

# Climat et Santé

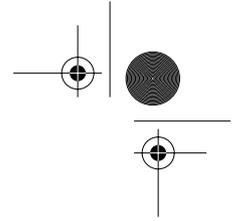
par ALAIN-JACQUES VALLERON

## *Introduction*

Dire qu'il y a une relation entre le climat et la santé est longtemps apparu comme une évidence. L'idée en était tellement ancrée dans le public que l'on envoyait les enfants des villes se refaire une santé dans le « bon air » pur de la montagne ou de la campagne et où les personnes âgées elles-mêmes, tout au moins les plus riches d'entre elles, migraient vers le sud dans le but déclaré d'améliorer leur état de santé et de vivre plus longtemps et mieux.

Les effets indiscutables du climat sur la santé sont évidemment les grandes catastrophes sanitaires découlant des extrêmes météorologiques (pluies diluviennes, inondations, ouragans). Les événements extrêmes climatiques (ouragans, inondations, sécheresse) semblent avoir tué entre 1972 et 1996 environ 120 000 personnes par an (principalement en Afrique et en Asie) (Loretti et Tegegn, 1996) et on a évalué que le nombre de personnes affectées par ce désastre climatique, soit physiquement, soit dans leur vie courante, est encore mille fois plus important (Patz et Kovats, 2002). Les exemples abondent : par exemple, en 1998, suite à des inondations, la Chine connaît 4 000 morts et 180 millions de sinistrés. En 1999, un cyclone a fait en Inde plus de 10 000 morts et des millions de sinistrés (un cyclone à Orissa).

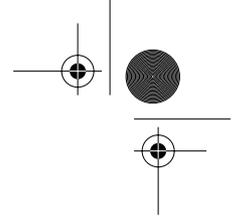
En dehors de ces catastrophes climatiques dont l'impact en termes de santé est apparent, et ne nécessite pas de recherche subtile de causalité, la recherche des faits concernant la relation climat/santé correspond à une des situations difficiles de l'épidémiologie. L'épidémiologie, en effet, cherche à découvrir les facteurs de risques, si possible



causaux, des maladies, en étudiant les variations de fréquence de ces maladies dans des groupes humains bien choisis. Le travail de l'épidémiologiste, lorsqu'il étudie la relation entre un facteur qu'il soupçonne d'être causal (ici, le « climat ») et une maladie, est de traquer toutes les variables « confondantes », c'est-à-dire les cofacteurs qui permettraient d'expliquer des corrélations observées entre le facteur étudié et la maladie. Ainsi, les corrélations entre des facteurs climatiques et la survenue de maladies abondent, mais l'interprétation de ces corrélations en termes de causalité est toujours difficile. Prenons un exemple caricatural : l'incidence du sida est beaucoup plus forte dans les régions subtropicales que dans les régions tempérées (28 millions des quelque 40 millions de cas se trouvent en Afrique subtropicale, selon l'OMS). Bien entendu, nul n'oserait prétendre que la « cause » de cette différence d'incidence indiscutable est le climat. Un grand nombre de différences, par exemple de développement, d'accès à l'hygiène, d'accès à l'éducation, à la santé, d'existence d'autres maladies, d'écart entre les âges au mariage des hommes et des femmes, etc., existent entre ces pays et ceux des zones tempérées. Quelle est donc la part qu'on pourrait attribuer au « climat subtropical » dans cette différence d'incidences ? Dans cet exemple, il est sans doute moins intéressant d'essayer de répondre à la question posée que d'essayer de se demander comment on pourrait y répondre, et même si elle a un sens. Quelles seraient les unités de mesure qu'il faudrait prendre ? Quelles variables devrait-on mesurer ? Comment réaliserait-on l'analyse ?

L'exemple ci-dessus n'est que la caricature de tous les cas où l'on essaye d'étudier la relation entre le « climat » et la santé. Tout d'abord, les travaux qui s'intéressent à cette relation simplifient en général la question : au lieu d'étudier la *relation entre le climat et la santé*, ils étudient par exemple la *relation entre la pression atmosphérique et l'incidence de l'infarctus du myocarde*. Cependant, les mêmes problèmes restent : la pression atmosphérique est liée à d'autres paramètres météorologiques. Certaines situations météorologiques favorisent certaines pollutions.

Une autre difficulté, sur laquelle nous insisterons, est la faiblesse des systèmes d'observation dans le domaine de la santé : il n'y a pas d'« observatoires » rigoureux des fréquences des maladies dans les populations dont les données puissent être corrélées facilement aux données provenant des observatoires météorologiques qui, eux, existent. Les épidémiologistes recueillent des données d'observation, en général dans des sous-populations bien choisies leur permettant de répondre optimalement à une question précise. Ils n'investissent pas – pour l'instant – dans l'obser-



vation systématique. Aussi, pour donner des éléments de réponse à la question posée, est-on obligé en général de ne faire fonds que sur les données de mortalité qui sont les seules données épidémiologiques à être recueillies mondialement de façon standardisée, et exhaustive.

La majorité de la littérature épidémiologique consacrée à l'étude de la relation climat/santé peut-être classée en quatre domaines : l'étude des variations saisonnières des mortalités qui sont largement interprétées comme conséquences des variations saisonnières climatiques ; l'étude des variations de la mortalité, exceptionnellement de la morbidité, avec un des paramètres du « climat », en général la température (moyenne, minimale, maximale, minimale nocturne sur 3 jours, etc.), et beaucoup plus rarement la pression atmosphérique ; beaucoup plus récemment, l'étude de l'impact de paramètres « globaux » climatiques sur la santé ; enfin l'évaluation des conséquences que pourrait avoir le réchauffement de la planète.

Nous décrivons les principaux résultats et questions dans ces quatre domaines.

