



HAL
open science

**Changement climatique et santé des populations : vers
un agenda de recherche interdisciplinaire Climate
change and population health: towards an
interdisciplinary research agenda**

Basile Chaix, Rémy Slama

► **To cite this version:**

Basile Chaix, Rémy Slama. Changement climatique et santé des populations : vers un agenda de recherche interdisciplinaire Climate change and population health: towards an interdisciplinary research agenda. *Environnement, Risques & Santé*, 2022, 21 (4), pp.266-274. 10.1684/ers.2022.1658 . hal-03972311

HAL Id: hal-03972311

<https://hal.science/hal-03972311v1>

Submitted on 3 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Changement climatique et santé des populations : vers un agenda de recherche
interdisciplinaire**

Climate change and population health: towards an interdisciplinary research agenda

Rubrique envisagée : Synthèse

Basile Chaix,¹ Rémy Slama²

¹ Sorbonne Université, INSERM, Institut Pierre Louis d'Epidémiologie et de Santé Publique
IPLESP, équipe Nemesis, Faculté de Médecine Saint-Antoine, 27 rue Chaligny, 75012 Paris,
France

² Equipe d'épidémiologie environnementale appliquée au développement et à la santé
respiratoire, Inserm, CNRS et Université Grenoble-Alpes, Institut pour l'Avancée des
Biosciences, 38700 La Tronche, France

Emails des auteurs :

basile.chaix@iplesp.upmc.fr

remy.slama@inserm.fr

Auteurs co-correspondants :

Basile Chaix, +33 (0)1 44 73 86 64

Rémy Slama, +33 (0)4 76 54 94 02

Résumé

Le changement climatique influe sur la santé au travers d'effets directs et indirects. Au-delà de la déshydratation et de l'hyperthermie et d'effets sur les systèmes cardiaque, respiratoire, endocrinien, immunitaire et nerveux, les fortes chaleurs sont associées à une augmentation de la mortalité, des accidents au travail, des suicides, et des violences domestiques et agressions. Les îlots de chaleur urbains amplifient les effets sanitaires des vagues de chaleur. Les événements climatiques extrêmes entraînent des décès et des traumatismes. Le changement climatique pourrait également accroître le développement de cancers de la peau. Plus indirectement, il induit une modification de la distribution géographique de maladies à vecteurs et de bactéries aquatiques (épidémies de choléra). La fonte du permafrost pourrait générer des menaces virales et bactériennes. Les températures élevées et les événements climatiques extrêmes sont associés à une diminution des rendements agricoles, qui peut induire malnutrition et retard de croissance. Le changement climatique pourrait renforcer la prolifération d'algues toxiques, et il a des implications allergologiques. Il impactera aussi la concentration atmosphérique de polluants, augmentera la fréquence des feux de forêts et des tempêtes de sable et de poussière, associés à des problèmes respiratoires. L'augmentation du niveau de la mer pourrait contribuer à des migrations climatiques de masse, avec des problèmes induits d'hygiène, de maladies infectieuses et de conflits. La salinisation des aquifères affectera l'accès à l'eau potable. L'acidification des océans pourrait amplifier l'impact des tsunamis et ouragans, et déstabiliser les économies reposant sur la pêche. Les mesures de lutte contre et d'adaptation au changement climatique peuvent aussi influencer la santé. Elles concernent les environnements urbains et les secteurs de l'agriculture, des transports, de l'énergie et de l'industrie (principaux émetteurs), qui façonnent des déterminants majeurs de la santé (activité physique, alimentation, pollution atmosphérique et bruit, contaminants chimiques). La lutte contre le changement climatique constitue ainsi une fantastique opportunité pour améliorer la

santé. Il semble donc important de mettre les questions de santé publique au cœur de l'agenda de recherche lié au changement climatique, dans un continuum disciplinaire alliant notamment l'épidémiologie et la santé publique, les sciences du climat, les diverses sciences humaines et sociales, l'urbanisme et les sciences politiques.

Mots clés : Changement climatique, santé publique, température élevée, prévention

Summary

Climate change influence health through direct and indirect effects. Beyond dehydration and hyperthermia and effects on the cardiovascular, respiratory, endocrine, immune, and nervous systems, high temperatures are associated with increased mortality, accidents at work, suicides, domestic violence, and assaults. Urban heat islands amplify the health effects of heat waves. Extreme climatic events lead to deaths and injuries. Climate change could also increase the development of skin cancers. More indirectly, it modifies the geographic distribution of some vector-borne diseases and aquatic bacteria (cholera outbreaks). The melting of permafrost could generate viral and bacterial threats. High temperatures and extreme climatic events are associated with a decline in agricultural yields, which can lead to malnutrition and children stunting. Climate change could exacerbate toxic algae bloom, and it has allergological implications. It will also influence the atmospheric concentration of pollutants, and will make forest fires and sand and dust storms more frequent, which are associated with respiratory problems. The increase in sea level could contribute to mass climatic migrations, with resulting hygiene problems, infectious diseases, and conflicts. The salinization of aquifers will affect access to drinking water. Ocean acidification will amplify the impact of tsunamis and hurricanes, and disrupt economies based on fishing. Measures to fight against and to adapt to climate change can also influence health. They relate to urban environments and to the economic sectors of agriculture, transport, energy, and industry, which shape major determinants of health (physical activity, diet, air pollution and noise, chemical contaminants). Therefore, the fight against climate change represents a tremendous opportunity to improve health. It is thus important to incorporate public health questions into the research agenda related to climate change, in a disciplinary continuum combining among other epidemiology and public health, climate sciences, the various human and social sciences, urbanism, and political sciences.

