
CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SANTÉ : AVANCÉES NOUVELLES ET REMISE EN CAUSE DE QUELQUES IDÉES REÇUES

JEAN-PIERRE BESANCENOT*

Résumé

Le changement climatique d'origine anthropique est une réalité qui s'impose aujourd'hui à tous et dont les conséquences sur la santé humaine ne sont pratiquement plus contestées, qu'elles soient déjà avérées ou attendues dans un avenir plus ou moins proche. Il existe sur le sujet une littérature très abondante, le plus souvent de qualité, qu'il aurait été inutile de répéter ici. L'accent a donc été mis sur quatre points qui ont récemment suscité des recherches nouvelles, conduisant à un approfondissement ou à une remise en cause au moins partielle des connaissances ou des hypothèses antérieures. Cela concerne (1) les avancées sur les bases physiques du changement climatique, apportées par le sixième Rapport d'évaluation du GIEC ; (2) les conséquences du radoucissement des hivers ; (3) le lien équivoque entre changement climatique, pollen et pollinoses ; enfin, (4) le rôle éventuel du réchauffement planétaire dans l'émergence ou l'évolution de la pandémie de Covid-19. La conclusion insiste sur le fait que les répercussions sanitaires du changement climatique sont sûrement plus complexes qu'on ne le supposait il y a quelques années, et que l'on commettrait sans doute une grave erreur en cherchant dès à présent à énoncer à leur sujet des lois de portée universelle.

Mots-clés : Changement climatique - Santé - Mortalité hivernale - Pollen - Covid-19.

Abstract

Climate change and health : new developments and a challenge to some conventional wisdom

Anthropogenic climate change is a reality that is now obvious to everyone and whose consequences for human health are virtually undisputed, whether they are already proven or expected in the more or less near future. There is an abundance of literature on the subject, most

* 468 Chemin des Fontaines, F-83470 Saint-Maximin-la-Sainte-Baume
Courriel : jeanpierre.besancenot@orange.fr

of it of high quality, which it would have been pointless to repeat here. The emphasis has therefore been placed on four points which have recently given rise to new research leading to a deepening or at least partial questioning of previous knowledge or hypotheses. These are (1) the advances in the physical basis of climate change brought about by the IPCC Sixth Assessment Report; (2) the consequences of milder winters; (3) the ambiguous link between climate change, pollen and pollinosis; and (4) the possible role of global warming in the emergence or evolution of the Covid-19 pandemic. The conclusion emphasises that the health impacts of climate change are likely to be more complex than assumed a few years ago, and that it would probably be a serious mistake to try to state universal laws about them now.

Key words : Climate change - Health - Winter mortality - Pollen - Covid-19

Introduction

Au cours du dernier quart de siècle, la *Presse thermale et climatique* s'est penchée à plusieurs reprises sur le thème du changement climatique en cours ou à venir, considéré soit dans sa réalité physique [29,54], soit sous l'angle de ses possibles répercussions sur la santé [8,16,36,54,60]. Il ne saurait être question de répéter ici ce qui a déjà été dit, et qui n'appellerait dans la plupart des cas que de menues retouches. On préférera s'en tenir à quatre points sur lesquels les avancées récentes de la recherche ont projeté un éclairage vraiment nouveau.

I. Le sixième Rapport d'évaluation du GIEC

Le 9 août 2021 a été publié le sixième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), dont seul est pour l'instant disponible le premier volet consacré aux bases scientifiques [42]. Le dépouillement de ce gros document de près de 4 000 pages révèle que, depuis le précédent Rapport daté de 2013, les connaissances relatives aux causes du changement climatique se sont consolidées et que la situation s'est aggravée au fil des années. Cinq points saillants doivent à cet égard être soulignés :

1. Jusque-là considéré comme "extrêmement probable", l'impact des activités humaines sur le réchauffement est dorénavant qualifié de "certain", et il n'y a plus d'équivoque sur le fait que cet impact est dû pour l'essentiel à l'émission de gaz à effet de serre. Ainsi, la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone CO₂ (419 ppm en mai 2021, soit un niveau dépassant de 50 % celui de l'époque préindustrielle) est supérieure à celle estimée depuis au moins 2 millions d'années. Le plus préoccupant est qu'à d'infimes nuances près, l'évolution suit le pire des scénarios envisagés, celui du business as usual ("*statu quo*", "comme si de rien n'était") : de ce fait, notre inertie fait redouter le franchissement du seuil des 700 ppm avant la fin du siècle. De surcroît, et contrairement à ce que beaucoup escomptaient, la réduction des émissions en 2020 en raison de la crise sanitaire n'a eu qu'un effet insignifiant sur la teneur de l'atmosphère en CO₂ – ce qui laisse à penser que seule une très forte baisse de la croissance pourrait avoir des

répercussions tangibles.