### *Les variations saisonnières de la mortalité*

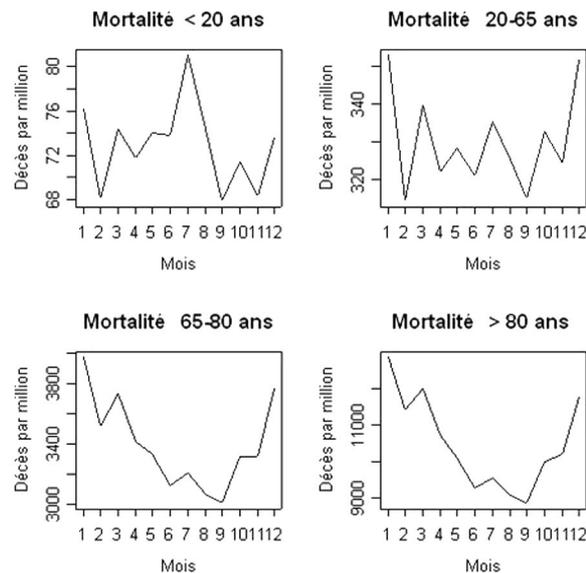
Les données de mortalité sont recueillies de façon exhaustive en France, comme à l'étranger. La classification internationale des maladies (actuellement dans sa dixième révision) est utilisée, ainsi qu'un ensemble sophistiqué de règles de codage des certificats de mortalité. La cause « immédiate » du décès, les causes expliquant cette cause immédiate, et parmi elle la « cause initiale » sont relevées – autant que possible – par le médecin constatant la mort. Les statistiques de mortalité publiées décrivent les variations de mortalité en fonction de cette « cause initiale ». On comprend bien que le recueil de telles données est complexe, et d'autant plus qu'on s'adresse à des personnes âgées, multipathologiques dont la mort survient en général à la suite d'un ensemble de causes (Valleron et Boumendil, à paraître).

On peut réinterpréter dans ce contexte l'émotion publique ressentie après les 15 000 morts supplémentaires observés en août 2003 en France suite à la vague de chaleur : il s'agissait d'un excès de mortalité « non naturelle », survenant à une période ou l'on ne prévoit pas qu'il y ait de fortes mortalités compte tenu de l'expérience antérieure.



### *Les variations saisonnières « habituelles »*

Les données de mortalité permettent de décrire des variations saisonnières remarquables de la mortalité dans les pays tempérés tels que la France. La figure 1 (figures 1 a et 1b) présente les variations saisonnières de la mortalité totale observées en France ; on y constate leur importance, particulièrement chez les personnes âgées, avec une surmortalité très importante durant l'hiver. La figure 2 détaille ces saisonnalités pour plusieurs pathologies. La variation saisonnière de la mortalité s'explique logiquement par celle des paramètres météorologiques qui varient au cours de l'année, même si – de façon inextricable – certaines activités varient également au cours de l'année et peuvent parfois expliquer certaines variations de la mortalité (l'été, par exemple, est à la fois un mois où il fait plus chaud, ou moins de personnes actives

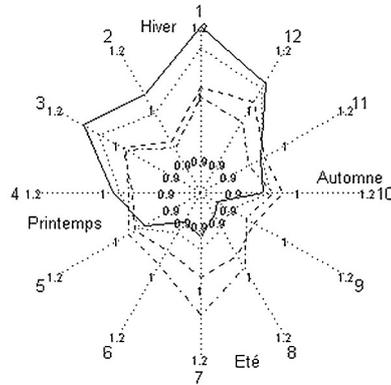
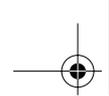


**Figure 1a :** Variations saisonnières de la mortalité totale dans 4 groupes d'âge (1 = Janvier, 2 = Février, etc.).

On notera l'amplitude des variations saisonnières dans les tranches d'âge élevées.

Source : données Inserm (mortalité) et Insee (population) sur la période 1968-1999.



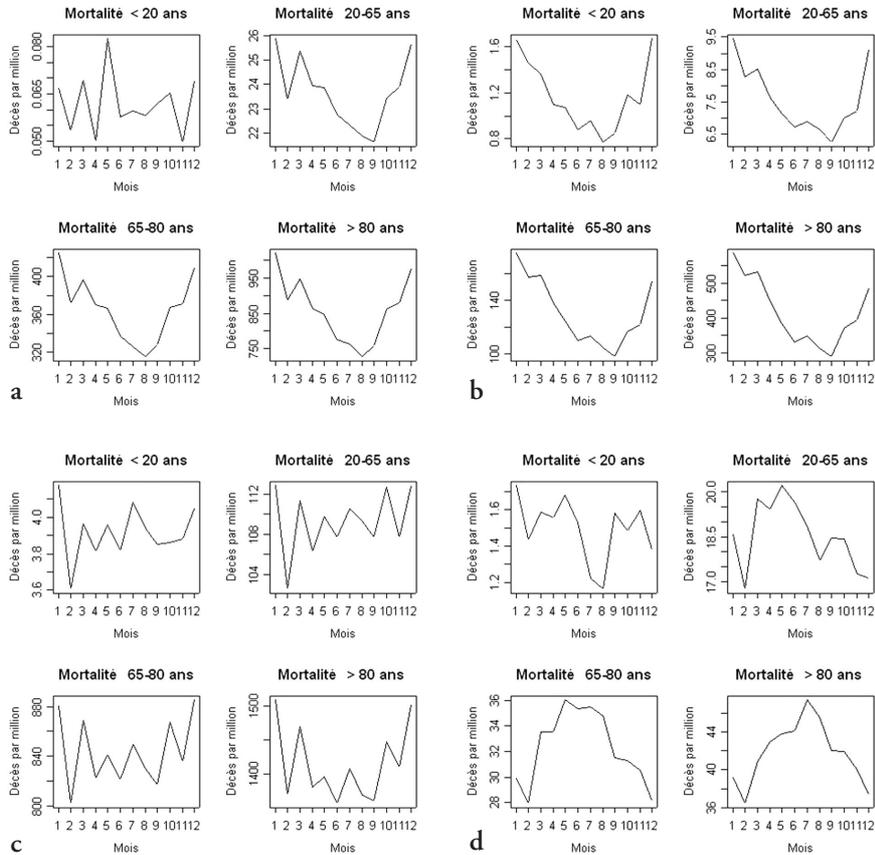


**Figure 1b :** Variations saisonnières de la mortalité dans 4 groupes d'âge. Chaque rayon représente un mois de l'année (1 = janvier, etc.). Les mortalités mensuelles sont exprimées par rapport à la mortalité moyenne annuelle de chaque groupe d'âge (notée 1 sur chaque rayon). On notera la surmortalité hivernale chez les sujets les plus âgés (— : > 80 ans, et..... de 65 à 80 ans), et la surmortalité estivale chez les plus jeunes (---- : < 20 ans)