Key words: Climate change, public health, hot temperature, prevention

Le changement climatique désigne un ensemble de modifications du climat de la planète par rapport à une situation antérieure. Celui-ci est d'origine anthropique, c'est-à-dire que les activités humaines en sont la cause dominante [1]. L'estimation récente issue du sixième rapport du GIEC est qu'une augmentation d'environ 1,5°C des températures moyennes du globe par rapport aux niveaux préindustriels pourrait être atteinte entre 2021 et 2040 (soit 10 ans plus tôt que précédemment envisagé [2]), si la tendance actuelle est maintenue. Étant donné que les deux tiers du globe sont couverts d'eau qui se réchauffe plus lentement, l'augmentation moyenne attendue sur les terres émergées sera plus importante encore (celles-ci se sont réchauffées deux fois plus que la terre dans son ensemble) [3]. Au-delà de 2050, les estimations sont moins précises, mais beaucoup de scénarios prédisent, pour la France autour de 2100, une forte intensification des vagues de chaleur, avec, pour l'été, des maxima dépassant de 6 à 13°C les maxima historiques [4], un nombre de jours de vagues de chaleur qui pourrait être supérieur à 20 dans le Sud-Est du territoire métropolitain, et des épisodes de sécheresse plus fréquents dans une large partie sud du pays et pouvant s'étendre à l'ensemble du pays [5]. Une augmentation de la température moyenne annuelle de 2-3°C est susceptible d'augmenter d'un facteur multiplicatif supérieur à dix le nombre de jours où la température dépasse un niveau actuellement considéré comme élevé. Ces modifications de température s'accompagnent d'une acidification des océans du fait de l'absorption de dioxyde de carbone, d'une montée du niveau des océans, et de conséquences sur la biodiversité, et notamment de changements dans l'aire de vie de nombreux insectes vecteurs de maladies infectieuses.

Alors que chacune des quatre dernières décennies entre 1980 et 2020 a à chaque fois été plus chaude que toutes les précédentes et que 15 des 16 années les plus chaudes enregistrées sont postérieures à 2000 [6, 7], l'évolution du climat force les sociétés humaines à des plans d'action visant à enrayer le changement climatique et à s'y adapter – car une partie des changements est

inévitable. De leur côté, les décideurs, financeurs et organismes contribuant à la recherche doivent s'atteler à la mise en place d'agendas de recherche interdisciplinaires ambitieux assortis de plans de financement adéquats sur le changement climatique et ses effets (appels à projets, création de structures de recherche dédiées, etc.), pour nourrir de connaissances validées le débat social et l'action publique. Il nous semble primordial que les questions de santé figurent en bonne place dans ces programmes de recherche. Afin de le justifier, nous passons d'abord en revue les effets sanitaires attendus du changement climatique, en commençant par les effets les plus directs des phénomènes climatiques sur la santé puis en nous intéressant à d'autres mécanismes d'influence plus indirects. Nous examinons ensuite les impacts potentiellement importants sur la santé des stratégies d'adaptation et de lutte contre le changement climatique.

Effets directs des phénomènes climatiques sur la santé

Les effets les plus directs du changement climatique sur la santé passent en premier lieu par les températures. La relation entre température et mortalité suit généralement une relation en U [8], avec une mortalité accrue aux températures les plus faibles et les plus élevées pour l'essentiel des causes de décès [le suicide étant une exception [9]]. Dans le détail, ces effets de la température sur la mortalité se manifestent de façon variable d'une ville à l'autre et au cours du temps dans une ville donnée, illustrant le phénomène d'adaptation de certaines sociétés [10]. L'optimum thermique (généralement situé entre 15 et 25 °C), et donc le seuil à partir duquel le risque de décès augmente, varie en température absolue selon les populations : les populations du Sud de l'Europe sont plus sensibles aux effets du froid que celles du Nord, et celles du Nord à la chaleur. Quant à des groupes de population spécifiques, des travaux s'intéressent par exemple aux risques que le changement climatique fait peser sur les personnes sans abri, qui sont plus exposées aux températures élevées lors de vagues de chaleur et aux événements climatiques extrêmes, et qui y sont également plus vulnérables du fait de pathologies chroniques

fréquentes dans ces populations, de l'isolement social, d'un manque de moyens de mobilité, etc. [11]. Plus largement, des études mettent en évidence des effets plus forts des températures élevées sur la mortalité parmi les populations socialement défavorisées [12-14], même si certains travaux ont au contraire plutôt documenté une majoration de l'effet dans des groupes socialement privilégiés [15, 16]. Par ailleurs, l'isolement social, mesuré de façons différentes selon les études, est associé à un effet plus fort des températures élevées sur la mortalité [17-19].

Quant à la durée sur laquelle des effets sont observés, alors que les effets des faibles températures se manifestent jusqu'à 21 jours après l'exposition, les températures les plus élevées exercent le gros de leur effet dans les trois jours suivant l'exposition [20]. Concernant la durée de l'exposition elle-même, au-delà d'un effet de la température élevée le jour même sur la mortalité, un effet additionnel lié à la durée de la vague de chaleur a pu être décelé après quatre jours consécutifs de chaleur, selon une étude américaine [21]. La répartition des jours avec des températures élevées a une influence propre, la présence de jours plus frais au milieu d'une vague de chaleur permettant à l'organisme de récupérer. La diminution plus lente des températures dans les centres urbains que dans les zones environnantes, après une vague de chaleur ou au cours de la nuit, explique l'amplification des effets sanitaires des vagues de chaleur observée dans les îlots de chaleur urbains [22], ce qui est préoccupant dans un contexte où 68% de la population mondiale vivra en milieu urbain en 2050 [23]. De même, il est important d'examiner l'impact de vagues de chaleur successives [24] puisqu'avec le changement climatique, la saison chaude commencera plus tôt et finira plus tard [25].