2. Même si la pollution aux particules fines provenant des combustibles fossiles la réduit artificiellement de quelques dixièmes de degré en renvoyant les rayons du soleil vers l'espace, la hausse de la température s'est encore accentuée avec, sur les années 2011-2020, une moyenne planétaire supérieure de 1,09°C à celle de la période 1850-1900, le réchauffement atteignant même 1,59°C sur les terres émergées. Chacune des quatre dernières décennies a ainsi été plus chaude que toutes celles qui l'avaient précédée depuis 1850.

3. Les preuves de la responsabilité du changement climatique dans l'augmentation sans précédent de l'intensité, de la fréquence et/ou de la durée des événements météorologiques extrêmes (vagues de chaleur, fortes précipitations, sécheresses, tempêtes, cyclones tropicaux...) se sont considérablement renforcées (d'un niveau de confiance "faible" dans le 5^{ème} Rapport à un niveau "élevé" dans le 6^{ème}), au point que l'on évoque maintenant un lien de cause à effet "irréfutable". Pour ne prendre qu'un exemple, les canicules prolongées qui ont sévi en juin 2020 en Sibérie et en juin 2021 en Colombie-Britannique, au cours desquelles le thermomètre a respectivement grimpé à 38°C (sur le cercle polaire arctique !) et à 49,6°C (au nord du 50^{ème} parallèle !), auraient été "très improbables", voire "presque impossibles" sans le changement climatique [19,49]. Il y a en outre quasi-unanimité parmi les physiciens de l'atmosphère pour affirmer que l'amplitude des événements extrêmes va croître plus que proportionnellement à la température globale, et il a pu être calculé qu'à peu près partout à la surface du globe, une vague de chaleur extrême qui se serait autrefois produite deux fois par siècle, frapperait désormais tous les six ans dans l'hypothèse d'un réchauffement de 1,5°C – et tous les quatre ans en présence d'une hausse de température de 2°C [42].

4. Les plus vives inquiétudes sont permises pour le futur proche. Ainsi, le seuil de 1,5°C de réchauffement global par rapport à l'ère préindustrielle, que l'Accord de Paris de 2015 sur le climat fixait à l'horizon 2100, sera probablement dépassé avant 2040, avec une date moyenne autour de l'année 2034 [28].

5. Néanmoins, rien n'est encore tout-à-fait irréversible : des actions "immédiates, fortes et soutenues" restent susceptibles de stabiliser les températures. Mais le temps presse et il ne faut pas sous-estimer la complexité d'une telle entreprise ; de plus, quels que soient les efforts futurs, les changements climatiques déjà intervenus seront difficiles à inverser sans émissions négatives nettes à grande échelle. Des cinq scénarios déclinés par le GIEC, seul le plus optimiste permettrait de contenir le réchauffement à 1,5°C ; mais il nécessiterait, dès aujourd'hui et à un rythme triple par rapport à celui constaté lors des deux dernières décennies, une diminution drastique des émissions mondiales de gaz à effet de serre, de sorte que sa probabilité économique, sociale et politique apparaît presque nulle. Le scénario médian, qui requiert l'engagement de mesures extrêmement sévères de restriction de l'usage des énergies fossiles, conduirait à un réchauffement moyen de 3,6°C d'ici à la fin du siècle, tandis que le scénario le moins

vertueux (fondé sur un doublement des émissions d'ici à 2100 par rapport à leur niveau de 2015, ce que les experts jugent "plus probable qu'improbable") fait craindre à cette même échéance une hausse pouvant atteindre 5,7°C.

À noter que les contributions des deux autres volets du sixième Rapport d'évaluation, consacrés pour l'un aux impacts, à l'adaptation et à la vulnérabilité, pour l'autre aux mesures d'atténuation du changement climatique, seront seulement diffusés en février et mars 2022, tandis que l'achèvement du Rapport de synthèse n'est pas prévu avant octobre de cette même année.

II. Les effets sanitaires du radoucissement des hivers

Il existe, au moins depuis 2003, un très large consensus pour considérer que, par-delà une certaine variabilité d'un endroit à l'autre et d'une catégorie sociale à l'autre, le réchauffement climatique se traduit épisodiquement par des pics très saillants de mortalité estivale, notamment en milieu urbain et aux âges les plus avancés. Cette tendance ne pourra que perdurer et aller en s'accroissant, avec des périodes caniculaires que tous les modèles s'accordent à prévoir de plus en plus fréquentes, de plus en plus intenses et, avec une à peine moindre probabilité, de plus en plus longues [10]. En revanche, s'il est vrai que chacun, il y a encore une douzaine d'années, s'attendait à un effet bénéfique du radoucissement des hivers, cette hypothèse est maintenant battue en brèche [10].