Source : données Inserm (mortalité) et Insee (population) sur la période 1968-1999

sont au travail, ou la production industrielle baisse, ou la pollution par l'ozone augmente...). La surmortalité régulièrement observée l'hiver, est un fait épidémiologique massif (il ne s'agit pas de petite variation) et est bien acceptée. Elle touche certainement les personnes les plus fragiles et en premier, par exemple celles qui n'ont pas accès au confort, au chauffage, etc., mais il y a hélas fort peu d'études sur le sujet. On considère que la grippe, dont les épidémies dans les pays tempérés sont marquées et surviennent régulièrement, est un facteur explicatif important. Une étude récente la présente même comme LE facteur explicatif aussi bien des surmortalités toutes causes réunies que par cause (Reichert *et al.*, 2004). Notons cependant que le déterminant climatique de la survenue hivernale de ces épidémies n'est jamais ressorti clairement des études les ayant corrélées systématiquement à des paramètres tels les températures et leurs variations, l'hygrométrie, etc. La figure 3 montre, chez les personnes âgées de plus de 75 ans, la variation de la mortalité totale, mois par mois, depuis 1984, date où le réseau « sentinelles » de l'Inserm a commencé à étudier, en temps réel grâce à un système téléinformatique collectant et analysant l'information fournie par des médecins généralistes répartis sur tout le territoire. On constate d'une part la forte saisonnalité hivernale de la mortalité, d'autre part sa corrélation remarquable avec la survenue des épidémies





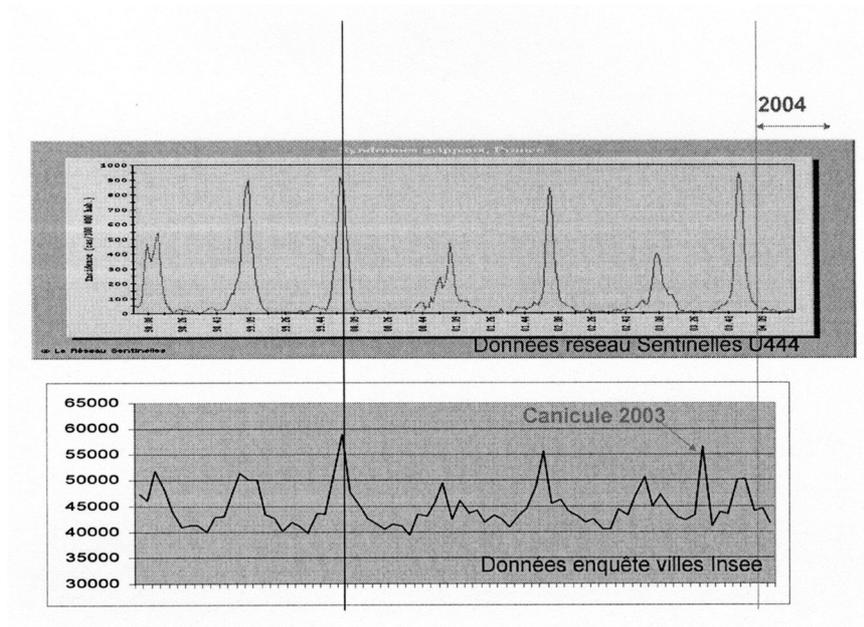
**Figure 2 :** variations saisonnières de la mortalité dans 4 grands groupes de pathologies : en haut, maladies cardio vasculaires (à gauche) et maladies respiratoires (à droite). On notera la surmortalité hivernale dans toutes les tranches d'âge pour les maladies respiratoires, et dans toutes les tranches d'âge – sauf les moins de 20 ans – pour les maladies cardiovasculaires.

en bas : cancer et tumeurs (à gauche), et suicides (à droite). Les tranches d'âge sont identiques à celles de la figure 1. On notera dans le cas du cancer une surmortalité hivernale touchant, encore, les sujets les plus âgés. Par contraste, on remarquera que la forte saisonnalité des morts par suicide a son pic durant les mois d'été.

Source : Données Inserm (mortalité) et Insee (population)

hivernales de grippe, et enfin le point exceptionnel d'août 2003 qui correspond à la canicule.

Ces données très simples mènent à plusieurs réflexions : Les variations saisonnières très importantes de mortalité sont, bizarrement, tout à fait acceptées comme un phénomène « naturel » que ce soit par le public profane ou par les épidémiologistes. Le public profane ne



**Figure 3 :** corrélation entre les variations saisonnières de mortalité (en haut), et le survenue d'épidémies de grippe (source : Sentinelles©, Inserm U444, [www.sentiweb.org](http://www.sentiweb.org)). On remarquera le pic de mortalité d'août 2003, seul à rompre le parallélisme entre les deux séries.

Données de mortalité : Inserm jusqu'en 1999, Insee ensuite.

s'émeut pas outre mesure qu'en moyenne les personnes âgées de plus de 95 ans aient une mortalité beaucoup plus élevée les mois d'hiver que les mois d'été ; quant aux épidémiologistes, ils considèrent tellement ces variations saisonnières comme « naturelles » que lorsqu'ils veulent estimer les mortalités en excès dues, par exemple, à une épidémie de grippe ou aux pneumonies durant l'hiver, ils ajustent un modèle sinusoïdal (le Serfling) sensé représenter les variations saisonnières « naturelles » de la mortalité : ce ne sont que les décès placés au-dessus du pic de variations saisonnières qui sont considérées « en excès » avec cette méthodologie qui est maintenant de routine, et s'applique par exemple à la surveillance de des décès par grippe et pneumonie par les CDC (<http://www.cdc.gov/flu/weekly/>). Pourtant, pour parler d'excès, il semble raisonnable de pouvoir – *a contrario* – dire que le surplus de morts saisonnières non en excès (en dessous de la courbe sinusoïdale) est constitué de morts non évitables, ce qui n'est absolument pas démontré, et assez invraisemblable.

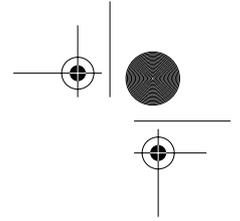


### *Les variations saisonnières exceptionnelles*

*L'été.* C'est pourquoi, sans aucun doute, la surmortalité de 15 000 morts observées en août 2003 attira-t-elle tant l'attention : elle ne survenait pas à une période attendue. Et, en effet, si on considère comme nous l'avons fait (Valleron et Boumendil, à paraître) l'ensemble des données de mortalité disponibles en France entre 1946 et 2003, on trouve que la surmortalité de 2003 était exceptionnelle en comparaison de toutes les années passées : en considérant les 55 mois de juin de la période d'étude, seulement 4 eurent une mortalité en excès de plus de 2000 morts. Ces nombres de mois de mortalité en excès furent respectivement 9, 4 et 4, pour juillet août et septembre. Le plus gros événement observé en été le fut en 1976 ou le nombre de morts en excès peut être estimé à 5 500 et en 1994 ou il peut être estimé à 4 700.