Les mécanismes par lesquels la température influence la santé incluent d'une part des effets sur l'environnement et sur les comportements, et d'autre part des effets biologiques plus directs.

Concernant l'environnement et les comportements, le froid favorise par exemple les intoxications par le monoxyde de carbone issu des chaudières et entraîne des traumatismes liés au verglas ainsi que la transmission d'épidémies dues à des virus survivant mieux par le temps froid et sec typique de l'hiver. A l'inverse, des conditions météorologiques de fortes chaleurs sont associées à une augmentation des accidents au travail dans divers secteurs d'activité [26], notamment de par leur effet sur le degré de vigilance.

Au-delà de la déshydratation et de l'hyperthermie, les effets biologiques plus directs concernent les systèmes cardiaque, respiratoire, endocrinien, immunitaire et nerveux. Un impact délétère des fortes températures sur la santé mentale a été identifié [27], avec les associations les plus cohérentes pour le taux de suicide [28] dans de nombreuses études sur différents continents [29-31]. Un effet des températures élevées sur les phénomènes de violence (agressions, violences domestiques) a également été documenté [32, 33], qui pourrait être en partie lié aux perturbations du sommeil et du système endocrinien. Si l'évolution a doté l'organisme de mécanismes de réaction à la chaleur (transpiration, dilatation des capillaires sanguins pour évacuer la chaleur vers les extrémités), ceux-ci ont une efficacité limitée et fatiguent globalement l'organisme. De façon plus chronique, les travaux actuels soulignent qu'un accroissement de la température combiné au rayonnement ultraviolet (même si le trou de la couche d'ozone a cessé d'augmenter) pourraient accroître de façon additive ou synergique le développement de cancers de la peau [34].

Au-delà des conséquences sanitaires des températures élevées, les effets directs des phénomènes climatiques extrêmes tels que les inondations ou les tempêtes sont également liés aux morts violentes ou blessures et traumatismes qu'ils entraînent. [35].

Le changement climatique influe sur la santé via de nombreux mécanismes indirects

D'autres effets environnementaux en cascade susceptibles d'influencer la santé peuvent être attendus du changement climatique (Figure 1), avec des niveaux de preuve variables selon les cas [36]. Ces effets sont liés au monde animal et végétal, aux conséquences des phénomènes climatiques extrêmes, aux polluants de l'air de différentes sources, à la montée du niveau de la mer, etc.

Un impact sanitaire attendu du changement climatique est lié à la modification de la distribution géographique des maladies à vecteurs. Pour certaines pathologies telles que le paludisme, il n'existe pas de consensus sur les effets du changement climatique sur les taux de transmission de la maladie ou sa répartition géographique [37, 38]. Pour d'autres pathologies, une contribution du changement climatique est probable. C'est par exemple le cas de la maladie de Lyme, maladie bactérienne transmise par les tiques dont le milieu de vie (qui inclut la France) est en expansion [39]. Cela concerne également le virus du Nil Occidental [40] ou de la dengue [41], transmis essentiellement par des moustiques dont le territoire devrait s'étendre sous les effets du changement climatique. C'est enfin le cas des virus Chikungunya [42] et Zika [43] pour lesquels de nouvelles zones deviendront favorables à leur transmission. Par ailleurs, le réchauffement des océans est favorable à la prolifération de certaines bactéries, ce qui modifie par exemple la distribution géographique des épidémies de choléra [44]. Enfin, concernant les menaces virales et bactériennes, certains chercheurs alertent sur le risque que représente la fonte du permafrost, qui pourrait libérer des virus et bactéries [45], dont certains virus qui ne sont plus en circulation depuis des dizaines de milliers d'années [46].

Les impacts sanitaires du changement climatique sont également liés au règne végétal. D'une part, les températures élevées mais aussi les événements climatiques extrêmes (inondations et

sécheresses) sont associés à une diminution des rendements agricoles, et la malnutrition qui en résulte se traduit par un retard de croissance des enfants, notamment dans les communautés agricoles [47]. Il apparaît de plus qu'une concentration élevée de dioxyde de carbone dans l'atmosphère affecte négativement la composition en micronutriments de différentes céréales [48]. D'autre part, le changement climatique pourrait renforcer la prolifération d'algues contenant des toxines alimentaires ou dont la décomposition sur les plages dégage des gaz toxiques [49, 50]. L'acidification des océans liée à l'absorption du dioxyde de carbone d'origine anthropique [51] menace la faune et la flore sous-marine, notamment les récifs coralliens [52] qui diminuent l'impact des tsunamis et des ouragans. Ce phénomène affecte également le zooplancton qui est à la base de larges pans de la chaîne alimentaire [53], risquant du même coup de déstabiliser les communautés et les pays dont l'économie repose largement sur la pêche. Par ailleurs, le triplement de la prévalence des allergies au pollen en 20 ans dans l'hexagone est en partie dû aux printemps précoces qui provoquent une augmentation des quantités de pollen alors que des plantes allergisantes comme l'ambrosie voient leur aire de répartition s'étendre [54].