Partant du constat que, depuis plus d'un demi-siècle, la courbe annuelle de la mortalité culmine en saison froide, dans tous les pays développés de climat tempéré, il en a souvent été déduit que les hivers les plus rigoureux étaient aussi les plus meurtriers. Ainsi, loin de se limiter aux 57 sans-abris décédés d'hypothermie, le bilan de janvier-février 1985, où le thermomètre est descendu à -35°C dans le Doubs, s'est établi en France à environ 9 000 morts surnuméraires, soit un excédent de 13 %, presque toutes les causes de décès se trouvant sur-représentées (infarctus du myocarde +17 %, AVC +54 %, pneumonies +208 %...) [5,34]. Dès lors, il était tentant d'énoncer le postulat que, si l'hiver se radoucit, de telles hécatombes se feront plus rares, grâce notamment à une réduction des risques cardiovasculaires et respiratoires [6,8,16,25,30,48,53,57,59]. Les effets néfastes du changement climatique sur la santé seraient alors compensés, au moins en partie, par une diminution de la surmortalité hivernale, à mesure que les hivers se réchaufferont. Les autorités sanitaires britanniques ont même évalué que, par rapport à l'an 2000, environ 2 % des décès hivernaux seraient évités chaque année au milieu de ce siècle, et 12 % vers 2080 [65].

Mais les recherches ultérieures, partiellement inventoriées par Ebi et Mills [24], n'ont pas corroboré ces intuitions. L'analyse de la série 1987-2000 dans une centaine de villes des États-Unis a, par exemple, révélé que le nombre de décès de l'hiver n'était proportionnel ni à l'intensité, ni à la durée du froid [3]. La confrontation des données quotidiennes de température et de mortalité de 36 villes américaines sur la période 1985-2006 et de trois villes françaises sur la période 1971-2007 a sensiblement conduit au

même résultat [31-32]. Et, si une forte corrélation positive, statistiquement significative ($p < 0,001$), a pu être mise en évidence en Angleterre et au Pays de Galles, jusque dans les années 1970, entre la mortalité du quadrimestre décembre-mars et le nombre de jours froids ($< 5,0^{\circ}\text{C}$), cette corrélation s'est ensuite progressivement estompée et elle a aujourd'hui complètement disparu ($p=0,622$ pour les années 1991-2011) [58].

L'explication paraît double :

- D'une part, c'est une erreur que d'imaginer les surmortalités hivernales comme étant toujours directement imputables au froid. Il est probable que l'on a trop souvent attribué à la douceur de certains hivers ce qui tenait plutôt à l'amélioration du chauffage des habitations [20], à une élévation du niveau socio-économique, au renforcement de l'offre de soins, ainsi qu'au perfectionnement des diagnostics et des traitements, sans oublier l'extension de la vaccination antigrippale [34].
- D'autre part, l'existence d'épisodes de froid extrême dans certaines régions n'est en rien incompatible avec la tendance globale à la hausse des températures. Le réchauffement très prononcé de l'Arctique porte même l'essentiel de la responsabilité des grandes vagues de froid qui affectent l'Extrême-Orient et l'Amérique du Nord. L'hiver 2020-2021, au cours duquel ont été battus de nombreux records absolus de températures négatives, en a administré une preuve flagrante. En effet, combiné à de fortes chutes de neige en Sibérie, le déclin rapide de la banquise en mer de Barents et de Kara a entraîné un réchauffement brutal de la stratosphère, susceptible d'étirer, de ralentir et même d'inverser le vortex polaire. Les météorologistes appellent ainsi le courant atmosphérique circulaire qui se forme au-dessus du pôle Nord durant l'hiver, et qui emprisonne normalement l'air froid sur l'Arctique. Mais lorsque ce vortex s'étire et ondule, il ne joue plus son rôle protecteur car plus rien ne s'oppose à de vigoureuses "descentes" d'air glacial vers les latitudes moyennes [21,47,73]. Le risque d'hivers comportant des séquences inhabituellement froides pourrait s'en trouver doublé [43]. Autrement dit, et si contre-intuitif que cela puisse paraître, "dans un monde futur plus chaud, la mortalité saisonnière hivernale pourrait atteindre au moins les mêmes niveaux qu'aujourd'hui" [31]. D'où le degré de confiance "seulement moyen, voire faible" accordé par le 5^{ème} Rapport d'évaluation du GIEC à une éventuelle baisse du nombre des décès survenant au plus fort de la saison froide [57]. En tout cas, il paraît peu probable que le bénéfice à attendre d'hivers plus doux puisse – même à beaucoup près – contrebalancer le coût des étés plus chauds. Les simulations réalisées tant à New-York [38] qu'à Montréal, Hamilton et Régina le confirment, même si le doute subsiste pour certaines autres villes canadiennes [41].

III. Changement climatique, pollen et pollinoses

Dès les années 1980, les allergies au pollen ont été parmi les premières maladies à propos desquelles le changement climatique, qui pourtant s'amorçait à peine, a été reconnu jouer un rôle décisif [9,68]. Toute une série d'évolutions ont dès lors été annoncées comme inévitables. Un climat plus chaud aurait une forte probabilité

d'avancer le début des saisons polliniques, d'allonger ces saisons, d'augmenter la concentration des grains de pollen dans l'air et d'accroître leur contenu allergénique, ces différentes tendances se conjuguant pour renforcer la prévalence et la sévérité des allergies respiratoires, rhinite ou asthme [11,60]. Tel quel, le schéma apparaît clair et cohérent, et il est repris dans nombre de publications, y compris parmi les plus récentes [7,22,51,74]. Mais force est de reconnaître qu'il s'appuie sur le raisonnement plus que sur l'observation : à mesure que la surveillance aérobiologique s'est intensifiée, les choses se sont avérées plus complexes, ce qui vaut pour un taxon, en un lieu donné et à une certaine période, n'étant presque jamais généralisable. Quelques exemples, limités au territoire français métropolitain, le montreront aisément [12,61-62] :

