



© XAVIER LÉOTY / AFP

Un pompier raccompagne une personne à son domicile en canoë après la tempête Xynthia en mars 2010 à Aytré, Charente-Maritime.

CHANGEMENT CLIMATIQUE

Menaces sur notre santé !



Asthme, allergies, coups de chaleur, infections, cancers de la peau, accidents... le changement climatique ne s'attaque pas seulement à la biodiversité mais aussi à notre santé. Longtemps ignorées, les preuves des effets néfastes du réchauffement de la planète sur notre organisme s'accumulent de manière alarmante. À l'occasion de la 21^e conférence des Nations unies sur les changements climatiques, la COP21, à Paris du 30 novembre au 11 décembre 2015, dont l'objectif est de limiter le réchauffement en deçà de 2° C à l'horizon 2100, *Science&Santé* revient en détail sur cet enjeu sanitaire majeur du XXI^e siècle qui pourrait sauver les négociations sur le climat.

Dossier réalisé par Simon Pierrefixe

Le réchauffement de la planète est bel et bien une réalité. La température globale moyenne de notre Terre en 2012 était, en effet, supérieure de 0,85° C à celle de 1880 selon les données recueillies par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Et ce réchauffement causé par les activités humaines se poursuit : Météo-France affirme que 2014 est ainsi l'année la plus chaude observée en France depuis 1900, et 2015 est bien partie pour lui rafler la mise. Les conséquences – fonte des glaces, élévation du niveau de la mer et changements climatiques – se répercutent sur toute la planète. Ces phénomènes ne menacent pas seulement la biodiversité mais aussi notre santé, avec des effets qui se font d'ores et déjà sentir et pourraient devenir catastrophiques si rien n'est fait pour limiter l'augmentation des températures. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) prévoit ainsi, dès 2030, près de 250 000 décès supplémentaires par an dus directement ou indirectement au réchauffement global, avec pour principales causes : la malnutrition, le paludisme, la diarrhée et le stress thermique (coup de chaleur, épuisement par la chaleur, syncope...). La commission sur le changement climatique et la santé de la revue scientifique *The Lancet*, regroupant experts européens et chinois, estime d'ailleurs que « *la lutte contre le changement climatique pourrait être l'enjeu sanitaire le plus important du XXI^e siècle* ».

La première certitude concernant le climat à venir est l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur. Or, celles-ci ont un impact direct sur notre santé : les températures élevées observées lors des canicules augmentent, en effet, grandement la morbidité (¶) et le risque de mortalité. Ainsi en France, durant la canicule de 2003, près de 14 000 décès supplémentaires ont été enregistrés du 3 au 15 août selon les

travaux de Grégoire Rey (☛), ingénieur de recherche Inserm et directeur du Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès au Kremlin-Bicêtre. « *On distingue les décès liés directement à la chaleur et au stress thermique : hyperthermie, déshydratation ou coup de chaleur. Et d'autres liés à un état de santé défaillant causé par des maladies chroniques de l'appareil respiratoire, du système nerveux ou cardiovasculaire, ou encore un cancer* », précise Grégoire Rey. Par ailleurs, bien que toutes les catégories de la population aient été affectées par la canicule, certaines personnes sont plus vulnérables. Ainsi, « *les plus de 75 ans ont représenté près de 80 % de la surmortalité observée* », confirme le chercheur. Le milieu social joue également un rôle : les personnes défavorisées ont été affectées par un excès de mortalité plus marqué. Enfin, il existe des inégalités au niveau du lieu d'habitation. Les effets de la chaleur sont, en effet,

aggravés dans les villes en raison du phénomène d'îlot de chaleur urbain. Celui-ci peut significativement augmenter la température locale de plusieurs degrés au cœur des zones urbanisées où se concentrent une activité humaine intense et un environnement absorbant la chaleur.

Ces vagues de chaleur plus fréquentes peuvent être aussi associées à une augmentation de l'exposition au rayonnement ultraviolet (UV). Or, il provoque un vieillissement prématuré de la peau et induit le risque de voir se développer carcinome ou mélanome, des cancers de la peau. Les UV peuvent aussi avoir un effet néfaste sur l'œil en provoquant des cataractes corticales, une baisse de la vue causée par l'opacification progressive du cristallin, la lentille naturelle de l'œil. L'incidence de ces maladies liées aux UV est en augmentation depuis plusieurs décennies. Par exemple, les cas de mélanome ont ainsi augmenté de 3 à 10 cas pour 100 000 personnes en France entre 1980 et 2011 selon des données de l'Inserm et de l'Institut de veille sanitaire (InVS). Pourtant, « *ces cancers sont plutôt attribuables aux comportements des populations – la mode du bronzage ou des loisirs en extérieur par exemple – qu'à l'augmentation du rayonnement UV* », tempère Sophie Godin-Beekmann (☛), spécialiste du rayonnement UV, directrice de recherche au CNRS et directrice de l'Observatoire de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines. L'impact du changement climatique sur l'incidence de ces maladies, bien que réel, est donc difficile à quantifier. Et les UV ont aussi des effets bénéfiques sur la santé : ils permettent la synthèse de vitamine D, essentielle à notre métabolisme, notamment pour fixer le calcium des os. Face au soleil, il s'agit donc de trouver le bon compromis : s'exposer mais pas trop pour éviter les érythèmes, les coups de soleil. Paradoxalement, dans le futur, ce sera probablement la synthèse de vitamine D qui fera défaut sous nos latitudes en hiver d'après les études RISC-UV (Impact du changement climatique sur le rayonnement UV) et

“ La lutte contre le changement climatique pourrait être l'enjeu sanitaire le plus important du XXI^e siècle ”

☛ Grégoire Rey : unité US10 Inserm CépiDc
☛ Sophie Godin-Beekmann : UMR 8190 CNRS – INSU, Observatoire de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Laboratoire Atmosphères, milieux, observations spatiales, IPSL

■ N. Watts et al. *The Lancet*, 22 juin 2015 (en ligne)
doi: 10.1016/S0140-6736(15)60854-6

■ G. Rey et al. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, juillet 2007 : 80 (7) : 615-26

■ M. P. Corrêa et al. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 1 juin 2013 : 12 (6) : 1053-64