Le changement climatique aura aussi un impact sur la concentration atmosphérique de certains polluants influençant la santé, via des interactions entre le climat et la dispersion des polluants et les réactions chimiques entre composés atmosphériques. Ainsi, le changement climatique augmentera la concentration d'ozone dans les régions polluées, tout particulièrement dans les zones urbaines. De plus, outre leur impact immédiat sur la vie et la santé humaine, les incendies qui deviennent plus courants sont émetteurs de polluants atmosphériques [55] et pourraient devenir une source d'importance croissante de particules [56]. Par exemple, la fréquence des feux de forêts a augmenté aux États-Unis au cours des dernières décennies, et le changement climatique devrait continuer à aggraver ce phénomène [57]. La vague de chaleur de l'été 2010

à Moscou a donné l'exemple d'un épisode de canicule survenant en conjonction avec un pic de concentration de particules en suspension généré par les feux de forêts autour de la ville. Une partie des 11 000 décès en excès survenus à cette occasion pourrait être due à l'interaction entre l'effet de la chaleur et celui des particules en suspension [58]. De même, « la saison 2019–2020 des feux de brousse » dans l'est de l'Australie, à une échelle inconnue jusqu'alors, serait à l'origine de plus de 400 décès en excès attribuables aux fumées de particules [59]. Par ailleurs, le changement climatique va accroître la fréquence des tempêtes de sable et de poussière, qui ont un effet à la fois local et global sur la qualité de l'air, et qui sont associées à des problèmes respiratoires à court et long terme [60].

Enfin, l'augmentation du niveau de la mer aura des conséquences en termes de risque d'inondation, dans la mesure où 14 des 19 « mégacités » (celles accueillant plus de 10 millions d'habitants) se trouvent au niveau de la mer, sont parfois la résultante d'une urbanisation mal maîtrisée, et connaissent pour certaines d'entre elles un affaissement des sols lié à l'urbanisation [61]. Les projections actuelles anticipent une augmentation du niveau de la mer de 26 à 82 cm d'ici la fin du siècle [6]. Selon un rapport de la Banque mondiale [62], cette hausse du niveau de la mer conjuguée à une baisse de la production agricole et à des pénuries d'eau serait susceptible d'entraîner une migration climatique de masse (140 millions de migrants au sein de leur propre pays d'ici 2050), avec des problèmes d'hygiène et de transmission de maladies infectieuses mais aussi de conflits potentiels [33]. La salinisation des aquifères liée à la montée des eaux marines mais aussi au prélèvement excessif des eaux souterraines ne sera pas non plus sans poser de problème dans les zones où l'eau potable est rare [63].

Adaptation au changement climatique, lutte contre le changement climatique et santé : menaces et opportunités pour la santé publique

Le froid, et dans une moindre mesure le chaud, sont des dangers contre lesquels notre organisme et nos sociétés ont appris à lutter et contre lesquels il est possible d'avoir des barrières relativement efficaces, bien que parfois coûteuses – c'est le phénomène de l'adaptation. L'adaptation, au moins dans certaines zones, est une réalité mise en évidence dans des études historiques [64]. L'adaptation à court terme explique aussi pourquoi la première vague de chaleur de la saison tend à avoir l'effet le plus délétère [65]. L'adaptation constitue un enjeu majeur ; si la population de New-York par exemple est devenue, au cours du XX^{ème} siècle, bien moins sensible aux journées chaudes du point de vue du risque de décès [64], une telle adaptation, bénéfique localement, a pu avoir des effets négatifs globalement : en effet, elle s'explique probablement par une augmentation conséquente du recours aux climatiseurs dans les bâtiments et véhicules, fortement émetteurs de chlorofluorocarbures qui sont nuisibles à la couche d'ozone et sont de très puissants gaz à effet de serre. Les climatiseurs augmentent de plus la température locale extérieure, et ne constituent donc pas une solution durable pour lutter contre les épisodes de canicule [66]. Ceci illustre l'enjeu majeur d'identifier des solutions d'adaptation au changement climatique qui sont à la fois bénéfiques localement et globalement du point de vue des émissions de gaz à effets de serre, et des émissions de polluants néfastes pour l'environnement ou la santé. Sans cela, l'adaptation de certaines sociétés ou communautés pourrait se faire au prix d'un accroissement des inégalités au sein de chaque pays et entre eux.

Au-delà d'une connaissance plus précise des effets du changement climatique sur la santé, les recherches doivent continuer de progresser sur le double objectif d'adaptation au changement climatique et de lutte contre celui-ci, notamment du point de vue de la santé humaine. A titre d'exemples, des stratégies d'adaptation pour réduire l'impact sanitaire des vagues de chaleur

en milieu urbain incluent une plus grande végétalisation des espaces, la création d'étendues d'eau, l'utilisation de matériaux de construction stockant moins l'énergie solaire et permettant ainsi de réduire la température des espaces publics et des logements (ainsi des toits de bâtiments clairs renvoient le rayonnement solaire vers l'espace), le fait de planter des arbres à feuilles caduques au sud des bâtiments d'habitation pour se protéger du soleil, etc. [67]. Des stratégies d'adaptation à plus court terme incluent le fait de faire couler de l'eau dans les caniveaux ou d'arroser les surfaces minérales pour diminuer la température radiative.

Ainsi que l'illustre la Figure 2, comme pour l'adaptation, la lutte contre le changement climatique devrait s'orienter vers des solutions qui minimisent les effets délétères induits et maximisent les co-bénéfices, tout en prenant en compte les populations les plus vulnérables. Les domaines à investir sont les principaux secteurs responsables des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle internationale, c'est-à-dire la production d'énergie, le transport, l'agriculture et la production industrielle. Or, ces secteurs façonnent des déterminants majeurs des maladies chroniques, via l'exposition aux produits de combustion comme les particules fines (pour la production d'énergie et le transport), via la sédentarité (pour le transport, avec l'utilisation de la voiture personnelle), via l'alimentation (pour l'agriculture) et via à l'exposition à certains composés chimiques (pour les activités industrielles).