1. Il est indiscutable que, pour les arbres fleurissant en fin d'hiver ou au début du printemps, comme le noisetier et l'aulne, ou dans une moindre mesure pour les arbres libérant leur pollen au milieu du printemps, comme le bouleau, le frêne et le pin, le début de la saison pollinique (défini comme le jour où l'on atteint 2,5 % du recueil total annuel d'un taxon donné) a souvent été caractérisé, jusqu'au tout début des années 2000, par une précocité de plus en plus marquée. Pour le bouleau, l'avance moyenne s'établissait alors entre 0,02 et 0,69 jour/an selon les sites. Mais à partir de 2002-2003, la tendance s'est inversée, avec un retard graduel qui se poursuit à ce jour, au point que la pollinisation débute maintenant aussi tard, et parfois plus tard qu'il y a trente ans. Ainsi, le retard de 12 jours observé à Paris pour le bouleau entre 2003 et 2021 a plus qu'annulé l'avance de 8 jours qui avait caractérisé la période 1987-2002. Le chêne, le hêtre et le platane ont connu des évolutions similaires. L'explication la plus plausible est fournie par la physiologie végétale¹ : en empêchant la plante de satisfaire assez vite ses besoins en froid, des hivers trop doux allongent la période de chilling, retardent la levée de dormance et le début de la phase de forcing, donc le redémarrage de la végétation, et réduisent ou annulent l'avance de la phénologie printanière que pourraient provoquer des températures de mars-avril particulièrement clémentes [1,12,46,64,66]. De surcroît, aucune constante ne se dégage pour les herbacées qui fleurissent à la fin du printemps, comme le plantain et les graminées, ou en été comme l'armoise. Les graminées, par exemple, ne présentent en général que des tendances extrêmement faibles, non significatives, et contradictoires d'un site à l'autre : retard moyen de 0,2 jour/an à Amiens depuis le milieu des années 1980, date stationnaire à Toulouse, avance de 0,2 à 0,4 jour/an à Paris et Lyon... Cela tient sans doute à la grande diversité des taxons réunis sous le terme générique de graminées, une famille qui comprend autour de 10 000 espèces qui n'ont pas toutes la même sensibilité au changement climatique mais dont il

¹- La dormance qui équivaut, *mutatis mutandis*, à l'hibernation de certains animaux, est une forme de vie ralentie permettant de passer une période biologiquement défavorable. Elle est essentiellement déclenchée par la baisse de la température et par la diminution de la longueur du jour. Pour lever leur dormance et enclencher leur floraison, les arbres doivent avoir accumulé suffisamment de températures basses pour satisfaire leurs besoins en froid (c'est la phase de chilling), puis avoir accumulé suffisamment de températures élevées pour satisfaire leurs besoins en chaleur et permettre la croissance des bourgeons (c'est la phase de forcing).

est impossible en routine de discriminer les pollens. Quant à l'allongement de la saison pollinique, souvent évoqué, il comporte trop d'exceptions pour qu'on le considère comme une réalité irrécusable ; en outre, il n'est presque jamais significatif, en dehors des Urticacées et plus spécialement de la pariétaire, dont la pollinisation débute de plus en plus tôt pour s'achever de plus en plus tard.

2. Il est encore plus délicat de cerner l'impact du changement climatique sur l'abondance du pollen produit par les plantes et, par suite, sur sa concentration dans l'air [12,61-62]. Certes, les quantités de pollen émises par les espèces ligneuses pérennes, et notamment par les arbres à chatons, évoluent souvent à la hausse à mesure que le climat se fait plus chaud. Pour le bouleau, par exemple, la tendance a été quasiment linéaire au cours des trois dernières décennies, avec un taux moyen annuel de progression compris selon les villes entre 21 grains/m³ (à Lyon) et 126 (à Amiens). Mais les chiffres recouvrent des réalités bien différentes selon les espèces, même à l'intérieur d'une famille botanique donnée, et parfois aussi, selon les endroits. En outre, et une fois encore, les herbacées (à la seule exception des Urticacées) réservent fréquemment un schéma diamétralement opposé à celui décrit pour les arbres. Ainsi, en dehors éventuellement de Lyon, toutes les séries longues de données disponibles en France pour les graminées font état d'une diminution progressive des concentrations de pollen dans l'air (-9 grains/m³/an à Toulon, -58 à Montluçon...). Il a même pu être calculé que la concentration atmosphérique en pollen de graminées diminuait à un rythme moyen de l'ordre de 860 grains/m³/an par degré Celsius de réchauffement [12]. Mais il n'en va pas partout de même : la Galice aurait enregistré sur deux décennies une énorme progression de 329 grains/m³/an [26] ! Encore faudrait-il, là comme ailleurs, éviter d'attribuer au changement climatique n'importe quelle évolution constatée : l'accroissement des surfaces urbanisées, l'évolution des pratiques agricoles et les grandes options guidant l'aménagement des parcs et jardins ont sûrement joué, dans l'inquiétante augmentation de l'occurrence des pollinoses, un rôle aussi important, quoique beaucoup plus difficile à modéliser.