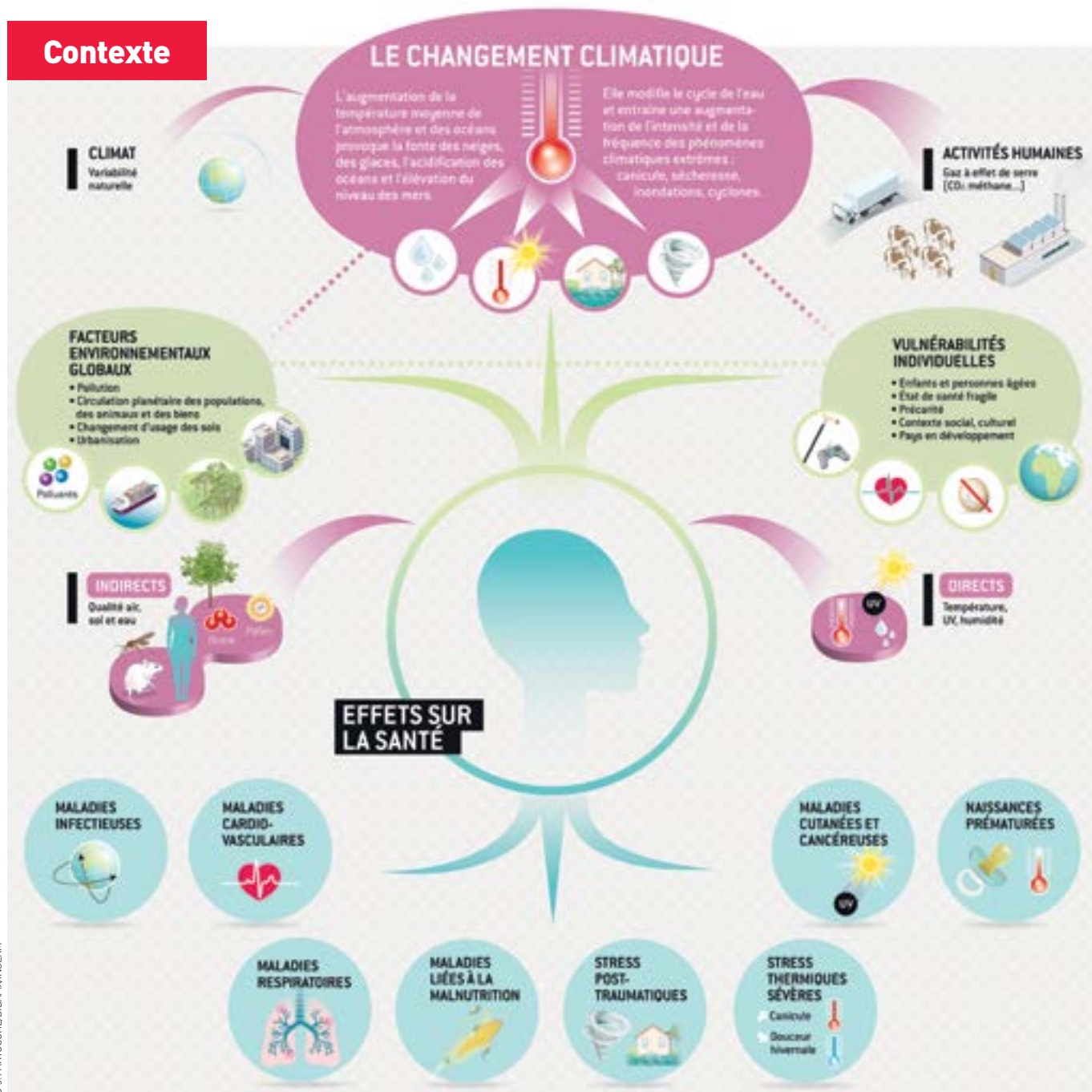


Morbidité

Nombre de personnes atteintes par une maladie dans une population à un moment donné

Pourquoi notre planète a un coup de chaud ?

Les activités humaines telles que les transports, l'industrie, la production d'énergie, l'agriculture ou encore le chauffage, libèrent de nombreux gaz. Certains, comme le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) ou le protoxyde d'azote (N₂O), piègent dans l'atmosphère une partie de la chaleur émise par la planète sous forme de rayons infrarouges. Ils sont appelés gaz à effet de serre (GES). Cet effet physique naturel permet à la Terre d'avoir une température moyenne globale de 15° C au lieu de -18° C, permettant ainsi à la vie de se développer. Cependant, l'augmentation continue de la concentration de ces gaz depuis la révolution industrielle au milieu du XIX^e siècle renforce cet effet de serre et la température globale de la planète augmente. Ce réchauffement de l'atmosphère et des océans a un impact sur le climat, notamment sur la pluviométrie et les mouvements des masses d'air et des courants marins d'où l'utilisation du terme de « changement climatique ».



© J. PARTOUCHE/DAPIN/SERM

EREBUS (Évaluation des risques et bénéfices de l'exposition aux UV) coordonnées par Sophie Godin-Beekmann. Le rayonnement UV reçu sur Terre est, en effet, principalement filtré et limité par les nuages, les aérosols (9) présents dans l'atmosphère et la couche d'ozone stratosphérique. Or, cette dernière se reconstitue depuis la mise en place du protocole de Montréal, le premier succès environnemental de coopération internationale qui, en 1987, fit graduellement interdire l'émission de gaz comme les chlorofluorocarbures (CFC) qui détruisent l'ozone stratosphérique créant ainsi le fameux trou en

Antarctique. « La couche d'ozone devrait être entièrement reconstituée au milieu du XXI^e siècle, précise Sophie Godin-Beekmann. Or, la modification de la circulation des masses d'air attendue par les scénarios d'évolution du climat pourrait intensifier le transport à haute altitude de l'ozone formé au niveau des tropiques vers des latitudes plus élevées. » D'où une couche d'ozone plus épaisse au-dessus de nos têtes, tout particulièrement en hiver, et, *in fine*, une diminution probable du rayonnement UV accompagnée de son lot de carences en vitamine D dans la population. Il est probable que le ►►

Les effets du changement climatique sur notre santé

Aérosol

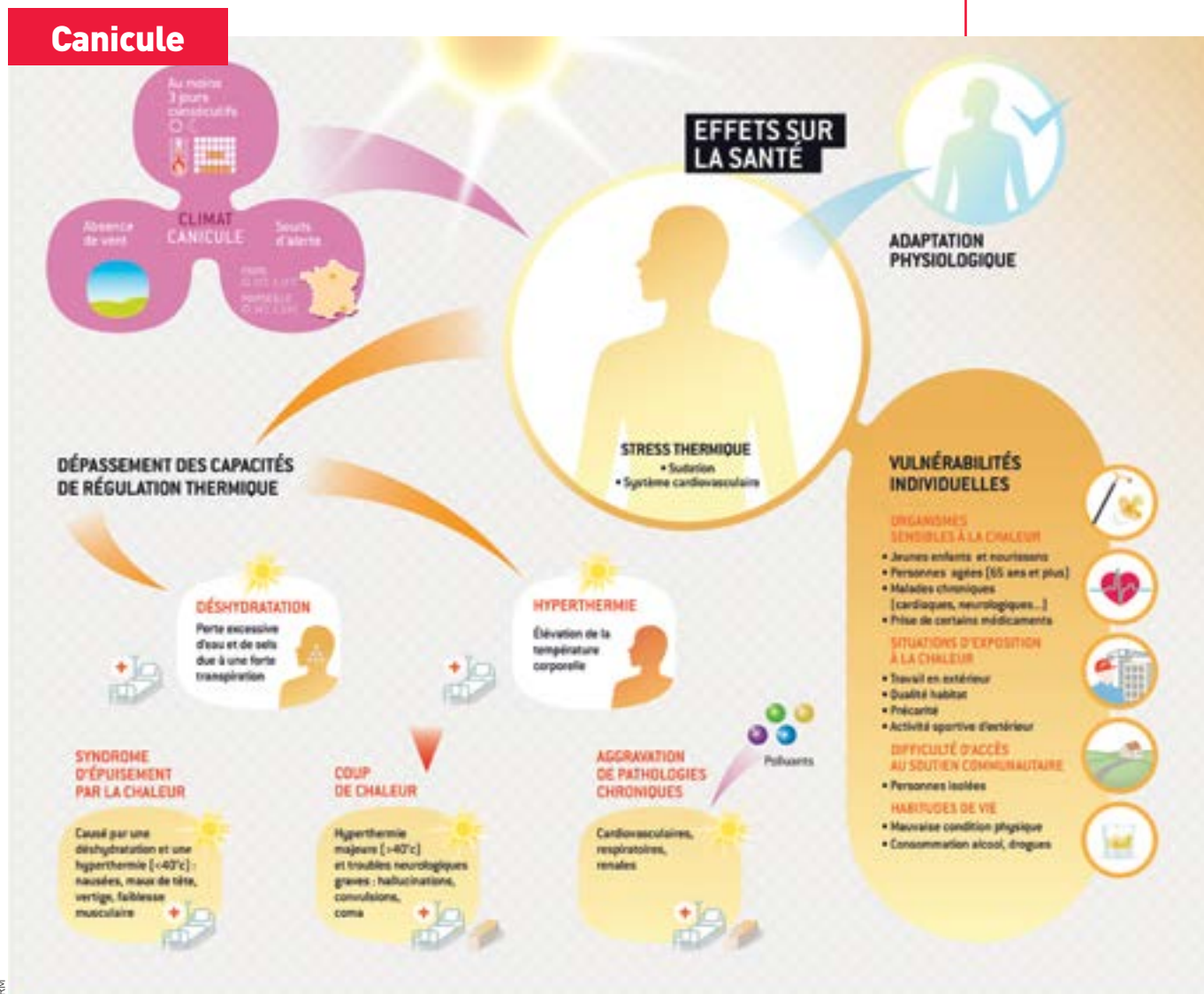
Dispersion en particules très fines d'un liquide ou d'un solide dans un gaz, ici l'atmosphère

