publications-et-outils/BEH-Bulletin-epidemiologique-hebdomadaire>

Directrice de la publication : Dr Françoise Weber, directrice générale de l'InVS
Rédactrice en chef : Judith Benrekassa, InVS, redactionBEH@invs.sante.fr
Rédactrice en chef adjointe : Laetitia Gouffé-Benadiba
Secrétaire de rédaction : Farida Mihoub

Comité de rédaction : Dr Sabine Abitbol, médecin généraliste ; Dr Thierry Ancelle, Faculté de médecine Paris V ; Dr Pierre-Yves Bello, Direction générale de la santé ; Dr Juliette Bloch, CNSA ; Dr Sandrine Danet, Drees ; Dr Claire Fuhrman, InVS ; Dr Bertrand Gagnière, Cire Ouest ; Anabelle Gilg Soit Ilg, InVS ; Dorothée Grange, ORS Île-de-France ; Philippe Guilbert, Inpes ; Dr Rachel Haus-Cheymol, Service de santé des Armées ; Éric Jouglu, Inserm CépIDc ; Dr Nathalie Jourdan-Da Silva, InVS ; Dr Guy La Ruche, InVS ; Agnès Lefranc, InVS ; Dr Bruno Morel, ARS Rhône-Alpes ; Dr Valérie Schwoebel, Cire Midi-Pyrénées ; Hélène Therre, InVS.

Institut de veille sanitaire - Site Internet : <http://www.invs.sante.fr>

Préresse : Imprimerie Centrale, 15, rue du Commerce, L-1351 Luxembourg
N° INPI : 00 300 1836 - ISSN 0245-7466