On retiendra, en tout cas, que les impacts du changement climatique sur la phénologie des principales espèces végétales connues pour l'allergénicité de leur pollen sont impossibles à ramener à un schéma unique.

IV. La pandémie du Covid-19 à la lumière du changement climatique

On sait que l'émergence, la propagation et l'intensité de nombreuses maladies virales est fortement influencée par le changement climatique, capable d'agir tout à la fois sur le mode de transmission des agents pathogènes et sur la sensibilité de l'hôte à l'infection [10,56,72]. Dans le cas des zoonoses, le franchissement de la barrière d'espèce peut être facilité ou entravé, directement ou indirectement, par le réchauffement de la planète ou par l'évolution tendancielle de l'humidité atmosphérique et du régime pluviométrique [27]. Mais qu'en est-il pour l'infection à Sars-CoV2 ? La dernière question que l'on abordera ici est donc celle d'une éventuelle influence du changement climatique sur la

dynamique de l'épidémie de Covid-19 qui, partie de Wuhan en novembre 2019, touchait déjà plus de 200 pays quatre mois plus tard. Le changement climatique a-t-il accentué la dissémination et la transmission du virus, ou son pouvoir infectant ? Risque-t-il d'en favoriser la persistance dans l'environnement, ou au contraire a-t-il des chances d'en freiner, voire d'en stopper la propagation ? Et quels enseignements peut-on tirer de cette pandémie pour les épidémies virales qui se produiront inévitablement à l'avenir ? En à peine un an et demi, le sujet a déjà suscité une littérature surabondante [33,37,44,71], mais avec des résultats éminemment contradictoires.

Selon la précieuse revue bibliographique réalisée par Briz-Redón et Serrano-Aroca [15], 54 % des publications concluent à l'existence d'une corrélation négative, le plus souvent robuste et significative, entre la transmissibilité du Covid-19 et la température ambiante [17,35,40,44,52,67]. Il a ainsi été montré au Brésil qu'après contrôle des principaux facteurs de confusion, toute élévation de 1°C de la température ambiante était liée à une diminution de 4,9 % du nombre de cas quotidiens confirmés ($p < 0,03$), au moins tant que la température ne dépasse pas 25,8°C car, une fois ce seuil franchi, l'incidence reste stable ou ré-augmente [50]. À l'échelle planétaire, cette même hausse de 1°C est également associée à une réduction du nombre de cas de l'ordre de 5,4 % [17]. Tout ceci est en bon accord avec les expériences *in vitro*, qui ont démontré que les fortes chaleurs endommageaient la couche lipidique du virus en diminuant sa stabilité et son potentiel d'infection, allant parfois jusqu'à provoquer son inactivation [18,45]. Implicitement ou explicitement, nombre d'auteurs en ont conclu que le réchauffement planétaire aurait plutôt exercé un effet inhibiteur sur la contagiosité de la Covid-19 et que, sans lui, l'épidémie aurait probablement eu un démarrage encore plus brutal. Mais à l'inverse, 10 % des études dépouillées font état de corrélations positives, la fréquence et/ou la sévérité des cas augmentant à mesure que la température s'élève [4,55,63,69], et il reste 36 % de publications qui n'ont mis en évidence aucune association climatopathologique ou seulement des associations peu claires [2].

Ces résultats disparates et inconstants doivent inciter à la prudence, d'autant que les données épidémiologiques de nombreux pays demeurent imprécises et que les investigations ont souvent été limitées aux premières semaines ou aux premiers mois de l'épidémie. L'hétérogénéité des approches statistiques et des techniques de modélisation mises en œuvre peut aussi avoir contribué à une certaine incohérence. En tout cas, il faut admettre que le changement climatique n'a joué et ne joue au mieux qu'un rôle secondaire dans la dynamique de la pandémie. Même si la majorité des études suggère une corrélation négative entre la Covid-19 et la température, il serait très aventureux de compter sur un climat plus chaud pour freiner les transmissions.

Cela étant, il est peut-être erroné de raisonner ainsi à l'échelle planétaire. L'hypothèse a été formulée que la sensibilité du Covid-19 au changement climatique pourrait être diamétralement opposée selon les pays. Lin et al [39] ont ainsi mis en évidence de fortes corrélations entre la température maximale et le nombre de nouveaux cas dans cinq des pays les plus touchés par la pandémie ; mais il s'agit de corrélations positives en Inde et

au Mexique, et de corrélations négatives au Brésil, au Pérou et en Afrique du Sud. Est-ce à dire que le réchauffement intensifie la transmission du virus dans les climats chauds, ou du moins dans certains d'entre eux, alors qu'il la ralentit dans les climats plus frais ? La comparaison des Émirats arabes unis et de la Suisse [23] milite en ce sens, tout comme celle des grandes villes indiennes [55] avec les principales villes chinoises [40, 67], ou encore celle de l'Amazonie et du Nordeste [2] avec le reste du Brésil [50]. Mais il y a des exceptions et, en l'état présent des connaissances, toute affirmation tranchée resterait largement prématurée.