Robert Vautard : UMR 8212 CNRS - INSU, Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, IPSL

►► changement climatique s'accompagne aussi de précipitations plus abondantes dans certaines régions. « Nous observons une accélération du cycle de l'eau », explique Robert Vautard (☞), directeur de recherche CNRS au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE) à Gif-sur-Yvette. « L'augmentation globale des températures favorise, en effet, son évaporation, ce qui devrait se traduire par une augmentation des précipitations dans les régions humides », avec un risque d'inondations et de crues, notamment sur les sols très urbanisés. Ces pluies intenses seraient, par exemple, susceptibles d'aggraver le phénomène de crues éclair observé régulièrement dans le sud-est de la France,

les « épisodes cévenols » (9). Elles favoriseraient aussi glissement de terrains et coulées de boues. Par ailleurs, les submersions côtières, ces inondations du littoral causées par la conjonction de tempêtes et de grandes marées, pourraient être plus fréquentes du fait des précipitations plus importantes et de l'élévation du niveau de la mer. La fonte des glaciers et des calottes glaciaires aux pôles et la dilatation thermique de l'eau se sont, en effet, traduites par une élévation de la mer de 19 centimètres entre 1901 et 2010, selon le GIEC, et pourrait atteindre 90 centimètres à la fin du siècle d'après le scénario le plus

Les effets d'une canicule sur notre santé



L'ADAPTATION PHYSIOLOGIQUE ET SES LIMITES

Pour se refroidir, notre corps utilise un mécanisme très efficace : la sudation, régulée par le cerveau. En transpirant par les pores de la peau, l'eau issue du plasma sanguin s'évapore et dissipe de l'énergie. Pour 100 ml de plasma évaporés, nous perdons ainsi 1°C de chaleur interne, et nous pouvons produire jusqu'à 2 litres de sueur par heure. Cette réponse physiologique permet à l'organisme de s'acclimater, dans certaines limites de température et de durée. En effet, nos gènes ont plutôt

été sélectionnés par l'évolution pour résister au froid des dernières glaciations. Une évolution vers une meilleure résistance à la chaleur peut se réaliser, mais sur une grande échelle de temps. Ainsi, les moyens de lutte actuels contre les fortes chaleurs reposent sur le mode de vie, l'utilisation de technologies [climatisation, isolation thermique] mais aussi sur les systèmes de soins et de surveillance.

© J. PARTOUCHE/ADAPIX/INSERM

Les différents scénarios du futur

Le 5^e rapport du GIEC contient quatre scénarios possibles d'évolution des émissions mondiales de gaz à effet de serre au cours du XXI^e siècle. Appelés RCP (pour *Representative Concentration Pathways* en anglais), ces « profils représentatifs d'évolution des concentrations » des GES sont des références pour évaluer les conditions climatiques probables des décennies à venir. Le premier, RCP2.6, correspond à l'application de mesures rigoureuses réduisant fortement les émissions de GES. Il permettrait de limiter l'élévation des températures sous la barre des 2° C en 2100 par rapport au milieu du XIX^e siècle. Le dernier, le plus pessimiste, RCP8.5, se produira probablement si rien n'est fait pour limiter l'émission de GES. L'augmentation prévue des températures pourrait alors atteindre jusqu'à 5,5° C à la fin du siècle avec des conséquences largement imprévisibles. RCP4.5 et RCP6.0 sont des scénarios intermédiaires.



<http://leclimatchange.fr>

pessimiste (RCP8.5) (voir encadré). « *Un signal statistique fort concernant les pluies intenses et les submersions côtières n'a pas encore émergé des études analysées par le GIEC, mais il est très probable qu'il émerge dans un futur proche* », nuance Robert Vautard. Les prévisions concernant d'autres événements météorologiques extrêmes, tels que des ouragans, cyclones et typhons, sont encore très incertaines. « *Leur fréquence ne devrait pas augmenter, tout du moins à court terme*, avance Robert Vautard. *Mais leur effet dévastateur sera probablement plus important du fait de l'élévation du niveau des mers.* » Les principaux risques de mortalité associés aux inondations et aux événements météorologiques extrêmes sont les accidents, par noyade ou par blessure, et les crises cardiaques causées par le stress ou l'effort. Les violents orages qui se sont abattus dans les Alpes-Maritimes le 3 octobre dernier ont déclenché des crues éclair : l'eau a ainsi atteint 1m70 en vingt minutes dans certains quartiers de Cannes. Au-delà des dégâts matériels importants, le bilan humain est lourd : ces inondations ont coûté la vie à 20 personnes.

Un fort impact psychologique

La tempête Xynthia, quant à elle, a fait 59 morts en 2010 lorsque les eaux ont submergé des zones côtières inondables de Charente-Maritime et de Vendée. Longtemps ignoré, l'impact psychologique causé par ce type d'événements extrêmes peut aussi laisser de graves séquelles. Les populations affectées peuvent subir stress post-traumatique, dépression ou voir s'aggraver des

troubles mentaux pré-existants. Après l'inondation, l'humidité résiduelle imprégnant les bâtiments favorise, quant à elle, le développement de moisissures, notamment en cas de températures élevées. « *Elles peuvent alors déclencher des allergies respiratoires et exacerber d'autres maladies de l'appareil respiratoire* », explique Isabella Annesi-Maesano (✉), directrice de recherche Inserm à l'Institut Pierre-Louis d'épidémiologie et de santé publique de Paris. Notamment l'asthme et la bronchopneumopathie ▶▶



Épisodes cévenols

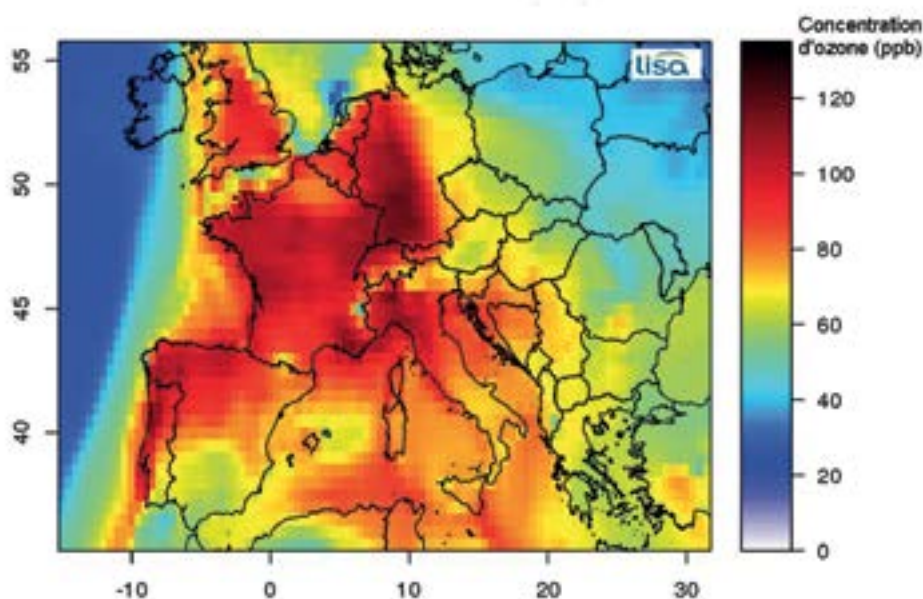
Pluies brèves mais très intenses typiques des Cévennes, déclenchées par le refroidissement de masses d'air chaud chargées d'humidité venant du sud au contact du Massif central – le terme est depuis utilisé pour décrire toutes pluies diluviennes sur les régions méridionales du pourtour méditerranéen.