Ainsi, le changement climatique constitue pour les sociétés humaines, en même temps qu'une menace planétaire, une fantastique opportunité pour améliorer le bien-être et la santé et réduire les inégalités. Saisir cette opportunité implique bien sûr une réaction forte des sociétés, et il est difficile de préjuger de la possibilité de faire advenir ou non ces grandes transitions dans le cadre de l'organisation économique et sociale actuelle. Dans chacun des secteurs listés ci-dessus, le mouvement vers une société « neutre en carbone » peut être accompli avec des

conséquences sur les facteurs de risque sanitaires soit positives soit négatives, selon les approches choisies. Il est donc crucial de faire entrer la santé dans « l'équation carbone ». En effet, de nombreuses stratégies de mitigation du changement climatique pourraient avoir des co-bénéfices conséquents pour la santé et les inégalités de santé (voir Figure 2). Ainsi, la promotion des modes de transport à la fois « doux » pour l'environnement et « actifs » pour la santé, mais aussi des transports en commun, diminue la pollution de l'air et les émissions de carbone tout en augmentant l'activité physique et en prévenant la survenue de l'obésité et de maladies cardiovasculaires [68]. De même, l'adaptation des environnements urbains au changement climatique, par exemple à travers la végétalisation des espaces, concourra à créer des environnements propices à un mode de vie actif et bénéfiques à la santé mentale et au bien-être [69]. Un troisième exemple concerne la mise en place de systèmes de production alimentaire durables minimisant les dégradations environnementales et permettant en même temps un régime alimentaire favorable pour la santé [70]. Quand on considère différentes catégories de nourritures, les graines, fruits et légumes sont à l'origine d'émissions de gaz à effet de serre les plus faibles par portion, alors que la viande d'animaux ruminants est à l'origine des émissions les plus élevées par portion [71]. Des régimes alimentaires qui remplacent la viande de ruminants par du poisson, de la volaille ou du porc sont associés à des effets environnementaux moindres, mais pas autant que les régimes alternatifs basés sur des fruits et légumes.

Vers un agenda de recherche interdisciplinaire

A l'évidence, les recherches sur les mécanismes d'influence du changement climatique sur la santé et sur les implications sanitaires des stratégies de lutte contre et d'adaptation au changement climatique remettent en cause le cloisonnement disciplinaire traditionnel. Ces recherches nécessitent une approche à différentes échelles d'organisation (planète, région, ville,

sous-population, individu, organe) et de temps (invitant à une projection sur plusieurs générations, peu commune dans beaucoup de champs de la santé publique). A minima, il ne sera pas possible d'avancer de façon efficace sur ces thématiques sans disposer de l'expertise coordonnée de l'épidémiologie et de la santé publique, de la climatologie, des sciences de l'ingénieur, de la géographie et de l'urbanisme, de la sociologie et de la psychologie climatique, de l'économie et de l'économie de la santé, de l'écologie, de l'éthologie animale et des sciences politiques. Il ne s'agira pas de juxtaposer les disciplines mais au contraire de les faire travailler ensemble dans une logique d'interdisciplinarité, voire de transdisciplinarité. De telles évolutions sont favorisées par la proximité des chercheurs originaires de disciplines distinctes, permises par exemple au sein d'une même équipe ou d'un même centre de recherche pluridisciplinaire. Un tel processus prend un certain temps, et est donc plus coûteux que des travaux monodisciplinaires. Par ailleurs, afin d'éviter tout conflit d'intérêt, ce travail de recherche devra au moins pour partie être conduit indépendamment des intérêts économiques incarnés dans de puissantes firmes, notamment liées à l'exploitation des énergies fossiles. Ces agents économiques minimisent en effet la gravité du changement climatique et mettent en avant la responsabilité individuelle pour masquer leur propre responsabilité [72]. Enfin, ces recherches devront inclure une dimension participative, pour concourir à l'appropriation des résultats par la société.

Au-delà des recherches sur le détail des mécanismes impliqués dans chacun des effets sanitaires, il est nécessaire de développer une vision globale des atteintes sanitaires liées au changement climatique, voire d'établir des hiérarchies dans la sévérité des effets anticipés. Il est également important d'étudier la sensibilité de chacun des mécanismes aux différents scénarios d'évolution climatique. L'impact des multiples conséquences délétères du changement climatique sur les inégalités sociales et les inégalités sociales de santé devra

également faire l'objet d'études afin d'informer la décision publique. Par ailleurs, il est nécessaire de modéliser les effets sanitaires des différentes stratégies de lutte contre et d'adaptation au changement climatique pour nourrir le processus de décision. Ainsi, le développement d'outils d'aide à la décision permettant de s'orienter vers une société neutre en carbone tout en préservant ou en améliorant la santé publique impliquera d'intégrer la santé dans les études d'impacts de différents scénarios de transition dans les grands champs d'activité (production d'énergie, transport, urbanisme, alimentation, etc.). A l'inverse, s'il est important de mettre les questions de santé publique au cœur de l'agenda de recherche sur le changement climatique, il est tout aussi nécessaire d'inclure la thématique du changement climatique dans les programmes et formations de santé publique.

A l'heure actuelle, force est de reconnaître que la mobilisation de la communauté scientifique de la santé publique sur ces thématiques n'est pas à la hauteur des enjeux scientifiques et sociétaux, en particulier en France. Sans cette mobilisation, les décisions publiques sur la gestion de la « trajectoire carbone » et sur les stratégies d'atténuation des effets du changement climatique risquent d'être prises en n'abordant qu'indirectement les questions de santé publique, au lieu de saisir les opportunités d'améliorer celle-ci que recèlent les grandes transitions.