*L'hiver.* En revanche, pas plus que la surmortalité saisonnière observée régulièrement en hiver notamment chez les personnes âgées n'est un sujet d'étonnement, les surmortalités exceptionnelles d'hiver n'ont fait jusqu'ici l'objet d'une grande émotion publique. Pourtant, certaines ont été remarquables : nous avons effectué exactement les mêmes calculs que ceux utilisés pour quantifier la surmortalité d'août 2003 (Valleron et Boumendil, à paraître), mais en les appliquant aux mois d'hiver de la période 1946-2004 : Au cours de 9 mois de janvier, 9 mois de février, 7 mois de mars et 6 mois de décembre de cette période la surmortalité a dépassé 5 000 morts. Plusieurs fois, les surmortalités ont été considérables, sans qu'on en garde le souvenir d'une très grande émotion publique : 25 000 morts supplémentaires en décembre 1969 ; 33 000 morts en janvier-février 1953 ; 29 000 morts en janvier 1949. L'absence d'intérêt public pour ces fortes surmortalités hivernales, dues à la grippe ou non, continuera-t-elle ? On peut parier que non, tant le profil moyen des victimes de ces surmortalités est semblable à celui des victimes de la vague de chaleur : personnes très âgées, multipathologiques, certainement déjà fragiles. Là aussi, on posera la question : ces morts, à ce moment-là, étaient-elles évitables ?





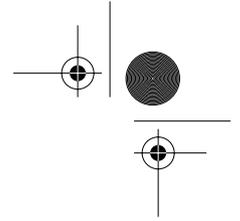
### *Les variations de la mortalité avec la température et la pression atmosphérique*

Un assez grand nombre d'études ont mis en relation les variations du taux de mortalité observé un jour donné avec celles de la température (une température) observée le même jour. En effet, l'interprétation naturelle des variations de la mortalité avec la saison pour beaucoup de causes de mortalité (maladies cardio-respiratoires notamment), est climatique. Pour d'autres, cependant, par exemple la mortalité par suicide, on ne pensera pas, a priori, que la « cause » en est la variation de paramètres météorologiques. Aussi, les études ne doivent pas laisser oublier que d'autres paramètres météorologiques varient en même temps que la température (par exemple : l'amplitude de températures, l'éclairement, l'hygrométrie, la pression atmosphérique ; ainsi que des paramètres non climatiques mais liés à des variables climatiques telles par exemple divers paramètres de pollution atmosphérique, mais aussi l'activité, la nature des loisirs, etc.). C'est pourquoi les interprétations en termes de causalité sont très difficiles.

Parmi les paramètres climatiques, c'est la température qui – de loin – a été la plus étudiée. L'unité de temps choisie est en général le jour. La température est celle du jour, ou des jours précédents pour étudier d'éventuels « effets de moisson » (Valleron et Boumendil, à paraître). Les méthodes statistiques pour analyser la relation température-mortalité sont souvent des régressions Poissonniennes (le nombre de morts un jour donné est considéré être un échantillon d'une loi de Poisson) ; on peut alors tenir compte de quelques cofacteurs (par exemple, certains taux de pollution qui covarient avec la température et la mortalité).

### *La relation température-mortalité*

*La température « optimale » de moindre mortalité.* La plupart des travaux ont trouvé une relation entre la température et les mortalités s'exprimant par une courbe en V : On identifie ainsi une température « optimale », telle que lorsqu'on s'éloigne de cette température, par en dessous ou par en dessus, la mortalité est plus élevée. Ainsi une étude effectuée (Kunst *et al.*, 1993) effectuée aux Pays-Bas montre une courbe en V très

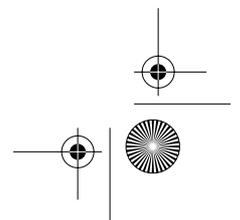


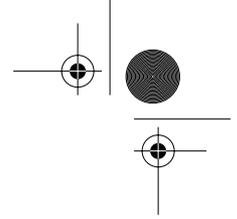
caractéristique avec une mortalité au plus bas lorsque la température moyenne journalière est de 16,5 °C. Une étude de la mortalité à Londres sur plus de 20 ans menée par Hajat et col. à Londres (Hajat *et al.*, 2002) indique que l'effet de la chaleur, qui commencerait dans cette ville vers 19 °C, serait plus important lorsque celle-ci survient tôt dans l'année (en juin) que lorsqu'elle survient plus tard. De même, une étude analogue effectuée chez des personnes âgées chinoises de Taïwan a, à son tour, trouvé une courbe en V reliant la température et – cette fois – la mortalité par maladies coronaires et par maladies cérébro-vasculaires (Pan *et al.*, 1995).

Une autre étude (Ballester *et al.*, 1997) effectuée à Valence (en Espagne) a étudié la même relation entre température et mortalité, mais en séparant les mois d'hiver et ceux d'été. Une courbe en V est à nouveau trouvée aussi bien dans les mois d'hiver (avec une température « optimale » de 14 °C) que dans les mois d'été (avec une température « optimale » de l'ordre de 24 °C).

*Les arguments pour une adaptation aux températures élevées.* L'étude détaillée de Braga (Braga *et al.*, 2001) effectuée dans 12 villes américaines aborde le problème de l'adaptation à la température. Il ne montre en effet clairement la relation température-mortalité « en V » que dans les villes les plus froides. Dans ces dernières, l'effet d'une température froide persisterait pendant plusieurs jours, tandis que l'effet d'une température élevée serait beaucoup plus immédiat, de l'ordre du jour. Une autre étude (Kalkstein et Greene, 1997) portant sur 44 régions urbaines des États-Unis a confirmé à son tour que c'était bien dans les régions du Nord qu'on trouvait les plus forts taux de mortalité reliés à la chaleur. En revanche, l'effet global de la température semble être beaucoup moins important dans les villes « chaudes », mais il augmente avec la variabilité de la température (Braga *et al.*, 2001).