✉ Isabella Annesi-Maesano : unité 1136 Inserm – Université Pierre-et-Marie-Curie, équipe EPAR



© BERTRAND GUAY / AFP

Vue aérienne des inondations à la Faute-sur-Mer, en Vendée, le 3 mars 2010, après la tempête Xynthia



Concentration d'ozone au sol le 9 août 2003 à 17h, lors de la canicule

►► chronique obstructive (BPCO), une inflammation chronique et une obstruction progressive des bronches causée par l'inhalation de particules toxiques. Enfin, les moisissures produisent des mycotoxines, ces toxines d'origine fongique, qui, si inhalées, peuvent être responsables d'affection des voies respiratoires. L'air que nous respirons est donc lui aussi affecté par le changement climatique, jusqu'à modifier la composition et les propriétés de l'atmosphère, aggravant la pollution déjà présente. « La hausse des températures et du rayonnement UV via l'ensoleillement accélère notamment les transformations photochimiques comme celles donnant naissance à l'ozone » (voir schéma), précise Jean-François Doussin (☛), chercheur du CNRS au Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques (LISA) et professeur de chimie atmosphérique à l'université Paris-Est Créteil.

☛ Jean-François Doussin : UMR 7583 CNRS - INSU, LISA, IPSL

Et si le réchauffement était bon pour la santé ?

La mortalité hivernale est beaucoup plus importante à l'heure actuelle que la mortalité estivale, même en comptant l'effet des canicules. Or, le changement climatique pourrait induire des hivers moins rigoureux. De là à conclure que l'augmentation globale des températures ferait baisser la mortalité hivernale dans nos régions, il n'y a qu'un pas. Que ne franchit pas Robert Vautard : « Il est difficile de modéliser l'impact du froid sur la mortalité ». Des travaux auxquels a participé le chercheur mettent d'ailleurs en doute le fait que le froid soit la cause prépondérante de la surmortalité observée en hiver. Par ailleurs, l'augmentation globale des températures pourrait être défavorable à certains agents infectieux. Cependant, ces gains seraient largement dépassés par les problèmes sanitaires causés par les infections favorisées par cet accroissement.

☛ P. L. Kinney et al. *Environmental Research Letters*, 19 juin 2015 ; 10 (6) : 064016

Les températures élevées accroissent aussi l'évaporation dans la basse atmosphère de solvants comme les carburants et d'autres composés organiques volatiles (COV), parfois d'origine végétale qui sont, d'une part, des composés précurseurs de la pollution à l'ozone (O₃) et qui, d'autre part, favorisent la formation de particules fines (ou PM pour *Particulate Matter* en anglais). Les canicules, caractérisées par un fort ensoleillement, une température élevée et des vents faibles, sont donc particulièrement propices à la formation de ces polluants et, donc, de pics de pollution. Ainsi, en 2003, il s'est formé un nuage d'O₃ qui recouvrait une grande partie de l'Europe occidentale. « Cette pollution était inédite en termes d'intensité et de répartition spatiale », analyse Jean-François Doussin. Or,

ce composé de l'oxygène qui nous protège des UV dans la stratosphère en formant la couche d'ozone est toxique aux basses altitudes. Son pouvoir oxydant et inflammatoire affecte directement la fonction respiratoire en provoquant irritations du nez et de la gorge, toux, essoufflements et gêne respiratoire. La pollution à l'ozone contribue ainsi à exacerber les symptômes des maladies respiratoires (asthme, allergies, BPCO...) et à faciliter le développement d'infections. Les troubles cardiovasculaires sont également aggravés, en raison d'une fonction respiratoire amoindrie et, donc, d'un apport en oxygène plus faible.

Des particules fines toxiques

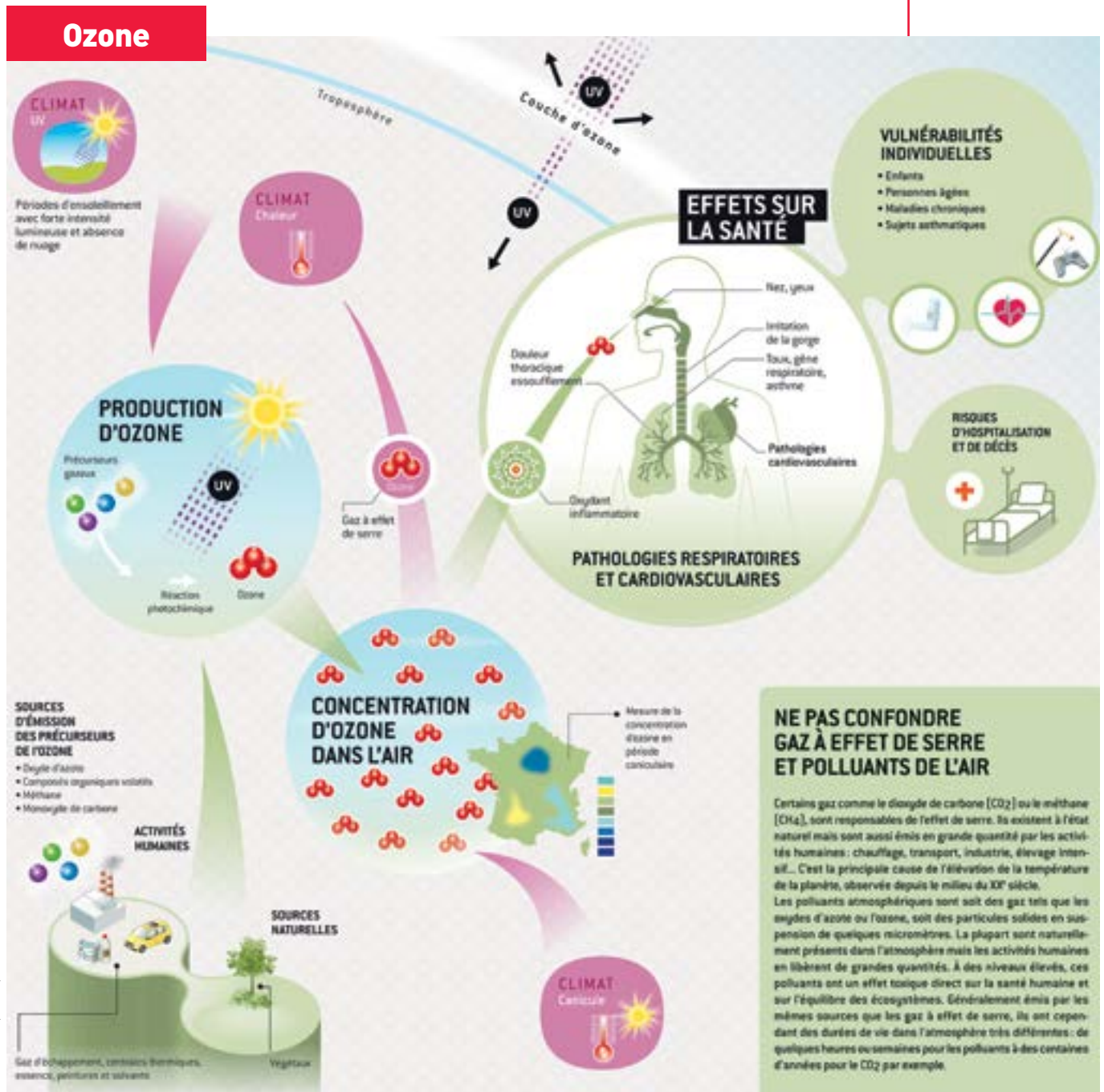
Quant aux PM, outre celles qui sont émises directement par les activités humaines comme les moteurs diesel, certaines résultent de l'oxydation des COV dans l'atmosphère. « De nombreuses fonctions chimiques se greffent alors sur ces composés qui deviennent de moins en moins volatils et finissent par se condenser en particules », explique Jean-François Doussin. Par ailleurs, « l'augmentation des températures favorise les sécheresses et les feux de forêt qui engendrent nombre d'aérosols dans l'atmosphère », rappelle Isabella Annesi-Maesano. Or, les plus petits de ces aérosols organiques, ceux dont le diamètre est inférieur à 2,5 micromètres, les PM_{2,5} pénètrent profondément dans nos bronches, avec un risque d'aggravation voire de déclenchement de maladies chroniques graves affectant, là encore, l'appareil respiratoire et le système cardiovasculaire. Le projet européen Aphekom sur la qualité de l'air dans 25 villes européennes, soit 39 millions d'habitants, estime que le dépassement de la valeur-guide de l'OMS pour les particules fines (PM_{2,5} à 10 µg/m³ en moyenne annuelle) se traduit chaque année par 19 000 décès prématurés, dont 15 000 pour causes cardiovasculaires. La pollution atmosphérique dans