Références

1. Changements climatiques 2014 - Rapport de synthèse: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat; 2014.
2. Réchauffement planétaire de 1,5 °C: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat; 2019.
3. Changement climatique et terres émergées: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat; 2020.
4. Bador M, Terray L, Boé J, et al. Future summer mega-heatwave and record-breaking temperatures in a warmer France climate. *Environmental Research Letters* 2017; 12.
5. Jouzel J. Le climat de la France au 21e siècle: Scénarios régionalisés. Edition 2014: Météo-France.
6. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM, editors. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. p. 1535 pp.
7. Cole S, Jacobs P. NASA, NOAA Analyses Reveal 2019 Second Warmest Year on Record. RELEASE 20-003: National Aeronautics and Space Administration; 2020.
8. Armstrong B. Models for the relationship between ambient temperature and daily mortality. *Epidemiology* 2006; 17: 624-631.
9. Kim Y, Kim H, Gasparrini A, et al. Suicide and Ambient Temperature: A Multi-Country Multi-City Study. *Environ Health Perspect* 2019; 127: 117007.
10. Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, et al. Temporal Variation in Heat-Mortality Associations: A Multicountry Study. *Environ Health Perspect* 2015; 123: 1200-1207.

11. Kidd SA, Greco S, McKenzie K. Global Climate Implications for Homelessness: A Scoping Review. *J Urban Health* 2020.
12. Borrell C, Mari-Dell'Olmo M, Rodriguez-Sanz M, et al. Socioeconomic position and excess mortality during the heat wave of 2003 in Barcelona. *Eur J Epidemiol* 2006; 21: 633-640.
13. Browning CR, Wallace D, Feinberg SL, Cagney KA. Neighborhood Social Processes, Physical Conditions, and Disaster-Related Mortality: The Case of the 1995 Chicago Heat Wave. *Am Sociol Rev* 2006; 71: 661-678.
14. Benmarhnia T, Kihal-Talantikite W, Ragetti MS, Deguen S. Small-area spatiotemporal analysis of heatwave impacts on elderly mortality in Paris: A cluster analysis approach. *Sci Total Environ* 2017; 592: 288-294.
15. Ma W, Zeng W, Zhou M, et al. The short-term effect of heat waves on mortality and its modifiers in China: an analysis from 66 communities. *Environ Int* 2015; 75: 103-109.
16. Ellena M, Ballester J, Mercogliano P, et al. Social inequalities in heat-attributable mortality in the city of Turin, northwest of Italy: a time series analysis from 1982 to 2018. *Environ Health* 2020; 19: 116.
17. Kim YO, Lee W, Kim H, Cho Y. Social isolation and vulnerability to heatwave-related mortality in the urban elderly population: A time-series multi-community study in Korea. *Environ Int* 2020; 142: 105868.
18. Naughton MP, Henderson A, Mirabelli MC, et al. Heat-related mortality during a 1999 heat wave in Chicago. *Am J Prev Med* 2002; 22: 221-227.
19. Orlando S, Mosconi C, De Santo C, et al. The Effectiveness of Intervening on Social Isolation to Reduce Mortality during Heat Waves in Aged Population: A Retrospective Ecological Study. *Int J Environ Res Public Health* 2021; 18.

20. Pascal M, Wagner V, Corso M, Laaidi K, Ung A, Beaudreau P. Heat and cold related-mortality in 18 French cities. *Environ Int* 2018; 121: 189-198.
21. Gasparrini A, Armstrong B. The impact of heat waves on mortality. *Epidemiology* 2011; 22: 68-73.
22. Li D, Bou-Zeid E. Synergistic Interactions between Urban Heat Islands and Heat Waves: The Impact in Cities Is Larger than the Sum of Its Parts. *J Appl Meteor Climatol* 2013; 52: 2051-2064.
23. World Urbanization Prospects. The 2018 Revision. New York: United Nations; 2019.
24. Baldwin JW, Dessy JB, Vecchi GA, Oppenheimer M. Temporally compound heat wave events and global warming: an emerging hazard. *Earths Future* 2019; 7: 411-427.
25. Woodward A, Ebi KL, Hess JJ. Commentary: Responding to hazardous heat: think climate not weather. *Int J Epidemiol* 2021; 49: 1823-1825.
26. Xiang J, Bi P, Pisaniello D, Hansen A, Sullivan T. Association between high temperature and work-related injuries in Adelaide, South Australia, 2001-2010. *Occup Environ Med* 2014; 71: 246-252.
27. Hansen A, Bi P, Nitschke M, Ryan P, Pisaniello D, Tucker G. The effect of heat waves on mental health in a temperate Australian city. *Environ Health Perspect* 2008; 116: 1369-1375.
28. Thompson R, Hornigold R, Page L, Waite T. Associations between high ambient temperatures and heat waves with mental health outcomes: a systematic review. *Public Health* 2018; 161: 171-191.
29. Burke M, González F, Baylis P, et al. Higher temperatures increase suicide rates in the United States and Mexico. *Nature Climate Change* 2018; 8: 723-729.
30. Kim Y, Kim H, Kim DS. Association between daily environmental temperature and suicide mortality in Korea (2001-2005). *Psychiatry Res* 2011; 186: 390-396.