Ainsi, on voit apparaître ici un phénomène d'adaptation à la température élevée, adaptation qui est prise en défaut en cas de variations importantes, dont l'extrême est la survenue d'une vague de chaleur. Le travail de Keatinge et col. (Keatinge *et al.*, 2000), en étudiant dans plusieurs villes européennes, de la Finlande à la Grèce, la relation température-mortalité a quantifié ce phénomène d'adaptation. Dans chacune des villes étudiées, une « température optimale » a été identifiée, et cette température dépend de la latitude : en Finlande elle est comprise entre 14 et 17 °C, tandis qu'à Athènes elle est comprise entre 23 et 26 °C. Ceci indique bien que les populations européennes ont su s'ajuster à leurs températures d'été locales « habituelles ».

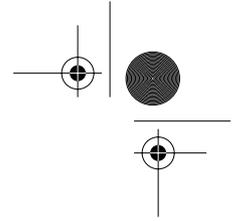




*L'impact des températures sur la santé.* La relation entre l'exposition aux températures froides et la mortalité a été examinée dans plusieurs études. Ainsi, Gorjanc et col. (Gorjanc *et al.*, 1999) ont étudié les variations de mortalité en Pennsylvanie au cours des mois de janvier de 1991 à 1996 et ont trouvé que la mortalité totale augmentait les jours de conditions météorologiques extrêmes. En particulier, la mortalité due aux maladies cardiaques ischémiques chez les hommes jeunes était multipliée par trois. Le travail d'Aylin et col. (Aylin *et al.*, 2001) a montré que le taux de mortalité augmentait de façon quasi linéaire au fur et à mesure que la température était plus basse (environ 1,5 % d'augmentation par degré en moins). L'interprétation de tels résultats est difficile, et nécessite la prise en compte de facteurs sociologiques d'environnement (tels la qualité de l'habitat, l'accès aux transports publics, etc.) difficiles à mesurer (Mitchell, 2001).

#### *Variations de la mortalité et de la morbidité avec d'autres paramètres météorologiques*

Des études concernant d'autres paramètres météorologiques existent, mais sont beaucoup plus rares. L'explication en est d'une part le manque d'intérêt des épidémiologistes pour des études qu'ils jugent essentiellement descriptives, ayant une très faible chance de démontrer des relations causales (à cause des innombrables cofacteurs covariant en même temps signalés plus haut, et d'autre part – tout simplement – l'absence d'observatoires épidémiologiques préexistants se prêtant à ces études et permettant une mise en relation facile des données avec les données météorologiques. Aussi toute étude nécessite un recueil de données spécifiques coûteux, notamment compte tenu de sa rentabilité espérée en termes de résultats scientifiques. Un contre-exemple en est l'étude de Danet et col. (Danet *et al.*, 1999) qui, grâce aux données du registre européen Monica relatif à la morbidité par maladies cardiovasculaires dont un des sites est à Lille, ont trouvé qu'il y avait également une relation en V entre la pression atmosphérique et les taux de mortalité coronaire, la pression atmosphérique optimale étant de 1 016 millibars. Une variation de 10 millibars en plus ou en moins par rapport à cette pression atmosphérique idéale est associée à une augmentation de 12 à 13 % des morts coronaires, de 8 % des taux d'incidences et de 30 % du taux de nouveaux événements.



### *Phénomènes climatiques globaux et santé*

Depuis plusieurs années, l'épidémiologie commence à s'intéresser à l'impact possible des phénomènes globaux sur l'émergence et la diffusion d'épidémies de certaines maladies. Le paramètre de climat « global » le plus étudié est la survenue d'événements « El Niño » qu'on a cherché à mettre en corrélation avec l'épidémiologie de diverses maladies infectieuses (Kovats *et al.*, 2003). L'eau se réchauffe régulièrement au large des côtes du Pérou et de l'Équateur aux alentours de Noël. Cependant, de façon irrégulière, tous les 4 à 5 ans, ce réchauffement est beaucoup plus fort et persiste pendant 12 ou 18 mois. Il peut alors être suivi par une phase froide qu'on appelle la Niña. Les météorologistes ont relié les événements El Niño non seulement à des catastrophes naturelles (inondations, fortes chutes d'eau en Amérique latine) mais aussi à des événements climatiques très distants dans d'autres parties du monde. Par exemple, ils sont associés à une sécheresse augmentée en Asie du Sud-Est et en Indonésie, à des inondations dans le sud des États-Unis, etc.

Puisque les phénomènes El Niño ont un impact sur les quantités de pluies et les inondations, on comprend bien qu'ils aient été mis en relation avec la survenue de maladies dont les vecteurs sont liés à de tels paramètres climatiques. Par exemple, des relations avec les épidémies de paludisme ont été démontrées en Amérique Latine et en Asie du Sud-Est (Kovats *et al.*, 2003). Il semble aussi que des maladies telles que la dengue, les pneumonies à hanta virus (Hjelle et Glass, 2000), puissent être influencées par ce phénomène climatique. Les nouvelles technologies permettent de tirer partie des premières relations qu'on est en train d'apercevoir entre des indicateurs climatiques et la survenance d'épidémies. La fièvre de la Vallée du Rift en donne un bon exemple. Cette maladie qui touche aussi bien l'homme que les troupeaux survient particulièrement après les épisodes de fortes chutes de pluie (qui favorisent la prolifération de moustiques vecteurs du virus). Ces épisodes sont, eux aussi, vraisemblablement reliés à des anomalies climatiques causées par El Niño. L'usage de satellites permettant de mesurer la végétation associée à l'augmentation de chutes de pluie permet d'observer de nombreux index et il a été possible de mettre au point des modèles prédictifs incluant ces paramètres satellitaires ainsi que des paramètres climatiques (le plus souvent, le *Southern Oscillation Index*, SOI, ou Index d'oscillation méridional, qui mesure la différence de pression entre Darwin en Australie et



Tahiti). Apparemment, de tels modèles semblent capables de prédire le risque d'épidémie de fièvre de Vallée du Rift 2 à 5 mois avant leur survenue (Linthicum *et al.*, 1999) grâce à l'ensemble de ces observations satellitaires et climatiques. Ceci pourrait éventuellement être utilisé pour mettre en place des mesures de prévention (telles la vaccination des animaux domestiques, ou le traitement des habitats de moustiques voisins des habitations humaines).