son ensemble a d'ailleurs été déclarée cancérogène en octobre 2013 par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) qui pointe tout particulièrement les PM dans le développement de cancers pulmonaires. Au-delà de l'aspect sanitaire, ce type de pollution coûte cher au régime de la Sécurité sociale : entre 1 et 2 milliards d'euros par an, selon une étude coordonnée par Isabella Annesi-Maesano. L'augmentation de la température, de l'humidité et de la concentration en CO₂ de l'atmosphère favorise aussi la

croissance des plantes et, par conséquent, la production de pollen. La période de pollinisation est ainsi prolongée et les petits grains produits sont plus allergisants. « Les polluants atmosphériques comme les particules fines interagissent avec les pollens et rendent leur membrane externe plus perméable, ce qui a pour conséquence de libérer plus d'allergènes », explique Isabella Annesi-Maesano. De plus, le changement climatique modifie l'aire de répartition de certaines plantes invasives allergisantes comme l'ambrosie. Jusque-là cantonnée dans la ▶▶

© C. Rafenberg et al. *Environnement, Risques & Santé*, mars-avril 2015 : 14 (2) : 135-50

Cycle de l'ozone et impact sur la santé





© PATRICK KOVARIK / AFP

Les toits de Paris et la tour Eiffel dans un brouillard de pollution en mars 2014

▣ L. Hamaoui-Lagel et al. *Nature Climate Change*, 25 mai 2015 : 5 : 766-71

▣ C. Caminade et al. *Journal of the Royal Society Interface*, octobre 2012 : 9 (75) : 2708-17

◀ Cyril Caminade : *School of Environmental Sciences, Institute of Infection and Global Health, University of Liverpool*

▶▶ région Rhône-Alpes, « la hausse des températures permettrait son implantation jusqu'au Nord de l'Europe », affirme Robert Vautard. Le projet Atopica, financé par la Commission européenne, s'est notamment intéressé à l'impact des modifications du climat

sur la concentration en pollen de la plante en Europe. « Elle pourrait être quatre fois plus importante en 2050 qu'actuellement », alarme le chercheur. Ces évolutions préoccupantes menacent en premier lieu la qualité de vie des personnes affectées par les pollinoses, ces allergies respiratoires causées par les pollens, comme les rhinites et l'asthme allergiques.

L'évolution de l'aire de répartition géographique ne concerne pas seulement les plantes mais aussi les insectes, tels les moustiques tigres (*Aedes albopictus*).

Or, ces derniers sont des vecteurs de maladies infectieuses émergentes ou réémergentes, longtemps limitées aux tropiques,

“ Le « tigre » pourrait trouver des conditions plus hospitalières sur la plupart du territoire français d'ici 2050 ,”

comme la dengue et le chikungunya. Des épidémies importantes ont lieu régulièrement dans les territoires d'outre-mer français. Mais depuis 2004, le moustique tigre s'est aussi implanté dans plusieurs départements du sud de la France métropolitaine.

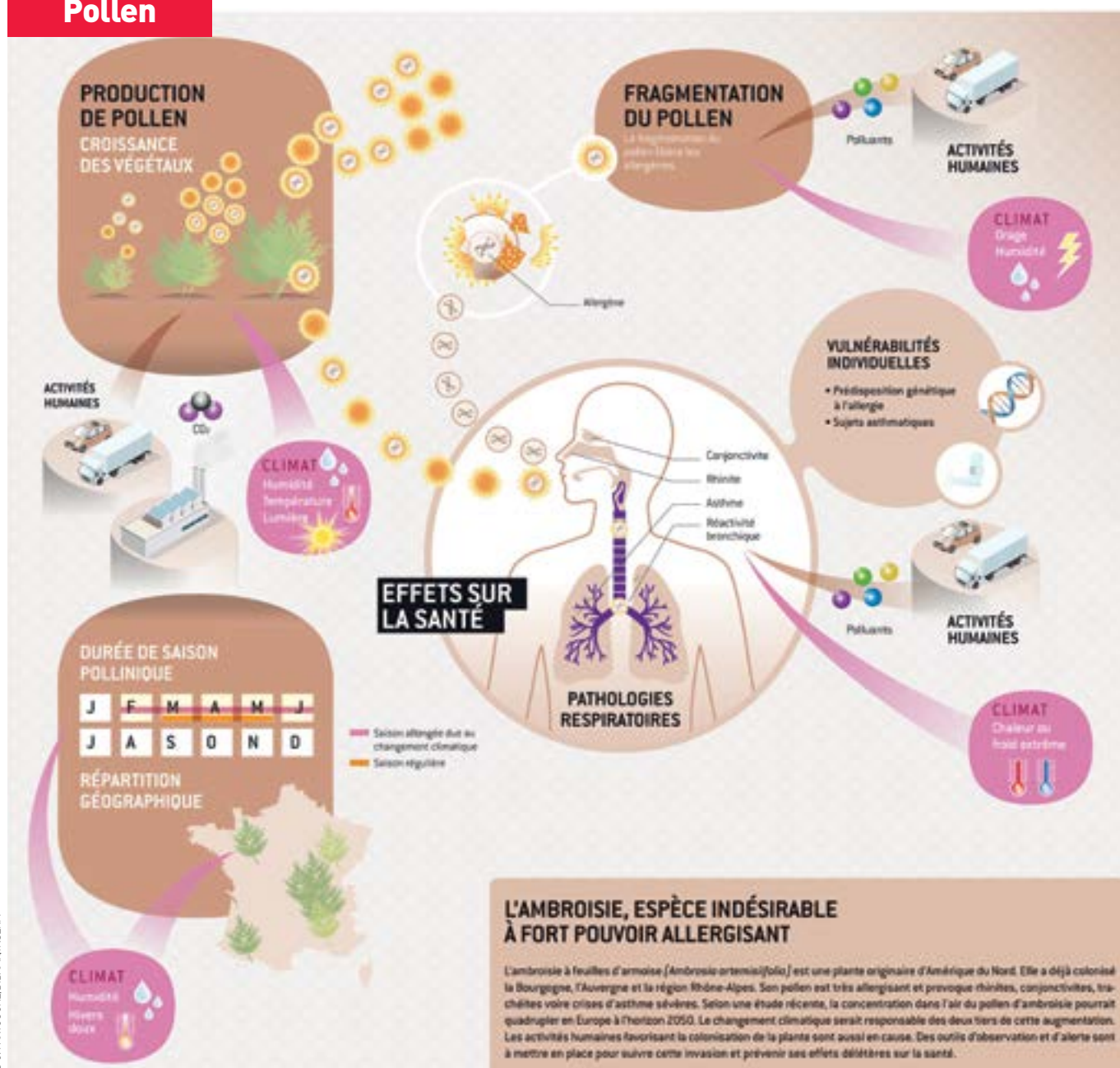
Des cas autochtones, c'est-à-dire de personnes n'ayant pas voyagé récemment à l'étranger mais ayant tout de même contracté une de ces maladies, ont d'ailleurs récemment été signalés : six cas de dengue à Nîmes, dans le Gard en août 2015, et onze cas de chikungunya à Montpellier, dans l'Hérault en octobre 2014, selon des données de l'InVS. Ici, des moustiques tigres locaux auraient tout d'abord piqué une personne infectée revenant des tropiques avant de s'attaquer à des habitants du cru. Le risque d'épidémie, bien que faible, est donc théoriquement possible dans les départements infestés par cette espèce de moustique. Avec le réchauffement climatique, le « tigre » pourrait trouver des conditions plus hospitalières sur la plupart du territoire français d'ici 2050 selon des travaux de Cyril Caminade (◀), chercheur à l'université de Liverpool. « Seules les régions montagneuses et le nord-est de la France où les températures restent trop froides la nuit seraient épargnées », précise le chercheur. Le changement climatique favorise donc en partie son expansion mais n'est toutefois pas responsable de son implantation, qui est intimement liée aux activités humaines. « L'arrivée du "tigre" en