Finalement, s'il est impossible de démontrer que le changement climatique a constitué, dans un sens ou dans l'autre, un facteur causal direct de l'émergence du Covid-19 et qu'il est encore susceptible d'en affecter le devenir, l'existence d'effets indirects ne fait guère de doute [14,27,33,37]. Il suffira à cet égard de noter que l'élévation de la température, l'augmentation du taux de CO₂ atmosphérique et l'allongement de la durée d'ensoleillement ont déjà profondément bouleversé l'habitat naturel des chauves-souris [13], mais aussi des pangolins et des civettes, qui n'auraient pas eu d'autre choix que de se déplacer vers la province chinoise du Yunnan ou vers les régions voisines de Birmanie et du Laos, plus propices à leur reproduction et à leur expansion, mais où ces nouveaux-venus ont introduit des coronavirus qui n'avaient jusqu'alors rencontré qu'un nombre infime d'humains [70].

Conclusion

Les liens entre changement climatique et santé sont sûrement plus subtils qu'on ne le supposait il y a quelques années, et très difficiles à isoler de nombreuses influences extra-climatiques. En l'état actuel des connaissances, la prudence commande de privilégier les observations ponctuelles, en évitant d'extrapoler et de prolonger indéfiniment vers le futur les tendances observées à un moment donné, en se méfiant des déductions qui sont une caricature de la réalité, et sans chercher avant longtemps à énoncer des lois de portée universelle.

Références

1. Asse D, Chuine I, Vitasse Y, et al. Warmer winters reduce the advance of tree spring phenology induced by warmer springs in the Alps. *Agr For Meteorol* 2018;252:220-30.
2. Auler AC, Cássaro FAM, Da Silva VO, Pires LF. Evidence that high temperatures and in-termediate relative humidity might favor the spread of Covid-19 in tropical climate: A case study for the most affected Brazilian cities. *Sci Total Environ* 2020;729:139090.
3. Barnett AG, Hajat S, Gasparini A, Rocklöv J. Cold and heat waves in the United States. *Environ Res* 2012;112:218-24.
4. Bashir MF, Ma B, Bilal, et al. Correlation between climate indicators and Covid-19

- pandemic in New York, USA. *Sci Total Environ* 2020;728:138835.
5. Beaudou P, Besancenot J-P, Caserio-Schönemann C, et al. Froid et santé. *Éléments de synthèse bibliographique et perspectives. Rapport d'investigation*. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2004.
 6. Bennett CM, Dear KB, McMichael AJ. Shifts in the seasonal distribution of deaths in Australia, 1968-2007. *Int J Biometeorol* 2014;58: 835-42.
 7. Bergmann KC. Weather conditions and climate change have an effect on allergies. *Allergo J* 2016;25:33-9.
 8. Besancenot J-P. Changements climatiques et santé. *Press Therm Climat* 2007;144:121-9.
 9. Besancenot J-P. Changement climatique et impacts sanitaires : une évolution déjà observable ? *Air Pur* 2007;72:13-20.
 10. Besancenot J-P. Changement climatique et santé. *Environ Risques Santé* 2015;14:394-414.
 11. Besancenot J-P, Thibaudon M. Changement climatique et pollinisation. *Rev Mal Respir* 2012;29:1238-53.
 12. Besancenot J-P, Sindt C, Thibaudon M. Pollen et changement climatique. Bouleau et graminées en France métropolitaine. *Rev Fr Allergol* 2019;59:563-75.
 13. Beyer RM, Manica A, Mora C. Shifts in global bat diversity suggest a possible role of climate change in the emergence of SARS-CoV-1 and SARS-CoV-2. *Sci Total Environ* 2021;767:145413.
 14. Botzen W, Duijndam S, van Beukering P. Lessons for climate policy from behavioral biases towards Covid-19 and climate change risks. *World Dev* 2021;137:105214.
 15. Briz-Redón Á, Serrano-Aroca Á. The effect of climate on the spread of the Covid-19 pandemic: a review of findings, and statistical and modelling techniques. *Prog Phys Geogr* 2020;44:591-604.
 16. Castel-Tallet M-A, Besancenot J-P. Réchauffement planétaire et santé : la France au XXI^{ème} siècle. *Press Therm Climat* 1997;134:275-83.
 17. Chen S, Pretzner K, Cao B, et al. Revisiting the association between temperature and Covid-19 transmissibility across 117 countries. *ERJ Open Res* 2020;6:00550-2020.
 18. Chin AWH, Chu JTS, Perera MRA, et al. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *Lancet Microbe* 2020;1:e10.
 19. Ciavarella A, Cotterill D, Stott P, et al. Prolonged Siberian heat of 2020 almost impossible without human influence. *Clim Change* 2021:166:9.
 20. Clinch JP, Healy JD. Housing standards and excess winter mortality. *J Epidemiol Community Health* 2000;54:719-20.
 21. Cohen J, Agel L, Barlow M, et al. Linking Arctic variability and change with extreme winter weather in the United States. *Science* 2021;373:1116-21.
 22. Damialis A, Traidl-Hoffmann C, Treudler R. Climate change and pollen allergies. In:

- Marselle MR, Stadler J, Korn H, Irvine KN, Bonn A. *Biodiversity and health in the face of climate change*. Cham: Springer Nature; 2019:47-66.
23. Daneshvar MM, Ebrahimi M, Sadeghi A, Mahmoudzadeh A. Climate effects on the Covid-19 outbreak: a comparative analysis between the UAE and Switzerland. *Model Earth Syst Environ* 2021;in press.
 24. Ebi KL, Mills D. Winter mortality in a warming climate: a reassessment. *Wiley Interdiscipl Rev Clim Change* 2013;4:203-12.
 25. Franchini M, Mannucci PM. Impact on human health of climate changes. *Eur J Intern Med* 2015;26:1-5.
 26. Galán C, Alcázar P, Oteros J, et al. Airborne pollen trends in the Iberian Peninsula. *Sci Total Environ* 2016;550:53-9.
 27. Gorji S, Gorji A. Covid-19 pandemic: the possible influence of the long-term ignorance about climate change. *Environ Sci Pollut Res* 2021;28:15575-9.
 28. Intergovernmental panel on climate change. Summary for Policymakers. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner H-O, et al. *Global warming of 1.5°C*. Geneva: World Meteorological Organization; 2018:1-32.
 29. Jeambrun P. Changement climatique. *Press Therm Climat* 2020;157:169-72.
 30. Kim KH, Kabir E, Jahan SA. A review of the consequences of global climate change on human health. *J Environ Sci Health, Part C* 2014;32:299-318.
 31. Kinney P, Pascal M, Vautard R, Laaidi K. La mortalité hivernale va-t-elle diminuer avec le changement climatique ? *Bull Epidemiol Hebd* 2012;12-13:5-7.
 32. Kinney PL, Schwartz J, Pascal M, et al. Winter season mortality: will climate warming bring benefits? *Environ Res Lett* 2015;10:064016.
 33. Kumar S, Singh R, Kumari N, et al. Current understanding of the influence of environmental factors on SARS-CoV-2 transmission, persistence, and infectivity. *Environ Sci Pollut Res Int* 2021;28:6267-88.
 34. Laaidi K, Economopoulou A, Wagner V, et al. Vagues de froid et santé en France métropolitaine. impact, prévention, opportunité d'un système d'alerte. *Bull Epidemiol Hebd* 2011;7:61-6.
 35. Le NK, Le AV, Parikh J, Brooks JP, Gardellini T, Izurieta R. Ecological and health infrastructure factors affecting the transmission and mortality of Covid-19. *J Adv Virol Res* 2021;1:101.
 36. Le Roy Ladurie E. Fluctuations météorologiques : retentissement sur la vie et la santé humaines (XIV^{ème}-XXI^{ème} siècles). *Press Therm Climat* 2007;144:95-102.
 37. Lemery J, Knowlton K, Sorensen C, Linstadt H. *Commentary on Covid-19, climate change, and human health*. In: Lemery J, Knowlton K, Sorensen C. *Global climate change and human health: from science to practice*, 2nd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2021:XXXI-XXXIV.

38. Li T, Horton RM, Kinney PL. Projections of seasonal patterns in temperature-related deaths for Manhattan, New York. *Nat Clim Change* 2013;3:717-21.
39. Lin S, Fu Y, Jia X, Ding S, Wu Y, Huang Z. Discovering correlations between the Covid-19 epidemic spread and climate. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:7958.
40. Liu J, Zhou J, Yao J, et al. Impact of meteorological factors on the Covid-19 transmission: a multi-city study in China. *Sci Total Environ* 2020;726:138513.
41. Martin SL, Cakmak S, Hebborn CA, Avramescu ML, Tremblay N. Climate change and future temperature-related mortality in 15 Canadian cities. *Int J Biometeorol* 2012;56:605-19.
42. Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, et al. *Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2021.
43. McCusker KE, Fyfe JC., Sigmund M. Twenty-five winters of unexpected Eurasian cooling unlikely due to Arctic sea-ice loss. *Nat Geosci* 2016;9:838-42.
44. Mecnas P, Bastos RT, Vallinoto AC, Normando D. Effects of temperature and humidity on the spread of Covid-19: a systematic review. *PLoS One* 2020;15:e0238339.
45. Moriyama M, Hugentobler WJ, Iwasaki A. Seasonality of respiratory viral infections. *Annu Rev Virol* 2020;7:83-101.
46. Newnham RM, Sparks TH, Skjøth CA, Head K, Adams-Groom B, Smith M. Pollen season and climate: is the timing of birch pollen release in the UK approaching its limit? *Int J Biometeorol* 2013;57:391-400.
47. Overland JE, Ballinger TJ, Cohen J, et al. How do intermittency and simultaneous processes obfuscate the Arctic influence on midlatitude winter extreme weather events? *Environ Res Lett* 2021;16:043002.
48. Patz JA, Frumkin H, Holloway T, Vimont DJ, Haines A. Climate change: challenges and opportunities for global health. *JAMA* 2014;312:1565-80.
49. Philip SY, Kew SF, Van Oldenborgh GJ, et al. *Rapid attribution analysis of the extraordinary heatwave on the Pacific Coast of the US and Canada June 2021*. Oxford: World Weather Attribution Initiative; 2021.
50. Prata DN, Rodrigues W, Bermejo PH. Temperature significantly changes Covid-19 transmission in (sub)tropical cities of Brazil. *Sci Total Environ* 2020;729:138862.
51. Rojo J, Picornell A, Oteros J, et al. Consequences of climate change on airborne pollen in Bavaria, Central Europe. *Reg Environ Change* 2021;21:9.
52. Rosario DK, Mutz YS, Bernardes PC, Conte-Junior CA. Relationship between Covid-19 and weather: case study in a tropical country. *Int J Hyg Environ Health* 2020;229:113587.