Il semble intéressant de détailler deux cas dans lesquels El Niño a été mis en cause : d'abord le cas du choléra, car sa relation éventuelle avec le phénomène El Niño a fait l'objet d'hypothèses biologiques, ce qui est la situation souhaitée en épidémiologie ; ensuite, celui des épidémies de grippe, car il s'agit là de résultats récents et exploratoires pour une maladie dont, finalement, on ne sait toujours pas vraiment expliquer la saisonnalité.

*Le choléra et El Niño.* On sait depuis les travaux des épidémiologistes du milieu du XIX<sup>e</sup> siècle (Snow, 1854) que le choléra est causé par un agent infectieux véhiculé par l'eau, qui fut – beaucoup plus tard – identifié, grâce aux travaux des microbiologistes (*vibrio cholera*, avec de multiples sous-types). Les grandes épidémies de choléra ont été décrites en détail, et en particulier les pandémies dont 7 ont été identifiées, la dernière en 1961 étant toujours présente alors qu'on pensait après la sixième (1923) que l'amélioration des distributions d'eau dans le monde interdirait la réapparition du choléra sous forme pandémique. Cette dernière pandémie a tué des milliers de personnes notamment dans le continent indien, puis en URSS et en Afrique à partir de 1970. C'est la survenue à partir de 1991 d'épidémies au large de l'Amérique du Sud, à des endroits très dispersés qui permit particulièrement d'évoquer la responsabilité possible des événements des phénomènes El Niño. Une hypothèse décrite en détail par R. Colwell (Colwell, 1996) est que *vibrio cholera* est massivement répandue dans le zooplancton où il peut maintenir ses propriétés pathogènes même après un très long séjour dans l'environnement. On peut alors supposer que des bouffées de production de phytoplancton sont produites de temps en temps, en conséquence d'un événement climatique dont le plus probable pourrait être précisément El Niño qui à la fois apporte de l'eau et des nutriments depuis la terre et réchauffe la surface de la mer. Des images satellitaires ont en effet identifié de telles bouffées zooplanctoniques, associées avec des épidémies de choléra. On comprendrait alors pourquoi un phénomène global climatique (tel El Niño) peut faire éclore des épidémies à des endroits très distants sans que celles-ci ne soient directement interconnectées entre elles.



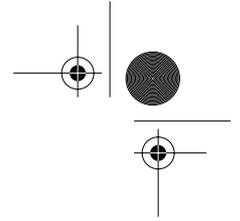


*La grippe et El Niño.* Dans notre propre laboratoire, dans le cadre d'une collaboration internationale, nous avons identifié également une relation troublante entre les phénomènes El Niño et la survenue des épidémies de grippe. Comme on l'a rappelé plus haut, la saisonnalité de la grippe qui apparaît régulièrement dans les mois d'hiver dans les zones tempérées n'est pas bien comprise, pas plus qu'on ne dispose d'un modèle explicatif global permettant de réellement comprendre la disparition puis la réémergence annuelle de ces épidémies avec modifications des souches virales prédominantes. On ne comprend pas non plus pourquoi ces épidémies de grippe (causées, donc, par le virus *influenza*) sont toujours indissociables sur le plan temporel et spatial d'épidémies de syndromes pseudo-grippaux causés par d'autres agents. Les études tentant d'expliquer ce phénomène par l'analyse de corrélations avec des paramètres météorologiques simples (température, humidité, etc.) n'ont pas donné jusqu'ici de conclusions définitives. Dans ce contexte d'épidémie globale, saisonnière, il a paru intéressant de rechercher s'il y avait des corrélations entre l'incidence des syndromes grippaux, la mortalité par grippe d'une part et la survenue d'événements El Niño. Si l'on utilise un modèle de base tentant d'expliquer les variations d'incidence par grippe observées dans les 19 saisons comprises entre 1984 et 2002 à partir de la seule connaissance des sous-types viraux dominants, on ne peut expliquer qu'environ 25 % de leur variance totale. Ce pourcentage monte à 61 % lorsqu'on inclut dans le modèle explicatif un indice global mesurant l'oscillation El Niño. Les épidémies sont de taille beaucoup plus importante au cours des années avec phénomène El Niño qu'au cours des autres années (Viboud *et al.*, sous presse). Le résultat que nous avons trouvé n'est pas isolé : une étude indépendante conduite en Californie avait déjà identifié une association entre les oscillations El Niño et les taux d'hospitalisations pour grippe et pneumonies virales (Ebi *et al.*, 2001). Il est probable que l'étude des relations entre les paramètres globaux de climat et l'épidémiologie des maladies infectieuses soit un thème de recherches destiné à se développer, maintenant qu'on dispose des outils nécessaires de mesure.

### *Quelles prévisions face au réchauffement ?*

À l'issue de cette revue des effets du climat sur la santé, on peut imaginer 4 types différents d'impact du réchauffement sur la santé :

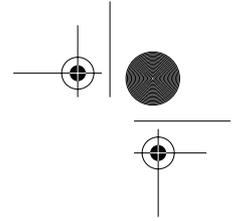
1. l'augmentation du niveau moyen de la température pourrait causer une augmentation de la mortalité, puisqu'on a montré qu'il y avait



une corrélation entre la température élevée, et le niveau de mortalité (Kalkstein et Greene, 1997). Cependant, on a vu que les comparaisons géographiques de populations indiquent une adaptation au niveau moyen de la température. Cette adaptation des populations à l'augmentation des températures est renforcée par les observations selon lesquelles les vagues de chaleur au début de l'été seraient plus dangereuses que les vagues de chaleur à la fin de l'été, même si les températures au cours de celle-ci sont en réalité plus élevées. Autre élément d'optimisme : après tout, la surmortalité régulièrement spectaculaire est celle qui s'observe l'hiver. Peut-être des hivers moins rigoureux la limiteraient elle !