31. Page LA, Hajat S, Kovats RS. Relationship between daily suicide counts and temperature in England and Wales. *Br J Psychiatry* 2007; 191: 106-112.
32. Sanz-Barbero B, Linares C, Vives-Cases C, Gonzalez JL, Lopez-Ossorio JJ, Diaz J. Heat wave and the risk of intimate partner violence. *Sci Total Environ* 2018; 644: 413-419.
33. Anderson CA, De Lisi M. Implications of global climate change for violence in developed and developing countries. In: Forgas J, Kruglanski A, Williams K, editors. *The Psychology of Social Conflict and Aggression*. New York, USA: Psychology Press; 2011. p. 249-265.
34. Lin MJ, Torbeck RL, Dubin DP, Lin CE, Khorasani H. Climate change and skin cancer. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2019; 33: e324-e325.
35. Hashim JH, Hashim Z. Climate Change, Extreme Weather Events, and Human Health Implications in the Asia Pacific Region. *Asia Pac J Public Health* 2016; 28: 8S-14S.
36. Watts N, Amann M, Arnell N, et al. The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come. *Lancet* 2018; 392: 2479-2514.
37. Pascual M, Ahumada JA, Chaves LF, Rodo X, Bouma M. Malaria resurgence in the East African highlands: temperature trends revisited. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2006; 103: 5829-5834.
38. Hay SI, Cox J, Rogers DJ, et al. Climate change and the resurgence of malaria in the East African highlands. *Nature* 2002; 415: 905-909.
39. Lindgren E, Jaenson TGT. Lyme borreliosis in Europe: influences of climate and climate change, epidemiology, ecology and adaptation measures. Copenhagen, Denmark: World Health Organization Regional Office for Europe; 2006.
40. Harrigan RJ, Thomassen HA, Buermann W, Smith TB. A continental risk assessment of West Nile virus under climate change. *Glob Chang Biol* 2014; 20: 2417-2425.

41. Naish S, Dale P, Mackenzie JS, McBride J, Mengersen K, Tong S. Climate change and dengue: a critical and systematic review of quantitative modelling approaches. *BMC Infect Dis* 2014; 14: 167.
42. Fischer D, Thomas SM, Suk JE, et al. Climate change effects on Chikungunya transmission in Europe: geospatial analysis of vector's climatic suitability and virus' temperature requirements. *Int J Health Geogr* 2013; 12: 51.
43. Ali S, Gugliemini O, Harber S, et al. Environmental and Social Change Drive the Explosive Emergence of Zika Virus in the Americas. *PLoS Negl Trop Dis* 2017; 11: e0005135.
44. Escobar LE, Ryan SJ, Stewart-Ibarra AM, et al. A global map of suitability for coastal *Vibrio cholerae* under current and future climate conditions. *Acta Trop* 2015; 149: 202-211.
45. Hueffer K, Drown D, Romanovsky V, Hennessy T. Factors Contributing to Anthrax Outbreaks in the Circumpolar North. *Ecohealth* 2020; 17: 174-180.
46. Legendre M, Bartoli J, Shmakova L, et al. Thirty-thousand-year-old distant relative of giant icosahedral DNA viruses with a pandoravirus morphology. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2014; 111: 4274-4279.
47. Phalkey RK, Aranda-Jan C, Marx S, Hofle B, Sauerborn R. Systematic review of current efforts to quantify the impacts of climate change on undernutrition. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2015; 112: E4522-4529.
48. Myers SS, Zanolotti A, Kloog I, et al. Increasing CO₂ threatens human nutrition. *Nature* 2014; 510: 139-142.
49. Grattan LM, Holobaugh S, Morris JG, Jr. Harmful Algal Blooms and Public Health. *Harmful Algae* 2016; 57: 2-8.

50. Gobler CJ. Climate Change and Harmful Algal Blooms: Insights and perspective. *Harmful Algae* 2020; 91: 101731.
51. Turley C, Eby M, Ridgwell AJ, et al. The societal challenge of ocean acidification. *Marine Pollution Bulletin* 2010; 60: 787-792.
52. Hoegh-Guldberg O, Mumby PJ, Hooten AJ, et al. Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science* 2007; 318: 1737-1742.
53. Doney SC. The Dangers of Ocean Acidification. 2006; 294: 58-65.
54. Hamaoui-Laguél L, Vautard R, Liu L, et al. Effects of climate change and seed dispersal on airborne ragweed pollen loads in Europe. *Nat Clim Chang* 2015; 5: 766–771.
55. Orru H, Ebi KL, Forsberg B. The Interplay of Climate Change and Air Pollution on Health. *Curr Environ Health Rep* 2017; 4: 504-513.
56. Jacob DJ, Winner DA. Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment* 2009; 43: 51-63.
57. Flannigan MD, Amiro BD, Logan KA, Stocks BJ, Wotton BM. Forest Fires and Climate Change in the 21st Century. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang* 2006: 847–859.
58. Shaposhnikov D, Revich B, Bellander T, et al. Mortality related to air pollution with the moscow heat wave and wildfire of 2010. *Epidemiology* 2014; 25: 359-364.
59. Borchers Arriagada N, Palmer AJ, Bowman DM, Morgan GG, Jalaludin BB, Johnston FH. Unprecedented smoke-related health burden associated with the 2019-20 bushfires in eastern Australia. *Med J Aust* 2020; 213: 282-283.
60. Schweitzer MD, Calzadilla AS, Salamo O, et al. Lung health in era of climate change and dust storms. *Environ Res* 2018; 163: 36-42.
61. Cao A, Esteban M, Valenzuela VPB, et al. Future of Asian Deltaic Megacities under sea level rise and land subsidence: current adaptation pathways for Tokyo, Jakarta, Manila, and Ho Chi Minh City. *Curr Opin Environ Sustain* 2021; 50: 87-97.