L'ambrosie, plante allergisante, pourrait s'implanter de le Nord de l'Europe

© STADELPETER/FOTOLIA

Pollen



© J. PARTOUCHE/DIDAPIN/INSERM

Europe est due à la mondialisation des échanges, notamment au commerce international de pneus usagés, des réceptacles à eau stagnante idéaux pour le développement larvaire », confirme Cyril Caminade.

Le paludisme en Europe ?

Mais d'autres vecteurs de maladies infectieuses pourraient voir leurs populations augmenter dans nos contrées. Les tiques, par exemple, responsables de la maladie de Lyme, une infection bactérienne, ou de l'encéphalite à tique causée par un virus. Ou encore les phlébotomes, de petits moucheron véhiculant le parasite de la leishmaniose viscérale. Des données

inquiétantes suggèrent que le paludisme pourrait aussi refaire son apparition en Europe après plusieurs décennies d'absence. La Grèce a ainsi souffert d'une réémergence de cette maladie parasitaire entre 2010 et 2013 : 66 cas autochtones ont été signalé par l'OMS. Pourtant une étude récente de Cyril Caminade, fondée sur des scénarios d'évolution des précipitations et de la température au XXI^e siècle, indique que l'expansion de la malaria se concentrerait principalement sur les hauts plateaux africains et certaines régions d'Amérique du Sud et d'Asie du Sud-Est. Un recul du paludisme pourrait même être observé dans certaines régions devenues trop arides, comme en ►►

Une production accrue de pollen peut entraîner des problèmes respiratoires.

C. Caminade et al. *PNAS*, 4 mars 2014 ; 111 (9) : 3286-91

Moustique tigre (*Aedes albopictus*) femelle en train de piquer



© CDC / GATHANY

Jean-François Guégan : UMR 224 IRD/UMR 5290 CNRS - INEE

►► Afrique de l'Ouest. Toutefois, « l'incertitude concernant ces scénarios est très importante », admet le chercheur. « La modélisation des maladies infectieuses liées à un vecteur est très complexe, confirme Jean-François Guégan (☛), directeur de recherche à l'Institut de recherche pour le développement à Montpellier, car de nombreux paramètres interdépendants sont en jeu et peu de données sont disponibles. » Des températures favorables à l'implantation du vecteur sont une condition nécessaire mais pas suffisante pour que la maladie s'installe, il faut notamment tenir compte d'autres facteurs comme l'humidité de l'air et les précipitations. De plus, « la nouvelle aire de répartition du vecteur n'est pas forcément favorable au cycle du parasite », précise le chercheur. L'impact des facteurs humains est, quant à lui, prépondérant. La densité de population et la modification de l'usage des sols sont des facteurs clés

dans l'implantation et la dissémination de ces maladies vectorielles.

Réchauffement en eaux troubles

En revanche, l'effet du changement climatique est indéniable lorsqu'il s'agit de maladies infectieuses à transmission directe. « Dans ce cas, comme le précise Jean-François Guégan, le degré de présomption est plus important, notamment pour celles liés à l'eau. » En effet, le réchauffement des eaux de surface a un impact direct

Répartition du moustique tigre en Europe, en octobre 2015



© ECDC_EFSA2015/VECTORNET

sur les populations bactériennes. Il favoriserait, par exemple, certaines bactéries de type *Vibrio* responsables d'intoxications alimentaires lors de consommation de coquillages crus ou pas assez cuits, voire de septicémies en cas de contact après blessure pour certaines d'entre elles, comme *Vibrio vulnificus*. Une étude internationale dirigée par Craig Baker-Austin, microbiologiste au Centre pour l'environnement, la pêche et la science de l'aquaculture (Cefas) de Weymouth, en Angleterre, a en effet confirmé l'influence du réchauffement des eaux de surface sur l'émergence de ce type de bactéries, autour de la mer Baltique. Même constat pour le projet CLIMVIB, coordonnée par Sylvie Joussaume (☛), directrice de recherche CNRS au LSCE, et Patrick Monfort (☛), chercheur CNRS au laboratoire HydroSciences de Montpellier, qui s'est notamment intéressé à trois souches de *Vibrio* pathogènes dans les eaux des lagunes du Golfe d'Aigues-Mortes, dans l'Hérault : le réchauffement des eaux de surface favorise leur développement, tout particulièrement lors de fortes pluies qui abaissent la salinité de ces lagunes et donc son pouvoir antiseptique. Après ce bilan somme toute alarmant, comment prévenir pour mieux faire face ? D'abord, surveiller de près notre environnement pour, le cas échéant, mettre en place des systèmes d'alerte et des plans de prévention ou d'action publique. Les associations de surveillance de

“ Le système d'alerte et le plan Canicule sont efficaces „

la qualité de l'air, comme Airparif à Paris, renseignent ainsi sur les niveaux de polluants atmosphériques. Lors des pics de pollution à l'ozone et aux PM, les pouvoirs publics peuvent alors prendre des mesures, telles que la circulation alternée ou la réduction de la vitesse maximale autorisée des véhicules. De même, le Réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA) émet des bulletins d'alerte relatifs aux concentrations de pollens et de moisissures, qui permettent aux personnes allergiques de se prémunir. Les indices UV et les risques météorologiques (canicule, inondation...) sont, quant à eux, évalués par Météo-France. Des cartes de vigilance sont établies et si le risque météorologique est élevé, l'information est relayée aux pouvoirs publics. En cas de vague de chaleur extrême, par exemple, le plan national Canicule (PNC), créé en 2004 suite à la crise causée par la canicule de 2003, est mis en place pour en limiter les effets sanitaires, notamment grâce à de grandes campagnes d'information et à des mesures de protection des personnes les plus à risque, comme les seniors et les personnes hospitalisées. Avec d'ailleurs un certain succès lors de la canicule de 2006. Selon un modèle mathématique prédictif de la surmortalité causée par les canicules, développé par Anne Fouillet (☛), alors à l'Inserm, Denis Hémon (☛) et Grégoire Rey, 6 500 décès supplémentaires étaient attendus ▶▶

- ☛ Sylvie Joussaume : UMR 8212 CNRS - INSU, Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, IPSL
- ☛ Patrick Monfort : UMR 5569 CNRS/IRD - INSU, HSM
- ☛ Anne Fouillet : Institut de veille sanitaire (InVS)
- ☛ Denis Hémon : unité 1153 Inserm/Université Paris 7-Denis Diderot/Université Paris 13-Paris Nord/INRA - Université Paris-Descartes, EPICEA

☛ C. Baker-Austin et al. *Nature Climate Change*, 22 juillet 2012 ; 3 : 73-7

☛ K. Esteves et al. *Applied and Environmental Microbiology*, novembre 2015 ; 81 (21) : 7600-9

☛ A. Fouillet et al. *BMC Public Health*, 19 juin 2007 ; 7 : 114

☛ A. Fouillet et al. *International Journal of Epidemiology*, avril 2008 ; 37 (2) : 309-17

 www.airparif.asso.fr

 www.pollens.fr

Les bactéries des lagunes d'Aigues-Mortes, se développent sous l'influence du réchauffement.