2. les vagues de chaleur : on a vu que l'impact d'une vague de chaleur sur la mortalité pouvait être très important. Celle-ci atteint surtout les personnes très âgées, fragiles. Compte tenu des évolutions démographiques prévisibles, ces populations vont augmenter. On doit cependant remarquer qu'il existe des mesures de prévention individuelles et collectives qui ont fait, dans le passé, leurs preuves. Ces mesures doivent être « sur mesure », et dépendent de la géographie locale, de la sociologie, de l'architecture, etc. Les grands nombres de victimes observés dans le passé sont survenus, au contraire, dans des endroits qui n'avaient pas eu d'expérience préalable de tels événements, et il y a fort à parier que – comme ce fut le cas ailleurs – les nombres de victimes lors d'une vague de chaleur identique seraient grâce à l'expérience acquise bien moindres. Les mesures d'anticipation prises au cours de l'été 2004 le montrent. Ces considérations relativement optimistes sont à tempérer par le fait que, très vraisemblablement, les vagues de chaleur seront beaucoup plus nombreuses que par le passé. Le seul déplacement vers le haut de la distribution des températures permet de le prévoir, mais – de plus – on peut penser que la variabilité des températures augmentera en même temps que les moyennes, ce qui augmenterait encore la fréquence de ces événements (Schar *et al.*, 2004).

— la diffusion de maladies transmises par des vecteurs (moustiques, par exemple) qui s'installeraient dans de nouveaux territoires leur offrant désormais des conditions écologiques propices. C'est sans doute l'effet possible du réchauffement sur la santé qui attire le plus l'attention ; ainsi, selon certains, le paludisme qui tue actuellement environ 2 millions de personnes chaque année pourrait en tuer 1 million de plus si la température globale du monde augmentait suffisamment pour permettre aux moustiques de s'étendre dans certaines zones géographiques non encore infectées. Ceci concernerait aussi d'autres arboviroses (voir (Patz *et al.*, 1996) pour une description détaillée de ces scénarios). Cependant, ces prévisions catastrophiques sont discutées : d'abord, l'histoire nous

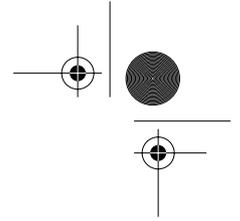


apprend que l'extension, et la régression, du paludisme n'ont pas été conditionnées que par des paramètres climatiques : ainsi, le sud de l'Europe (y compris de la France) était impaludé, et ne l'est plus. Ce n'est pas une conséquence d'un changement climatique, mais d'un ensemble de mesures d'hygiène public, d'amélioration de la distribution d'eau, de lutte antipaludique, etc. Ensuite, la prévision même des conséquences du changement climatique sur l'écologie des moustiques est très délicate à faire (Gubler *et al.*, 2001). Par exemple, l'augmentation de fréquence des précipitations peut avoir un effet négatif sur leur développement qui irait en sens inverse de l'effet positif de l'augmentation de la température. Il ne semble donc pas qu'il faille accepter comme évidentes les prévisions catastrophiques d'extension du paludisme, et autres arboviroses.

— l'augmentation des décès et des incapacités liés à des catastrophes climatiques : c'est sans doute là que le changement de climat peut avoir le plus d'effets sur la santé humaine : non pas, donc, par des mécanismes subtils augmentant de quelques pour cent l'incidence des maladies cardio-respiratoires chez les personnes très âgées, ou par l'extension géographique de certaines populations de moustiques, mais par l'augmentation de fréquence et d'intensité des événements climatiques extrêmes dont on a vu qu'ils font déjà un très grand nombre de victimes, et surtout dans les pays en développement à faible qualité d'infrastructures.

### Conclusion

Comme cela a été signalé dans l'introduction, l'étude épidémiologique des relations entre climat et santé est extraordinairement difficile à cause des nombreuses variables qui caractérisent le « climat » et des nombreux cofacteurs (pollution, niveau socio-économique et de développement, etc.) qui sont associés à ces variables. Le manque de bases de données systématiques, de qualité, permettant de documenter les variations de la mortalité et de la morbidité en fonction des variations spatiales et temporelles, conséquence du relatif désintérêt de la majorité des épidémiologistes pour l'activité de description de l'état de santé, est regrettable. On ne peut que mettre bout à bout des observations relativement dispersées, faites dans un nombre limité de villes qui disposaient d'un système d'information minimale (jamais en milieu rural...). Les données analysées concernent – sauf rare exception – les données de mortalité générale, plus rarement celles de mortalité par causes (dont la qualité est très difficile à



assurer, notamment chez les personnes âgées qui sont les premières victimes des écarts climatiques (Valleron et Boumendil, à paraître).

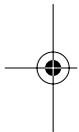
Une autre remarque intéressante, dans la comparaison des morts en excès d'hiver et des morts en excès lors d'une vague de chaleur, est que leur démographie est extrêmement comparable : les pourcentages de morts dans les différentes tranches d'âge au cours de la canicule 2003 ressemblent de près aux pourcentages de morts observés dans la même tranche d'âge au cours d'une épidémie de grippe hivernale. En réalité, les premières personnes victimes de ces surmortalités quelles soient d'été ou d'hiver sont des personnes fragiles, âgées, aux multiples pathologies.

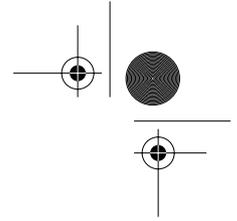
Il manque aussi d'études épidémiologiques « analytiques » centrées sur le problème de l'adaptation aux changements de climat, bien que cela apparaisse – en principe – faisable grâce à l'étude de migrants. Ces études de migrants ont été particulièrement fécondes dans le domaine, par exemple, de l'épidémiologie du cancer : c'est en comparant par exemple les incidences du cancer du sein chez des japonaises restées au Japon, ou immigrées aux États-Unis depuis plus ou moins longtemps qu'on a pu mieux quantifier l'impact des facteurs nutritionnels et environnementaux, génétiques sur l'incidence de cette maladie. On peut donc penser qu'elles pourraient permettre de mieux apprécier le rôle de l'acclimatation au climat. Cependant de tels travaux ne nécessitent pas seulement des financements (relativement modestes). Elles nécessitent l'existence de chercheurs et d'équipes qui, pour l'instant, manquent.

Dans cette situation, à partir de données éparées, incomplètes, et certainement insuffisantes, il semble qu'on puisse cependant dire que le réchauffement régulier devrait s'accompagner d'une adaptation des populations. L'augmentation de fréquence des vagues de chaleur est à craindre, mais l'expérience devrait permettre d'y faire face ; l'impact sur la diffusion des maladies parasitaires, telle la malaria, ne doit pas être considéré comme absolument prouvé. Finalement, les effets les plus redoutables à craindre du changement de climat sur la santé de l'homme sont ceux liés à l'augmentation de fréquence prévisible des événements extrêmes.