62. Groundswell: se préparer aux migrations climatiques internes. Washington DC, USA: Banque internationale pour la reconstruction et le développement / Banque mondiale; 2018.
63. Ferguson G, Gleeson T. Vulnerability of coastal aquifers to groundwater use and climate change. 2012; 2: 342–345.
64. Petkova EP, Gasparrini A, Kinney PL. Heat and mortality in New York City since the beginning of the 20th century. *Epidemiology* 2014; 25: 554-560.
65. Sun Z, Chen C, Yan M, et al. Heat wave characteristics, mortality and effect modification by temperature zones: a time-series study in 130 counties of China. *Int J Epidemiol* 2021; 49: 1813-1822.
66. Lundgren-Kownacki K, Hornyanszky ED, Chu TA, Olsson JA, Becker P. Challenges of using air conditioning in an increasingly hot climate. *Int J Biometeorol* 2018; 62: 401-412.
67. Bigorgne J. Les Îlots de Chaleur Urbains à Paris - Cahier#1: Atelier Parisien d'Urbanisme; 2012.
68. Hamer M, Chida Y. Active commuting and cardiovascular risk: a meta-analytic review. *Prev Med* 2008; 46: 9-13.
69. Barton J, Rogerson M. The importance of greenspace for mental health. *BJPsych Int* 2017; 14: 79-81.
70. Willett W, Rockstrom J, Loken B, et al. Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet* 2019; 393: 447-492.
71. Clune S, Crossin E, Verghese K. Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *J Clean Prod* 2017; 140: 766-783.

72. Supran G, Oreskes N. Rhetoric and frame analysis of ExxonMobil's climate change communications. *One Earth* 2021; 4: 696-719.

Figure 1: Effets sanitaires démontrés ou possibles du changement climatique

Figure 2 : Trois niveaux par lesquels le changement climatique peut influencer la santé : via une altération de l'environnement, via les stratégies d'adaptation, et via les stratégies de lutte contre le changement climatique. Les effets principaux des stratégies de lutte contre le changement climatique passent par des transformations des systèmes humains susceptibles de modifier les émissions de gaz à effet de serre. Différemment, les stratégies d'adaptation au changement climatique modifient les effets du changement climatique et des environnements sur la santé. De leur côté, les flèches 2 et 3 reflètent les co-bénéfices pour la santé induits par ces stratégies.

Figure 1

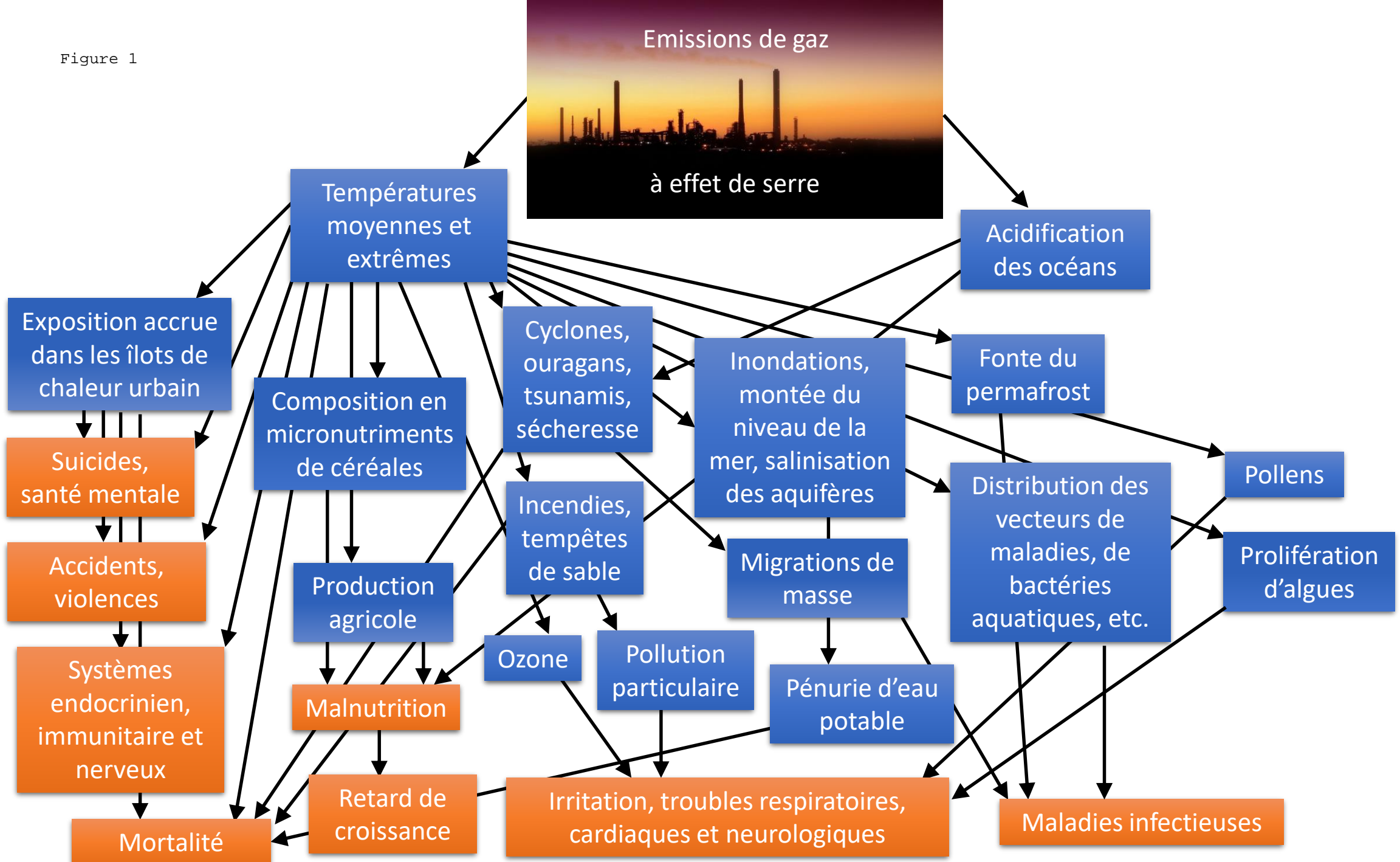


Figure 2