Infections

EFFETS SUR LA SANTÉ

ÉVOLUTION GÉOGRAPHIQUE DES INFECTIONS

FACTEURS D'ÉMERGENCE ET D'EXPANSION

- Modifications des écosystèmes liées aux changements d'usage des sols, aux pratiques agricoles, aux déforestations massives
- Circulation globale des personnes, des animaux et des biens
- Densité démographique
- Développement économique et technologique

Évolution génétique des agents pathogènes

- Virulence
- Résistance aux antibiotiques et vaccins
- Adaptation à l'environnement

VULNÉRABILITÉS INDIVIDUELLES, COMMUNAUTAIRES ET GÉOGRAPHIQUES

- Habitat dans des régions de forte concentration en vecteurs et en animaux réservoirs
- Personnes immunodéficientes
- Loisirs de plein air
- Travail en extérieur
- Personnes âgées et jeunes enfants
- Accès aux soins
- Précarité
- Pays en développement

EAU - NOURRITURE - SOL

- Choléra
- Fièvre typhoïde
- Shigellose
- Salmonelle

AGENTS PATHOGÈNES

- Virus
- Bactéries
- Parasites

AIR

- Coqueluche méningococque

VECTEURS

Moustique - Tique - Phlébotome

- Moustique**
 - Dengue, Chikungunya
 - Paludisme
- Tique**
 - Virus du Nid occidental
- Phlébotome**
 - Maladie de Lyme
 - Entérophlébotose
- Leishmaniose

ANIMAUX RÉSERVOIRS

- Syndrome pulmonaire à hantavirus

PAYS EN DÉVELOPPEMENT : DES PERSPECTIVES SANITAIRES INQUIÉTANTES

Le changement climatique touche particulièrement les pays en développement. Les effets sur la santé des populations peuvent être directs comme lors d'événements extrêmes ou liés à la montée des eaux. Mais le climat influe aussi les déterminants sociaux, économiques et environnementaux de la santé : rendement des récoltes et des pêches, nutrition des populations, migrations exposant davantage les individus aux menaces

sanitaires. Dans les mégapoles des pays en développement, l'essor des transports et de l'industrialisation induit des pollutions fortes, exacerbant les maladies cardiovasculaires et respiratoires, elles-mêmes affectées par les dérèglements climatiques. La coopération Nord-Sud pour l'éducation et la prévention en santé représente une priorité, et ce afin de mieux préparer les populations à s'adapter au changement climatique.

Le changement climatique favorise l'émergence et l'expansion de divers agents pathogènes.

►► compte tenu des températures observées, mais seulement 2 100 ont été recensés. « Cela laisse entendre que le système d'alerte et le plan Canicule ont une certaine efficacité », assure Grégoire Rey. Les données récoltées par ces structures associatives et ces établissements publics permettent aussi de suivre et d'analyser dans le temps l'évolution de ces facteurs environnementaux et, donc, du changement climatique.

Certaines maladies infectieuses vectorielles sont elles aussi surveillées de près. Dengue, chikungunya et paludisme autochtone sont toutes des maladies à déclaration obligatoire auprès de l'InVS. Cette modalité

permet d'agir pour contenir le risque d'épidémies. Une structure spécialisée dans la veille et l'alerte sur les nouveaux risques vectoriels a aussi été spécialement créée en 2011 : le Centre national d'expertise des vecteurs (CNEV). Dans les territoires d'outre-mer où ces pathologies sont parfois devenues endémiques, des systèmes d'alerte sont à l'étude, tel le projet DETECT (*Dengue Transmission and Emergence Control Using Tele-Epidemiology*). Coordonné par Claude Flamand (✉), épidémiologiste à l'Institut Pasteur de Guyane, à Cayenne, ce projet, auquel participe le laboratoire d'Aérologie de Toulouse, Météo-France et le Centre

✉ Claude Flamand : Institut Pasteur de la Guyane, Laboratoire d'épidémiologie



Capteur de pollution d'Airparif pour le contrôle de la qualité de l'air à Paris

© GARD / PHANIE

national d'études spatiales (CNES), cherche à prévoir la dynamique des épidémies de dengue au niveau de la Guyane en identifiant des facteurs prédictifs environnementaux et météorologiques, notamment à l'aide de télé-épidémiologie. Cette technique consiste à mobiliser des satellites pour caractériser l'environnement. « Une fois abouti, le système DETECT nous permettra d'évaluer avec quelques mois d'avance le risque épidémique à une échelle spatiale fine, en vue d'orienter les actions de lutte anti-vectorielle avant même l'émergence de foyers épidémiques », assure Claude Flamand.

Climat/santé, un couple complexe

Cependant, surveiller et alerter n'est pas suffisant, il faut aussi prévoir les risques sanitaires futurs pour orienter les mesures de santé publique. Mais les problématiques liées aux interactions climat/santé sont complexes. « Les pathologies affectées par le changement climatique sont fréquentes dans la population et ne sont pas spécifiques à celui-ci », précise Robert Barouki (☞), toxicologue et chercheur Inserm à l'université Paris-Descartes. Difficile alors de connaître précisément la contribution du changement climatique dans l'apparition et le développement de ces maladies. De plus, « les facteurs environnementaux interagissent entre eux et une même source peut occasionner différentes pathologies », reprend Robert Barouki. Comprendre toutes ces interactions nécessite donc le développement d'une recherche interdisciplinaire et intégrative. Un exemple fondateur est celui du Groupement d'intérêt scientifique (GIS) Climat-Environnement-Société. « C'est une belle initiative scientifique de regroupement à visée intégrative », estime Robert Barouki. Constitué de seize laboratoires



© FOTOLIA

L'asthme, une des maladies qui seront surveillées avec la cohorte d'enfants de l'étude HEALS

 www.cnev.fr

 www.gisclimat.fr

de recherche d'Île-de-France spécialisés dans différents aspects du couple climat/santé (climatologie, hydrologie, écologie, santé et sciences humaines et sociales), ce GIS incite, soutient et coordonne des recherches interdisciplinaires sur le changement climatique, et ses impacts sur l'environnement et la société depuis 2007. Il est d'ailleurs impliqué dans plusieurs des études précédemment citées : RISC-UV et EREBUS sur le rayonnement UV, CLIMVIB sur les bactéries *Vibrio* ou encore Atopica sur les pollens.

Par ailleurs, une meilleure compréhension des impacts du changement climatique sur la santé passe aussi par la mise en place de grandes études longitudinales – ►►

☞ Robert Barouki : unité 1124 Inserm – Université Paris-Descartes



© AFP PHOTO / FRED DUFOUR

Les brumisateurs aident à se rafraîchir pendant une vague de chaleur.