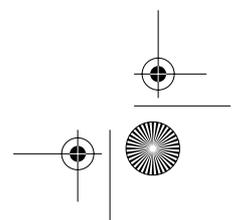
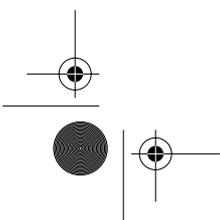
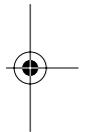
#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

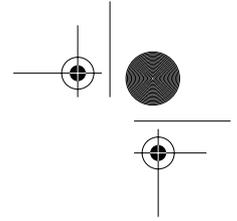
- AYLIN P., MORRIS S., WAKEFIELD J., GROSSINHO A., JARUP L. et ELLIOTT P., « Temperature, housing, deprivation and their relationship to excess winter mortality in Great Britain, 1986-1996 », *Int J Epidemiol*, 30 (5), 2001, p. 1100-1108.
- BALLESTER F., CORELLA D., PEREZ-HOYOS S., SAEZ M. et HERVAS A., « Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain, 1991-1993 », *Int J Epidemiol*, 26 (3), 1997, p. 551-561.





- BRAGA A.L., ZANOBBETTI A. et SCHWARTZ J., « The time course of weather-related deaths », *Epidemiology*, 12 (6), 2001, p. 662-667.
- COLWELL R.R., « Global climate and infectious disease : the cholera paradigm », *Science*, 274 (5295), 1996, p. 2025-2031.
- DANET S., RICHARD F., MONTAYE M., BEAUCHANT S., LEMAIRE B., GRAUX C., COTTEL D., MARECAUX N. et AMOUYEL P., « Unhealthy effects of atmospheric temperature and pressure on the occurrence of myocardial infarction and coronary deaths. A 10-year survey : the Lille-World Health Organization MONICA project (Monitoring trends and determinants in cardiovascular disease) », *Circulation*, 100 (1), 1999, p. E1-7.
- EBI K.L., EXUZIDES K.A., LAU E., KELSH M. et BARNSTON A., « Association of normal weather periods and El Nino events with hospitalization for viral pneumonia in females : California, 1983-1998 », *Am J Public Health*, 91 (8), 2001, p. 1200-1208.
- GORJANC M.L., FLANDERS W.D., VANDERSLICE J., HERSH J. et MALILAY J., « Effects of temperature and snowfall on mortality in Pennsylvania », *Am J Epidemiol*, 149 (12), 1999, p. 1152-1160.
- GUBLER D.J., REITER P., EBI K.L., YAP W., NASCI R. et PATZ J.A., « Climate variability and change in the United States : potential impacts on vector- and rodent-borne diseases », *Environ Health Perspect*, 109 Suppl 2, 2001, p. 223-233.
- HAJAT S., KOVATS R.S., ATKINSON R.W. et HAINES A., « Impact of hot temperatures on death in London : a time series approach », *J Epidemiol Community Health*, 56 (5), 2002, p. 367-372.
- HJELLE B. et GLASS G.E., « Outbreak of hantavirus infection in the Four Corners region of the United States in the wake of the 1997-1998 El Nino-southern oscillation », *J Infect Dis*, 181 (5), 2000, p. 1569-1573.
- KALKSTEIN L.S. et GREENE J.S., « An evaluation of climate/mortality relationships in large U.S. cities and the possible impacts of a climate change », *Environ Health Perspect*, 105 (1), 1997, p. 84-93.
- KEATINGE W.R., DONALDSON G.C., CORDIOLI E., MARTINELLI M., KUNST A.E., MACKENBACH J.P., NAYHA S. et VUORI I., « Heat related mortality in warm and cold regions of Europe : observational study », *Bmj*, 321 (7262), 2000, p. 670-673.
- KOVATS R.S., BOUMA M.J., HAJAT S., WORRALL E. et HAINES A., « El Nino and health », *Lancet*, 362 (9394), 2003, p. 1481-1489.
- KUNST A.E., LOOMAN C.W. et MACKENBACH J.P., « Outdoor air temperature and mortality in The Netherlands : a time-series analysis », *Am J Epidemiol*, 137 (3), 1993, p. 331-341.
- LINTHICUM K.J., ANYAMBA A., TUCKER C.J., KELLEY P.W., MYERS M.F. et PETERS C.J., « Climate and satellite indicators to forecast Rift Valley fever epidemics in Kenya », *Science*, 285 (5426), 1999, p. 397-400.
- LORETTI A. et TEGEGN Y., « Disasters in Africa : old and new hazards and growing vulnerability », *World Health Stat Q*, 49 (3-4), 1996, p. 179-184.
- MITCHELL R., « Commentary : short days-shorter lives : studying winter mortality to get solutions », *Int. J. Epidemiol*, 30 (5), 2001, p. 1116-1118.





- PAN W.H., LI L.A. et TSAI M.J., « Temperature extremes and mortality from coronary heart disease and cerebral infarction in elderly Chinese », *Lancet*, 345 (8946, 1995, p. 353-355.
- PATZ J.A., EPSTEIN P.R., BURKE T.A. et BALBUS J.M., « Global climate change and emerging infectious diseases », *Jama*, 275 (3), 1996, p. 217-223.
- PATZ J.A. et KOVATS R.S., « Hotspots in climate change and human health », *Bmj*, 325 (7372), 2002, p. 1094-1098.
- REICHERT T.A., SIMONSEN L., SHARMA A., PARDO S.A., FEDSON D.S. et MILLER M.A., « Influenza and the winter increase in mortality in the United States, 1959-1999 », *Am. J. Epidemiol.*, 160 (5), 2004, p. 492-502.
- SCHAR C., VIDALE P.L., LUTHI D., FREI C., HABERLI C., LINIGER M.A. et APPENZELLER C., « The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves », *Nature*, 427 (6972), 2004, p. 332-336.
- VALLERON A.J. et BOUMENDIL A., *Epidémiologie et canicules : analyses de la vague de chaleur 2003 en France*, C R Biol, 2004, à paraître (décembre).
- VIBOUD C., PAKDAMAN K., BOELLE P.Y., WILSON M.L., MYERS M., VALLERON A.J. et FLAHAULT A., « Association of influenza epidemics with global climate variability », *Eur. J. Epidemiol.*, 2004, sous presse.