53. Rousseau D. Surmortalité des étés caniculaires et surmortalité hivernale en France. *Climatol* 2006;3:43-54.
54. Rousseau D. Les changements climatiques en cours et à venir. *Press Therm Climat* 2007;144:103-8.
55. Sasikumar K, Nath D, Nath R, Chen W. Impact of extreme hot climate on Covid-19 out-break in India. *GeoHealth* 2020;4:e2020GH000305.
56. Schvoerer É, Gut J-P, Stoll-Keller F. Effets des changements climatiques sur les mala-dies virales : quels sont les risques potentiels ? *Virologie* 2009;13:243-8.
57. Smith KR, Woodward A, Campbell-Lendrum DD, et al. *Human health: impacts, adaptation, and co-benefits*. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, et al. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A. Global and sectoral aspects. Cambridge-New York: Cambridge University Press; 2014.
58. Staddon PL, Montgomery HE, Depledge MH. Climate warming will not decrease winter mortality. *Nat Clim Change* 2014;4:190-4.
59. Swynghedauw B, Isabelle A-M, André A, et al. Conséquences médicales des variations de la température ambiante et des variations climatiques. *Bull Acad Natl Med* 2012;196: 201-15.
60. Thibaudon M. Pollens, allergies et changements climatiques. *Press Therm Climat* 2007;144:117-20.
61. Thibaudon M, Pham-Thi N, Besancenot J-P. Réchauffement climatique et pollen. *Rev Fr Allergol* 2020;60:230-2.
62. Thibaudon M, Besancenot J-P. Les aéroallergènes de l'environnement extérieur et le changement climatique. *Rev Mal Respir* 2021; sous presse.
63. Tosepu R, Gunawan J, Effendy DS, Lestari H, Bahar H, Asfian P. Correlation between weather and Covid-19 pandemic in Jakarta, Indonesia. *Sci Total Environ* 2020;725:138436.
64. Van Vliet AJ, Overeem A, De Groot RS, Jacobs AF, Spieksma FT. The influence of tem-perature and climate change on the timing of pollen release in the Netherlands. *Int J Climatol* 2002;22:1757-67.
65. Vardoulakis S, Heaviside C. *Health effects of climate change in the UK 2012*. London: Health Protection Agency; 2012.
66. Wang H, Wang H, Ge Q, Dai J. The interactive effects of chilling, photoperiod, and forcing temperature on flowering phenology of temperate woody plants. *Front Plant Sci* 2020;11:443.
67. Wang J, Tang K, Feng K, et al. Impact of temperature and relative humidity on the trans-mission of Covid-19: a modelling study in China and the United States. *BMJ Open* 2021;11:e043863.
68. Wilkinson MJ. Pollen and climatic change. *Aerobiologia* 1989;5:3-8.

69. Xie J, Zhu Y. Association between ambient temperature and Covid-19 infection in 122 cities from China. *Sci Total Environ* 2020;724:138201.
70. Yan Yam EL. Climate change and the origin of SARS-CoV-2. *J Travel Med* 2020;27:1-2.
71. Zang SM, Benjenk I, Breakey S, Pusey Reid E, Nicholas PK. The intersection of climate change with the era of Covid-19. *Public Health Nurs* 2021;38:321-35.
72. Zell R, Krumbholz A, Wutzler P. Impact of global warming on viral diseases: what is the evidence? *Curr Opin Biotechnol* 2008;19:652-60.
73. Zhang X, Fu Y, Han Z, et al. Extreme cold events from East Asia to North America in winter 2020/21: comparisons, causes, and future implications. *Adv Atmos Sci* 2021;in press.
74. Ziska LH, Makra L, Harry SK, et al. Temperature-related changes in airborne allergenic pollen abundance and seasonality across the northern hemisphere: a retrospective data analysis. *Lancet Planet Health* 2019;3:124-31.