►► des cohortes – pour suivre, dans le temps, l'incidence des maladies affectées par le climat dans la population. L'étude HEALS (*Health and Environment-wide Associations based on Large population Surveys*) coordonnée par Isabella Annesi-Maesano recrute ainsi, depuis octobre 2013, 15 000 enfants européens qui seront suivis de la vie fœtale à 3 ans. Cette cohorte cherche à caractériser l'influence de l'environnement dans le développement de certaines pathologies, notamment l'asthme et les allergies. La constitution de ce type d'étude épidémiologique est un prologue au concept prometteur d'exposome. L'idée ? Mesurer l'ensemble des expositions de l'organisme sur toute une vie, dès l'état fœtal. « *L'exposome permettrait d'avoir une vision globale des facteurs de risque sur une vie entière* », explique Robert Barouki. Pour mettre en pratique ce concept très théorique, plusieurs étapes sont nécessaires. Au niveau des populations, il faut donc, d'une part, de grandes études épidémiologiques qui renseignent sur l'incidence des maladies mais aussi sur les modes de vies (alimentation, activité physique...) ou encore sur le contexte socio-économique. Et, d'autre part, les risques associés à l'environnement, comme la pollution atmosphérique, doivent être cartographiés. À l'échelle individuelle, toutes sortes de capteurs pourraient être utilisés pour évaluer l'influence de notre environnement sur notre organisme : par exemple, des détecteurs d'activité physique, de tension artérielle ou encore de rayonnement UV. Au niveau de l'organisme, une analyse sanguine globale, représentative du métabolisme, de l'alimentation ou encore du microbiote (🦠) renseignerait sur l'exposome interne. « *Ce concept d'exposome est tout particulièrement adapté à la recherche sur les interactions climat/santé qui sont multifactorielles et interdépendantes* », souligne le toxicologue.

« Limiter l'émission de polluants atmosphériques a un effet à long terme sur le changement climatique mais représente aussi un bénéfice immédiat sur la santé »

Agir, c'est possible

Au-delà de la recherche, l'action est d'ores et déjà possible à notre échelle. Nous pouvons en effet agir sur plusieurs leviers afin de diminuer la production de gaz à effet de serre (GES) et, ainsi, atténuer le réchauffement de la planète tout en prenant soin de notre santé actuelle et future. C'est en tout cas une partie du message d'une lettre ouverte de plusieurs experts, dont Robert Barouki, Jean-François Guégan et Antoine Flahault (👤), au journal *The Lancet*. « *Limiter l'émission de polluants atmosphériques a un effet à long terme sur le changement climatique mais représente aussi un bénéfice immédiat sur la santé, notamment sur les maladies respiratoires et cardiovasculaires, en améliorant la qualité de l'air* », assure Antoine Flahault, co-directeur du Centre Virchow-Villermé Paris-Berlin et directeur de l'Institut de santé globale de l'université de Genève. Les polluants atmosphériques et les GES ont des sources communes comme les transports, la production d'énergie, l'industrie ou encore le chauffage. « *Une politique douce de mobilité interurbaine, où la marche à pied et le vélo serait à l'honneur, apporterait un triple bénéfice pour la santé, estime le chercheur. Plus d'activité physique, moins de pollution atmosphérique et moins de GES.* » Il faudra, bien sûr, combiner ce type d'action avec des mesures draconiennes (arrêt des centrales thermiques au profit d'énergies renouvelables, isolation des bâtiments, capture et stockage du CO₂ émis par l'industrie...) de réduction des émissions dans les autres secteurs émetteurs de GES pour limiter la pollution atmosphérique, tout en atténuant le changement climatique. Une récente étude européenne montre ainsi que des mesures limitant l'augmentation des températures en-deçà de 2 degrés (comme le préconise le GIEC) permettrait, d'ici 2050, de diminuer de 68 % le nombre d'années perdues dues à l'exposition au PM_{2,5} et de réduire de 85 % le nombre

🦠 Microbiote

Ensemble des micro-organismes comme les bactéries hébergés par notre organisme

👤 Antoine Flahault : Centre Virchow-Villermé Paris-Berlin, Institut de Santé globale de l'université de Genève

📄 A. Flahault et al. *The Lancet*, 13 juin 2015 ; 385 (9985) : e49-e50

de morts prématurées liés à l'ozone en Europe, par rapport au cas où aucune disposition pour le climat ne serait mise en place (équivalent au RCP8.5). En outre, les économies réalisées sur les systèmes de santé correspondraient à 85 % du coût global de ces mesures prises en faveur du climat. « Cette prise de conscience de l'impact grandissant du changement climatique sur la santé est une opportunité sans précédent pour faire avancer les négociations lors de la COP21 », affirme Antoine Flahault. Elle est d'ailleurs probablement responsable du retour à la table des négociations des plus gros émetteurs mondiaux de GES, comme les États-Unis et la Chine. Cette dernière a particulièrement souffert d'épisodes de pollution atmosphérique d'intensité extrême ces dernières années. Les taux de PM de plusieurs grandes villes chinoises dépassent régulièrement de dix à quarante fois les valeurs guide de l'OMS (25 µg/m³ pendant 24h). L'ancien ministre de la Santé chinois, Chen Zhu, estimait, a minima, dans *The Lancet* le nombre de morts prématurées causées par la pollution atmosphérique en Chine entre 350 et 500 000 par an.

Autre levier sur lequel nous pouvons agir : l'alimentation. « Le secteur de l'agroalimentaire représente 30 % des émissions de GES, dont 80 % est émis pour l'élevage du bétail », avance Antoine Flahault. Réduire notre

consommation de viande, tout particulièrement de bœuf, la plus consommée par les Français, tout en mangeant plus de fruits et légumes permettrait donc de diminuer l'émission de GES, tout en étant bénéfique pour la santé. « Tout particulièrement pour les maladies cardiovasculaires, l'obésité, le diabète mais aussi le cancer », précise Antoine Flahault. Le CIRC vient d'ailleurs de déclarer les viandes transformées, telles le bacon ou les saucisses, comme cancérogènes certains, et les viandes rouges (bœuf, agneau, porc, cheval) comme probablement cancérogènes. Une récente étude d'outre-Manche confirme que l'introduction de modes d'alimentation plus équilibrés au Royaume-Uni permettrait

aux britanniques de réduire jusqu'à 40 % leur émission de GES. Si cette démarche est effectuée tout en privilégiant l'agriculture raisonnée ou biologique, et des circuits de distribution locale, elle aura encore plus d'impact sur notre empreinte carbone (9) en limitant notamment l'usage de pesticides chimiques, produits à partir du pétrole, et de carburant pour le transport. « Il faut placer le citoyen face à ses responsabilités », estime Antoine Flahault. Reste aux décideurs politiques à assumer les leurs en se mettant enfin d'accord lors de la COP21 pour initier rapidement des mesures adéquates permettant d'atténuer le réchauffement de la planète et ses conséquences sur notre santé à tous. ■

« Il faut placer le citoyen face à ses responsabilités, »

Empreinte carbone


Mesure du volume d'émission de CO₂ émis par une activité, une entreprise ou encore des êtres vivants, ici l'homme



Retrouvez les dates et le livret de l'exposition Inserm *Climat & Santé* sur inserm.fr

 S. Schucht et al. *Environmental Science & Policy*, juin 2015 : 50 : 252-69

 Z. Chen et al. *The Lancet*, 14 décembre 2013 : 382 (9909) : 1959-60

 R. Green et al. *Climate Change*, mars 2015 : 129 (1) : 253-65



© CLAUDE THIRIET / BIOS

Tous les élevages bovins sont de gros producteurs de GES, le méthane en l'occurrence ; en France, celui des charolaises n'échappe pas à la règle.